

Document
de travail
IWMI

166

Évaluation des ressources en eau du bassin de la Volta ●●●

Marloes Mul, Emmanuel Obuobie, Richard Appoh, Kwabena Kankam-Yeboah, Emmanuel Bekoe-Obeng, Barnabas Amisigo, Frederick Yaw Logah, Benjamin Ghansah et Matthew McCartney



RESEARCH
PROGRAM ON
Water, Land and
Ecosystems

Documents de travail

Les documents publiés dans cette série recensent les travaux et la pensée des chercheurs de l'IWMI, ainsi que les savoirs dont la direction scientifique de l'Institut considère qu'ils méritent d'être diffusés. Cette série veille à ce que les données scientifiques et les autres informations réunies ou préparées dans le cadre des travaux de recherche de l'Institut soient recensées et référencées. Parmi les documents de travail peuvent figurer des rapports de projets, des études de cas, des comptes rendus de conférences ou d'ateliers, des documents de réflexion ou des rapports sur l'avancement des recherches, des rapports de recherche spécifiques pour certains pays, des monographies, etc. Les documents de travail peuvent être publiés conjointement par l'IWMI et des organisations partenaires.

Bien que la plupart des rapports soient publiés par des membres du personnel de l'IWMI et leurs collaborateurs, nous accueillons avec intérêt les apports extérieurs. Chaque rapport est examiné à l'interne par le personnel de l'IWMI. Les rapports sont publiés et diffusés à la fois en version papier et électronique (www.iwmi.org) et, autant que faire se peut, toutes les données et analyses seront proposées sous forme de fichiers distincts téléchargeables. Les rapports peuvent être copiés librement et cités à condition que l'apport de l'organisation soit reconnu.

A propos de l'IWMI

La mission de l'IWMI est d'améliorer la gestion des ressources en terres et en eaux au profit de l'alimentation, des moyens d'existence et de l'environnement. Dans le cadre de cette mission, l'IWMI fait porter l'essentiel de son action sur l'intégration des politiques, technologies et systèmes de gestion afin de parvenir à des solutions viables aux problèmes réels—des résultats pratiques et pertinents dans les domaines de l'irrigation et des ressources en terres et en eaux.

Document de travail 166

Évaluation des ressources en eau du bassin de la Volta

Marloes Mul, Emmanuel Obuobie, Richard Appoh, Kwabena Kankam-Yeboah, Emmanuel Bekoe-Obeng, Barnabas Amisigo, Frederick Yaw Logah, Benjamin Ghansah et Matthew McCartney

Institut international de gestion des ressources en eau
P. O. Box 2075, Colombo, Sri Lanka

Les auteurs: Marloes Mul est chercheur confirmée en hydrologie et ressources en eau, et Richard Appoh et Benjamin Ghansah sont attachés de recherche, à l'Institut international de gestion de ressources en eau (IWMI), à Accra, au Ghana. Emmanuel Obuobie est chercheur scientifique, Kwabena Kankam-Yeboah est directeur de recherche, et Emmanuel Bekoe-Obeng, Barnabas Amisigo, et Frederick Yaw Logah sont chercheurs confirmés, au Conseil pour la recherche scientifique et industrielle - Institut de recherches sur l'eau (CSIR-WRI) à Accra, au Ghana. Matthew McCartney est chercheur principal en hydrologie à l'IWMI, à Vientiane, au Laos..

Mul, M.; Obuobie, E.; Appoh, R.; Kankam-Yeboah, K.; Bekoe-Obeng, E.; Amisigo, B.; Logah, F. Y.; Ghansah, B.; McCartney, M. 2015. *Évaluation des ressources en eau du bassin de la Volta*. Colombo, Sri Lanka: Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI). 84p. (Document de travail IWMI 166). doi: 10.5337/2016.201

/ ressources en eau / étude d'impact environnemental / bassins fluviaux / eaux internationales / gestion de l'eau / gouvernance de l'eau / qualité de l'eau / utilisation de l'eau / demande en eau / puissance hydraulique / disponibilité en eau / services écosystémiques / ressources naturelles / infrastructures / zones humides / lacs / barrages / changement climatique / démographie / conditions de vie / agriculture / systèmes d'irrigation / administration / développement de politiques / stratégies / bétail / pêche / industrie / géologie / sols / sédimentation / utilisation des sols / hydrologie / génération d'énergie / zones ripariennes / institutions / aspects économiques / Ghana / Burkina Faso /

ISSN 2279-2287

e-ISSN 2478-1142

ISBN 978-92-9090-832-6

Publié à l'origine en tant que:

Mul, M.; Obuobie, E.; Appoh, R.; Kankam-Yeboah, K.; Bekoe-Obeng, E.; Amisigo, B.; Logah, F. Y.; Ghansah, B.; McCartney, M. 2015. *Water resources assessment of the Volta River Basin*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). 78p. (IWMI Working Paper 166). doi: 10.5337/2015.220

Droits d'auteur © 2015 de l'IWMI. Tous droits réservés. L'IWMI encourage l'utilisation de ses documents à condition que l'apport de l'organisation soit reconnu et qu'elle soit informée de telles occurrences.

Veuillez adresser questions et commentaires à: IWMI-Publications@cgiar.org

Il est possible de télécharger une copie gratuite de cette publication sur:
www.iwmi.org/Publications/Working_Papers/index.aspx

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier "Once Upon A Time - Principauté d'Andorre» pour la traduction de ce rapport.

Projet



Ce travail a été entrepris dans le cadre du projet « Solutions pour les infrastructures hydrauliques provenant de services écosystémiques et étayant des politiques et des programmes résilients aux changements climatiques » (WISE-UP to Climate). Le projet permettra de développer les connaissances sur l'utilisation des portfolios d'infrastructures hydrauliques construites (comme les barrages, les digues, ou les canaux d'irrigation) et 'naturelles' (telles que les zones humides, les plaines inondables et les bassins versants) pour la réduction de la pauvreté, la sécurité en eau, énergie et alimentation, la conservation de la biodiversité, et la résilience climatique à échelle des paysages. Le projet « WISE-UP to Climate » vise à démontrer le rôle de portfolios optimaux d'infrastructures construites et naturelles, développés par un dialogue avec les parties prenantes et les décideurs, de l'échelle locale à l'échelle nationale, dans l'identification et l'adoption de consensus sur d'éventuels compromis. Le projet cherche également à prendre en compte les services écosystémiques dans le développement d'infrastructures de gestion de l'eau dans le bassin de la Volta (principalement au Ghana, mais aussi au Burkina Faso), ainsi que dans le bassin du Tana, au Kenya.

Le projet est dirigé par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN). Le Conseil pour la recherche scientifique et industrielle de l'Institut de recherches sur l'eau (CSIR-WRI), le Centre de collaboration africain des sciences du système Terre (ACCESS) de l'Université de Nairobi, l'Institut international de gestion de ressources en eau (IWMI), l'Overseas Development Institute (ODI), l'Université de Manchester et le Centre basque pour le changement climatique (BC3) y collaborent également. Ce projet fait partie de l'Initiative internationale pour le climat. Le Ministère fédéral allemand de l'environnement, de la protection de la Nature, de la sûreté nucléaire et de la construction supporte cette initiative par une décision adoptée par le Bundestag. Le projet contribue au programme de recherche du CGIAR sur l'eau, les sols et les écosystèmes.

Pour plus de détails sur le projet: www.waterandnature.org ou www.iucn.org/water_wiseup

Collaborateurs

Cette étude est le fruit d'une collaboration entre les organisations suivantes:



International Water Management Institute (IWMI)



Council for Scientific and Industrial Research – Water Research Institute (CSIR-WRI), Ghana

Donateurs

Cette étude a été financée par:

Supported by:



Federal Ministry for the
Environment, Nature Conservation,
Building and Nuclear Safety

based on a decision of the German Bundestag

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety), Germany.



RESEARCH
PROGRAM ON
Water, Land and
Ecosystems

Ce travail a été réalisé dans le cadre du Programme de recherche du CGIAR sur l'eau, les sols et les écosystèmes (WLE). IWMI est membre du CGIAR et dirige ce programme.

Table des matières

Résumé.....	vii
Introduction.....	1
1. Contexte de l'évaluation	1
1.1 Portée de l'évaluation	1
1.2 Méthodologie	1
2. Contexte du bassin.....	2
2.1 Le Bassin de la Volta	2
2.2 Contexte historique	4
2.3 Administration et politiques	6
2.4 Défis actuels	14
2.5 Programme d'action stratégique (SAP)	19
2.6 Données démographiques	22
2.7 Moyens de subsistance	23
3. Géographie physique	27
3.1 Géologie	27
3.2 Sols	29
3.3 Climat	31
3.4 Couverture et utilisation des végétale	37
4. Ressources en eau et leur utilisation	39
4.1 Hydrologie.....	39
4.2 Infrastructures naturelles et construites.....	46
5. Services écosystémiques.....	51
5.1 Approvisionnement	52
5.2 Régulation	53
5.3 Culture.....	54
5.4 Soutien.....	54
5.5 Facteurs affectant les services écosystémiques.....	54
5.6 Évaluation de services écosystémiques à grande échelle.....	57
5.7 Sélection des points nodaux et des sous-bassins	62
6. Conclusions.....	65
Références.....	66

Annexes.....	72
Annexe 1.	
Réseaux d'irrigation existants dans le bassin de la Volta.	72
Annexe 2.	
Projets d'irrigation dans le bassin de la Volta.	73
Annexe 3.	
Cartes des services écosystémiques produites par les huit groupes.....	74

Résumé

Le Bassin de la Volta est un bassin transfrontalier partagé par six pays riverains. En 2007, l'Autorité du bassin de la Volta (ABV) a été créée avec pour mandat de fournir des dispositions juridiques et institutionnelles entre les pays riverains pour la gestion des ressources en eau du bassin de la Volta. L'analyse-diagnostic transfrontalière commandée par l'ABV a mis en évidence cinq grands défis auxquels le bassin est confronté: variations de la quantité d'eau et débits saisonniers, dégradation des écosystèmes, problèmes de qualité de l'eau, gouvernance, et changement climatique. L'ABV a pour mandat principal d'autoriser le développement d'infrastructures et de projets susceptibles d'avoir un impact important sur les ressources en eau du bassin.

Les ressources en eau dans le bassin de la Volta contribuent de manière significative au développement économique des six pays riverains. Ceci est particulièrement vrai dans le cas du Burkina Faso et du Ghana dont le Bassin de la Volta occupe plus de 60% de la superficie. Les ressources en eau sont utilisées pour la production agricole, l'utilisation domestique de l'eau, l'abreuvement du bétail, et la production hydroélectrique. Les demandes croissantes sur les ressources ont créé une certaine concurrence entre secteurs et entre pays. La construction d'infrastructures hydrauliques de tailles variées et destinées à des fins diverses s'est généralisée au fil des ans. Le changement et la variabilité climatiques, et le développement des zones situées en amont, ont eu un impact sur la production d'énergie hydroélectrique des barrages d'Akosombo et de Kpong, situés près de l'estuaire de la Volta, et représentant environ 70% de la capacité hydroélectrique installée du bassin.

Le Bassin de la Volta comprend également des écosystèmes d'eau douce fournissant divers services et contribuant à la subsistance des populations locales ainsi qu'aux objectifs plus généraux du bassin au travers d'aliments, de matériaux combustibles et de construction, en participant à la régulation des débits hydriques (réduction des pointes et augmentation des débits de base), et en assurant un habitat à la faune sauvage, comme les oiseaux migrateurs, source d'activités récréatives.

Les infrastructures naturelles comme les infrastructures construites génèrent des bénéfices. Certains, comme l'hydroélectricité, ne sont fournis que par les infrastructures hydrauliques, tandis que d'autres, tels que le traitement de l'eau et la lutte contre les inondations, peuvent être fournis à la fois par les infrastructures naturelles et construites. En outre, les infrastructures naturelles contribuent au bon fonctionnement des infrastructures construites en assurant une certaine quantité et qualité d'eau. La dégradation des infrastructures naturelles est une préoccupation majeure dans le bassin de la Volta et pourrait affecter les performances des barrages en aval. Par ailleurs, les infrastructures naturelles peuvent se voir affectées par le développement et la gestion des infrastructures hydrauliques, comme on l'observe en aval du barrage d'Akosombo.

Le futur développement des ressources en eau dans le bassin de la Volta requiert une approche intégrée de développement d'infrastructures hydrauliques et d'investissements dans les infrastructures naturelles, afin d'assurer des bénéfices optimaux sur l'ensemble du bassin.

INTRODUCTION

Le projet WISE-UP Climat met l'accent sur l'identification de configurations optimales d'infrastructures naturelles et construites dans les paysages des bassins du Tana et de la Volta. Dans le cadre de la mise en œuvre initiale du projet, il est primordial d'identifier, de décrire, et de développer une base de référence des caractéristiques biophysiques et des services écosystémiques de chaque bassin.

Ce document fournit un aperçu des infrastructures naturelles et des ressources en eau dans le *bassin du fleuve Volta*. La compréhension de la diversité et de la répartition des infrastructures naturelles et des ressources en eau dans le bassin est essentielle au développement de stratégies appropriées pour la gestion des terres et l'utilisation de l'eau. Ce rapport est divisé en cinq parties.

- Première partie: Contexte de l'évaluation
- Deuxième partie: Contexte du bassin
- Troisième partie: Géographie physique
- Quatrième partie: Ressources en eau et leur utilisation
- Cinquième partie: Services écosystémiques

1. CONTEXTE DE L'ÉVALUATION

1.1 Portée de l'évaluation

La portée géographique de la présente évaluation est limitée au bassin du fleuve Volta. Sa portée technique met l'accent sur plusieurs grands thèmes: géographie physique, ressources en eau et leur utilisation, et services écosystémiques. Au sein de chaque thème plusieurs sujets ciblés ont été examinés en détail, lorsque des données étaient disponibles.

1.2 Méthodologie

1.2.1 Étude théorique

Pour répondre aux contraintes inhérentes aux études réalisées sur les grands bassins, une analyse théorique initiale a été entreprise. Les résultats de cette étude théorique sont destinés à compléter et à appuyer de futures évaluations de terrain. Ils seront actualisés tout au long du projet, au fur et à mesure que de nouvelles données de terrain seront recueillies. Bien que tous les efforts aient été mis en œuvre pour vérifier l'exactitude des statistiques présentées dans cette évaluation, de récents changements dans les institutions gouvernementales et la diversité des méthodes utilisées pour le traitement historique des données biophysiques font que quelques lacunes et incohérences entre organismes puissent exister dans la tenue des dossiers.

1.2.2 Télédétection

Des données de télédétection ont été utilisées pour explorer les caractéristiques du paysage, comme les zones inondées saisonnières et les zones humides, les réservoirs, les structures d'irrigation,

et les communautés humaines. Chaque fois que cela était possible, des données Landsat, SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), ASTER GDEM v.2, et Google Earth, principalement, ont été utilisées pour identifier les caractéristiques et vérifier les informations provenant de sources secondaires.

1.2.3 Analyse spatiale

Des données SIG ont été recueillies à partir de sources variées, ou extraites des bases de données mondiales. De nouvelles données ont été numérisées à partir des images de télédétection et de Google Earth, lorsque nécessaire. Dans certains cas, comme dans l'évaluation initiale macroéconomique des services écosystémiques, des méthodes d'analyse spatiale ont été utilisées afin de générer de nouvelles informations à partir de ces données.

2. CONTEXTE DU BASSIN

2.1 Le Bassin de la Volta

Le bassin de la Volta est partagé entre six pays d'Afrique de l'Ouest: le Burkina Faso, le Ghana, le Togo, la Côte d'Ivoire, le Mali, et le Bénin (Figure 2.1). Le bassin couvre environ 400.000 km² de zones de savanes subhumides et semi-arides. Du nord au sud, ce bassin transfrontalier s'étend environ de 5°30' de latitude nord, au Ghana, à 14°30' de latitude nord, au Mali et, dans sa partie la plus large, de 5°30' de longitude ouest à 2°00' de longitude est, approximativement (Gordon et al. 2013). Le bassin devient plus étroit vers la côte du Golfe de Guinée. Proportionnellement, le bassin se répartit à l'intérieur de chacun des six pays riverains ouest-africains de la façon suivante: 43% au Burkina Faso, 42% au Ghana, 6% au Togo, 3% au Bénin, 3% en Côte d'Ivoire, et 3% au Mali (Barry et al. 2005) (Tableau 2.1).

TABLEAU 2.1 Distribution du bassin de la Volta au sein des pays riverains.

Pays	Superficie de bassin (km ²)	% de la superficie du bassin	% de la superficie du pays dans le bassin	% de la population du bassin
Burkina Faso	171.105	42,95	62,4	47,6
Ghana	165.830	41,63	70,1	35,5
Togo	25.545	6,41	45,0	8,55
Bénin	13.590	3,41	12,1	2,56
Mali	12.430	3,12	1,0	3,35
Côte d'Ivoire	9.890	2,48	3,1	2,13
Total	398.390	100,00		

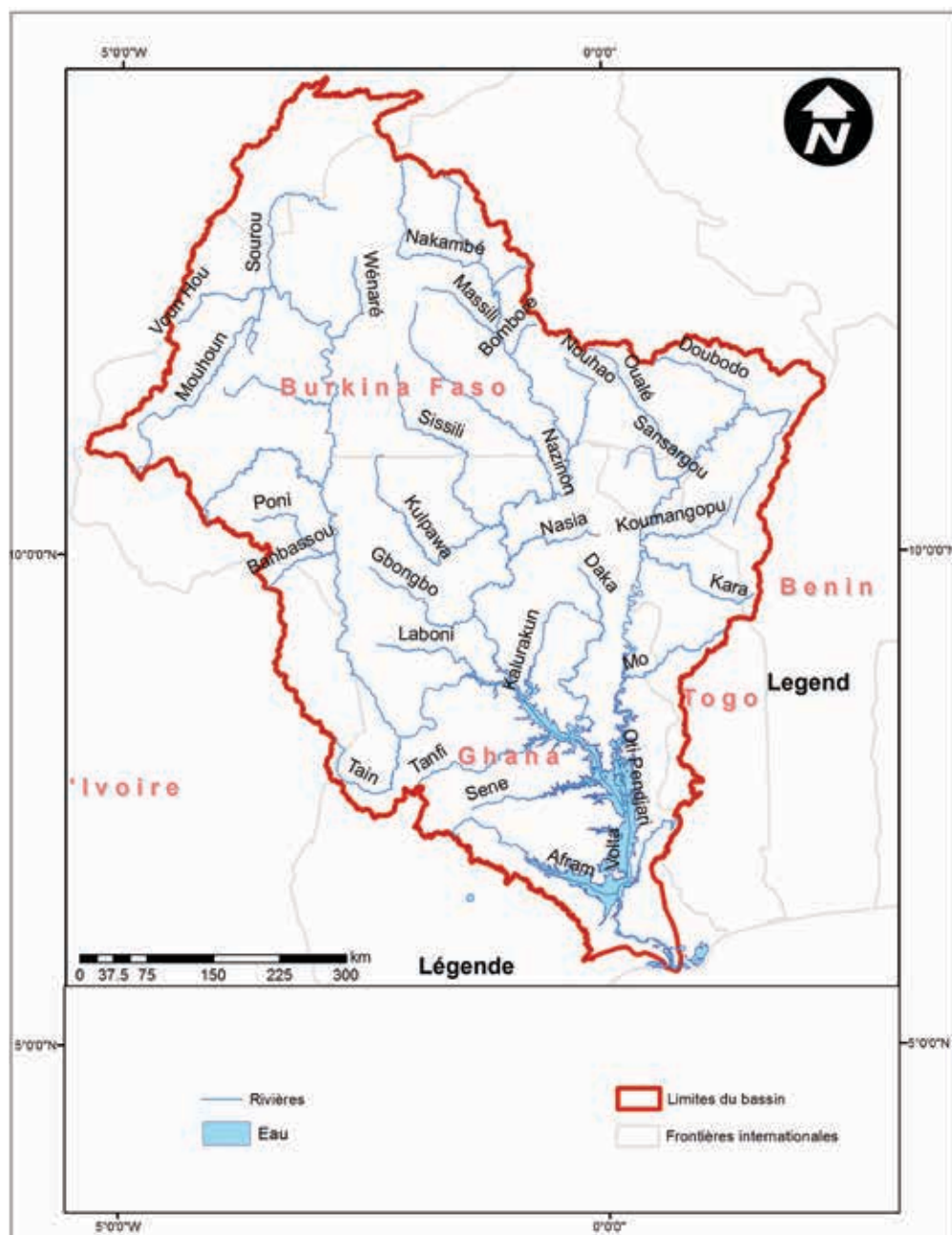
Sources: Biney (2010, 2013).

Le bassin de la Volta compte quatre sous-bassins principaux, à savoir (UNEP-GEF Volta Project 2013; Gordon et al. 2013):

- La Volta noire (avec une superficie d'environ 142.056 km²) prend sa source sous le nom de Mouhoun, au Burkina Faso, et draine l'ouest du Burkina Faso, le nord-ouest du Ghana, et une petite partie de la Côte d'Ivoire et du Mali.

- La Volta blanche et son principal affluent, la Volta rouge, (avec une superficie d'environ 106.742 km²), prend sa source sous le nom de Nakambe, au Burkina Faso, et draine le nord et le centre du Burkina Faso et du Ghana.
- La rivière Oti (environ 72.778 km²), prend sa source sous le nom de Pendjari, au Bénin, et traverse le Togo.
- La basse Volta (environ 71.608 km²), consiste en une série de petites rivières qui se jettent directement dans le Lac Volta (le plus grand plan d'eau artificiel du monde créé par le barrage d'Akosombo), ainsi qu'en la portion de fleuve, en aval du barrage de Kpong, qui se jette dans l'océan.

FIGURE 2.1. Emplacement du bassin du fleuve Volta.



La plupart des eaux de ruissellement arrivent dans le lac Volta, à l'exception du réseau de ruisseaux situés en aval du lac. La Volta se jette dans l'océan Atlantique au niveau du golfe de Guinée, par l'estuaire de la Volta. Le débit moyen annuel à l'estuaire est $40.400 \text{ Mm}^3 \text{ an}^{-1}$ (McCartney et al. 2012).

L'altitude moyenne du bassin de la Volta est d'environ 257 m, avec une variation de 0 à 920 m, et plus de la moitié du bassin situé entre 200 et 300 m d'altitude. L'indice de pente globale se situe entre 25 et 50 cm km⁻² (Moniod et al. 1977). Le bassin est délimité, à l'ouest, par une série de chaînes de montagnes: les collines d'Akuapem s'élèvent de l'océan en direction du nord-est, suivies par les montagnes du Togo, les monts du Fazao, et la chaîne de l'Atakora au Bénin. Le plateau de Kwahu se ramifie vers le nord-ouest après la gorge d'Akosombo. Le plateau de Banfora, situé dans le bassin de la Volta noire au Burkina Faso, est le seul autre relief significatif dans la partie occidentale du bassin.

De toutes les ressources naturelles du bassin, les ressources en eau constituent l'enjeu principal autour duquel gravite le développement des divers secteurs de l'économie. Malheureusement, cela signifie aussi que l'eau est la ressource autour de laquelle existent le plus de conflits potentiels entre les différents États et parties prenantes. L'eau est utilisée principalement, dans le bassin de la Volta, pour l'irrigation, la production hydroélectrique, la pêche, les usages domestiques, les utilisations industrielles et minières, le bétail, et le transport.

2.2 Contexte historique

Les ressources en eau du bassin de la Volta sont soumises à de fortes pressions du fait des demandes contradictoires des différents pays riverains sur ces ressources (van de Giesen et al. 2001). Des facteurs tels que la croissance démographique et une activité économique accrue ont conduit à la construction généralisée d'infrastructures hydrauliques de mobilisation de l'eau de types et tailles variés dans tout le bassin, et plus particulièrement au Burkina Faso et au Ghana. Ces installations comprennent des barrages pour la production d'énergie hydroélectrique, des systèmes d'irrigation à grande échelle, des réservoirs pour l'approvisionnement domestique en eau, et nombreux réservoirs de plus petite taille, principalement destinés des fins domestiques et agricoles.

Le barrage d'Akosombo, au Ghana, construit entre 1961 et 1965, et avec une capacité de production installée de 1.020 mégawatts (MW), est la structure humaine la plus importante dans le bassin de la Volta. La construction du barrage a entraîné la formation du Lac Volta, avec une superficie d'environ 8.500 kilomètres carrés (km²), une capacité de stockage de 148.000 millions de mètres cubes (Mm³), et un temps de séjour moyen de l'eau dans le réservoir de 3,7 ans (Barry et al. 2005). Le lac couvre environ 4% de la superficie totale du Ghana. Le réservoir de Kpong, avec une superficie d'environ 38 km² et une capacité de stockage de 2,5 Mm³, fut construit entre 1977 et 1982, en aval du Lac Volta, pour produire 160 MW d'électricité. Le réservoir de Kpong fonctionne en tandem avec Akosombo comme un système au fil de l'eau. Le barrage de Bui, avec une superficie de 440 km² et une capacité de stockage de 12.350 Mm³, a été achevé en 2013 pour fournir 400 MW d'électricité. La production d'énergie hydroélectrique des barrages d'Akosombo, de Kpong, et de Bui couvre la plupart des besoins en électricité du Ghana, bien que la proportion exacte varie d'une année à l'autre en fonction de la quantité d'eau présente dans les barrages. Huit autres projets de centrales hydroélectriques sont à l'étude dans la partie ghanéenne du bassin de la Volta et devraient se situer à: Juale, sur la rivière Oti; Pwalugu, Daboya et Kulpawn, sur la Volta blanche; et Koulbi, Ntereso, Lanka et Jambito, sur la Volta noire (McCartney et al. 2012).

L'ensemble de ces projets permettraient un stockage direct supplémentaire de 23.000 Mm³, et devraient générer 502 MW supplémentaires d'électricité.

Le lac de Kompienga, au Burkina Faso, a été créé suite à la construction de la centrale hydroélectrique de Kompienga, en 1989, sur la rivière Oualé (un affluent de la rivière Oti). Le lac a une capacité de stockage de 2.025 Mm³, et génère 14 MW d'électricité. Le barrage de Bagré, au Burkina Faso, avec un volume de stockage total de 1.700 Mm³, a été achevée en 1994 sur la rivière Nakambe (Volta blanche) pour générer de 16 MW d'électricité. L'énergie hydraulique de ces deux barrages couvre environ 12,7 % des besoins en électricité du Burkina Faso. Les installations hydroélectriques à l'étude au Burkina Faso devraient se situer à: Samendeni, Bonvalé, Bontoli, Bon, Nounbiel et Gongourou, sur la Volta noire; Bagré Aval et Bandongo, sur la Volta blanche; et Arli, sur la rivière Oti (McCartney et al. 2012). Ces barrages devraient générer un total de 146 MW supplémentaires d'électricité. Le Bénin possède une centrale hydroélectrique sur l'Oti, le barrage de Batchanga, avec une capacité de stockage de 350 Mm³ et une capacité de production de 15 MW d'électricité (Barry et al. 2005).

Le développement de l'irrigation au Ghana a commencé il y a environ un siècle, bien que les efforts intenses d'irrigation n'aient débuté que dans les années 1960. Depuis les débuts de l'irrigation et jusqu'en 1980, environ 19.000 hectares (ha) de terres ont été irrigués. En 2007, la zone irriguée s'étendait sur 33.800 ha (Namara et al. 2011). Elle est restée pratiquement inchangée jusqu'à aujourd'hui. Parmi les terres irriguées, un peu moins de 9.000 ha ont été développés par le gouvernement du Ghana, le reste ayant été développé par le secteur privé. Il existe 22 systèmes publics d'irrigation au Ghana, dont 15 dans le bassin de la Volta (annexe 1). Le potentiel d'irrigation du Ghana oscille entre 0,36 et 2,9 millions d'hectares (Mha) selon le degré de maîtrise de l'eau (Namara et al. 2011). D'autres aménagements hydro-agricoles sont à l'étude, pour une superficie totale de 42.800 ha, incluant le projet d'Irrigation des plaines d'Accra d'environ 11.000 ha (MOFA 2013; McCartney et al. 2012).

Au Burkina Faso, il n'existe que peu de systèmes publics d'irrigation à grande échelle en fonctionnement. La superficie irriguée est actuellement estimée à 24.543 ha, et des projets en cours ajouteront bientôt 12.800 ha supplémentaires (McCartney et al. 2012). Aucun des quatre autres pays ne dispose de grand système d'irrigation dans le bassin de la Volta, même si le Togo envisage de développer deux de ces systèmes sur l'Oti, pour une superficie irriguée totale d'environ 2.600 ha. Le plein potentiel de la plupart des projets d'irrigation n'a pas été réalisé et les systèmes sont souvent mal gérés. Outre les systèmes publics, de nombreux systèmes d'irrigation privés existent dans l'ensemble du bassin. Bien que les chiffres exacts ne soient pas disponibles, la plupart sont de petite taille.

Les petits réservoirs et étangs artificiels, communs dans la partie nord du bassin, sont largement utilisés pour l'abreuvement du bétail et, parfois, pour l'irrigation de petits (0,4 à 1 ha) potagers (Johnston et McCartney 2010). Le Burkina Faso est l'un des pays d'Afrique de l'ouest présentant la plus forte densité de petits réservoirs, et une demande continue de construction de nouveaux réservoirs (Leemhuis et al. 2009). Au Burkina Faso, la plupart de petits réservoirs ont été construits entre 1974 et 1987, en grande partie en réponse aux sécheresses du Sahel du début des années 1970 et 1980 (Venot et al. 2012; Sally et al. 2011). A l'époque coloniale, les britanniques construisirent de petits barrages dans le nord du Ghana afin de maintenir la production toute au long de l'année. Des investissements considérables ont également été faits dans le développement de petits réservoirs après l'indépendance, dans les années 1960 (Venot 2011). La construction de réservoirs a ralenti dans les années 1970 et 1980, au Ghana, en faveur de systèmes publics d'irrigation à moyenne et grande échelles (Venot et al. 2011). Il y avait plus de 1.700 petits

réservoirs et étangs artificiels au Burkina Faso en 2009 (Andreini et al. 2009), et plus de 1.000 au Ghana (Venot et al. 2012), bien que beaucoup ne fonctionnent pas efficacement (Venot 2011).

Les eaux souterraines sont utilisées par environ 56% des communautés rurales au Ghana, même si cette proportion est plus élevée dans certaines régions (78% dans la région du nord-ouest par exemple) (CSIR-WRI 2009). Elles jouent également un rôle important dans l'approvisionnement en eau de certaines zones urbaines dans le bassin, notamment dans les régions nord-est et nord-ouest du Ghana, où l'approvisionnement en eau de plus de 80% de la population urbaine provient de nappes souterraines (Martin et van de Giesen 2005). Plus de 80% des eaux souterraines prélevées dans le bassin sont utilisés pour la consommation et autres usages domestiques (Johnston et McCartney 2010).

On recensait un total de 18.676 forages équipés de pompes à main dans le bassin de la Volta en 2001, dont 7.285 au Ghana, et 11.391 au Burkina Faso, respectivement (Martin et van de Giesen 2005).

Les pays riverains du Bassin de la Volta sont fortement tributaires de ses ressources en eau pour leur développement socio-économique. Pour éviter ou limiter une mauvaise exploitation des ressources du bassin de la Volta, l'Autorité du bassin de la Volta (ABV) a été créée pour diriger et coordonner une gestion appropriée des ressources en eau sur l'ensemble du bassin. Une description de l'ABV et de ses fonctions se trouve dans la section 2.3.

2.3 Administration et politiques

De nombreuses institutions, dans les différents pays riverains, sont chargées de la gestion des terres et des ressources en eau dans le bassin de la Volta, résultant parfois en des responsabilités mal définies. La coordination des activités entre institutions est généralement limitée et ne se produit, dans certains cas, que de façon *ad-hoc*, principalement pendant les situations de crise. Les lois et réglementations en matière de gestion des terres et des ressources en eau sont généralement faibles et inefficaces, et lorsqu'elles sont adéquates, elles ne sont pas respectées ou appliquées, en raison d'un manque de capacités institutionnelles ou d'engagement politique. Les connaissances sur les ressources naturelles, le rythme de leur détérioration, et les conséquences à venir sont limitées, contribuant vraisemblablement au faible engagement politique des gouvernements. L'administration des ressources du bassin se fait généralement à échelle transfrontalière, nationale, à échelle des sous-bassins, et au niveau communautaire.

2.3.1 Cadre de gouvernance transfrontalière de l'eau

Par le passé, chaque pays riverain du bassin de la Volta gère ses ressources de façon indépendante. La coopération entre pays riverains pourrait remonter à l'époque coloniale, bien qu'aucune grande initiative n'ait été conjointement entreprise par les principales puissances occupantes (Grande Bretagne, Allemagne et France). Après l'indépendance du Ghana et du Burkina Faso, les deux pays (ainsi que les autres pays riverains) ont continué à développer leurs propres agendas de gestion de l'eau, ne montrant que peu d'intérêt pour les conséquences de ces programmes au-delà de leurs frontières. Entre 1957 et 1996, il n'existait que deux accords internationaux concernant les eaux de la Volta, et aucun n'intégrait efficacement les plans de gestion de l'eau ou de développement des pays riverains. En 1962, un accord fut signé par le Togo et le Bénin pour acheter de l'électricité (produite par le barrage d'Akosombo) au Ghana (Garané, 2009). En 1973, un accord international fut signé par les six pays riverains afin de contrôler la propagation de l'onchocercose dans le bassin (UN 1984).

Le bassin de la Volta est resté, pendant de nombreuses années, l'un des rares grands bassins fluviaux transfrontaliers d'Afrique ne possédant pas de cadre juridique ou institutionnel formel entre ses pays riverains quant à la gestion de ses ressources. La coopération autour des eaux de la Volta a été en grande partie initiée et conduite par les bailleurs de fonds internationaux, en particulier la Banque mondiale, pour satisfaire aux conditions de prêt. Ainsi, le premier accord sur l'utilisation des eaux de la Volta fut signé entre le Ghana et le Burkina Faso en 1996, et résultait d'une demande de « non-objection » du Burkina Faso au Ghana concernant un système d'approvisionnement en eau: le barrage de Ziga, sur la Volta blanche, au Burkina Faso. Cette « non-objection » était une condition imposée par les financiers du projet et non une prise de conscience, de la part du Burkina Faso, de la nécessité de coordonner l'utilisation de ressources en eau partagées (MWH, 1998b).

Garané (2009) rapporte aussi qu'à la fin des années 1990, une pression croissante sur les ressources naturelles de la région, en particulier sur l'eau, et des tensions liées aux conséquences accrues des inondations et au faible niveau du barrage d'Akosombo, mit en évidence la nécessité d'une approche coordonnée et d'une collaboration plus étroite dans la gestion des ressources du bassin. Ceci rapprocha les six pays riverains qui, avec le soutien des partenaires internationaux, décidèrent d'une série d'initiatives techniques et politiques, qui entraîneraient:

- La création du Comité technique du bassin de la Volta, visant à préparer à la mise en place d'une Organisation du bassin de la Volta (mars 2004).
- La signature, par les Ministres en charge des ressources en eau dans les pays riverains, d'un protocole d'accord visant à créer une Autorité du bassin de la Volta (ABV) (décembre 2005).
- L'approbation de la convention et des statuts de l'ABV par ces mêmes Ministres, établissant son siège à Ouagadougou, et une direction générale par intérim (juillet 2006).
- La signature de la Convention de l'ABV lors la première Assemblée des Chefs d'État (janvier 2007). En janvier 2015, tous les États riverains, à l'exception de la Côte d'Ivoire, avaient ratifié la Convention de l'Autorité du bassin de Volta.
- La signature des statuts de l'ABV lors de la première réunion du Conseil des Ministres (novembre 2007).
- L'entrée en vigueur de la convention de l'ABV (août 2009).

(Source: <http://www.abv-volta.org/about/historique>, consulté le 07/01/2015).

Conformément à l'article 6 de la Convention relative au statut du fleuve Volta et à la création de l'ABV, le mandat de l'Autorité est de:

- Promouvoir des outils de concertation permanente entre les Parties prenantes en vue du développement du bassin.
- Promouvoir la mise en œuvre d'une gestion intégrée des ressources en eau et la répartition équitable des bénéfices résultant de leurs diverses utilisations.
- Autoriser le développement d'infrastructures et de projets par les Parties prenantes, susceptibles d'avoir un impact considérable sur les ressources en eau du bassin.
- Développer des projets et des travaux conjoints.
- Contribuer à la lutte contre la pauvreté et au développement durable des Parties prenantes dans le bassin de la Volta, pour une meilleure intégration socio-économique de la sous-région.

Les organes statutaires de l'Autorité sont:

- L'Assemblée des Chefs d'État et de Gouvernement.
- Le Conseil des Ministres en charge des ressources en eau.
- Le Forum des Parties impliquées dans le développement du bassin de la Volta.
- Le Comité des experts.
- La Direction Exécutive de l'Autorité.

Afin d'assurer une coopération internationale efficace, l'ABV a mise en place, en plus de ses organes statutaires, un Groupe consultatif de partenaires techniques et financiers dont l'objectif principal est de promouvoir la complémentarité dans l'assistance technique et financière à l'ABV. Avec moins de 10 ans d'existence, l'ABV s'est concentrée jusqu'ici sur le renforcement du cadre institutionnel, et sur la réalisation d'une analyse-diagnostic transfrontalière (UNEP-GEF Volta Project 2013). La gestion concertée du bassin de la Volta a donc pris un certain retard, en comparaison avec de nombreux autres bassins d'Afrique de l'Ouest, notamment les bassins du Sénégal et du Niger bénéficiant d'autorités de bassin établies depuis des décennies.

2.3.2 Cadres de gouvernance nationale de l'eau

Chaque pays riverain a mis en place une série de politiques, lois, et institutions concernant la gestion durable des ressources en eau. Chacun opère dans un contexte politique et administratif différent, notamment en raison de l'influence des anciennes puissances politiques dirigeantes: le Ghana a hérité du système administratif britannique, alors que les cinq autres pays riverains évoluent sur la base d'une tradition française. Les cadres de gouvernance de l'eau au Ghana et au Burkina Faso sont décrits ci-dessous.

2.3.2.1 Ghana

Lorsque le Ghana a obtenu son indépendance (1957), diverses institutions ont été créées pour gérer les ressources en eau du pays. La première de ces institutions fut la Volta River Authority (Autorité du fleuve Volta / VRA), en 1961, avec pour mandat de produire de l'énergie électrique et d'assurer la maintenance du réservoir de la Volta. La principale institution suivante fut la Ghana Water and Sewerage Corporation (Compagnie des eaux et de l'assainissement du Ghana, GWSC), en 1965, chargée de l'approvisionnement, la distribution, et la protection des ressources en eau du pays, à des fins publiques, domestiques et industrielles. La GWSC devint prioritaire par rapport aux autres autorités en charge de l'eau, bien que la VRA ait maintenu ses droits exclusifs sur le Lac et le fleuve Volta (Mensah 1999; MWH 1998b). La Ghana Irrigation Development Authority (Autorité pour le développement de l'irrigation au Ghana / GIDA) fut créée en 1977 pour développer les réseaux d'irrigation pour l'agriculture, l'amélioration de l'élevage, et la pisciculture. Pour pallier au manque ou à l'absence totale de coopération entre la GIDA, la VRA et la GWSC (Mensah 1999; MWH 1998a, 1998b), un organisme chapeau, la Water Resources Commission (Commission des ressources en eau / WRC), fut créé en 1996.

Ministère des ressources en eau, des travaux et du logement

La gestion des ressources en eau est actuellement sous la juridiction du Ministère des ressources en eau, des travaux et du logement. Le mandat de ce ministère en ce qui concerne les ressources

en eau est mis en œuvre par des agences établies sous son autorité, telles que WRC, Ghana Water Company Limited (Compagnie des Eaux du Ghana / GWCL), Community Water and Sanitation Agency (Agence communautaire de l'eau et de l'assainissement / CWSA), et le Département des services hydrologiques (HSD).

Water Resources Commission (Commission des ressources en eau / WRC)

La WRC est créée par une loi du Parlement (Loi 522 de 1996) pour pallier à la dispersion des fonctions et de l'autorité dans le secteur des ressources en eau. La commission se compose de 15 membres dont un président, un secrétaire exécutif, un chef, et deux autres personnes, dont une femme. Les autres membres sont des représentants des institutions suivantes: Ghana Water Company Limited, Organisations de production d'eau potable, Département des services hydrologiques, VRA, GIDA, Institut de recherche sur l'eau, Agence météorologique du Ghana, Agence de protection de l'environnement, Commission des forêts, et Commission des minéraux.

La WRC a pour mandat de réglementer et de gérer l'utilisation des ressources en eau, et de coordonner les politiques gouvernementales associées. La WRC représente le Ghana auprès de ses homologues dans les pays riverains lors de questions transfrontalières, avec l'appui des Conseils d'administration de bassins ayant pour mission de mettre en œuvre les fonctions de la WRC à échelle de ceux-ci. Les Conseils d'administration de bassins coordonnent les questions liées aux ressources en eau dans les sous-bassins du Ghana. Ces conseils ne sont pas liés à des limites administratives mais hydrologiques. Actuellement, dans le bassin de la Volta, il n'existe qu'un seul Conseil pour le bassin de la Volta blanche, qui couvre également la Volta noire et l'Oti. Le Conseil de bassin de la Volta blanche est composé de représentants des institutions suivantes: un président nommé par la WRC, un deuxième représentant de la WRC, et un représentant de chacune des institutions suivantes: chacune des huit Assemblées de district, Conseil de coordination de la région du nord-est, Ministère de l'alimentation et l'agriculture, Ministère de la condition féminine et de la protection sociale, Agence de protection de l'environnement, Agence communautaire de l'eau et de l'assainissement, Institut de recherche agricole sur la savane, Maison régionale de chefs, et Organisations non gouvernementales.

Ghana Water Company Limited (Compagnie des eaux du Ghana / GWCL)

GWCL a été créé en 1999, suite à la conversion de la Ghana Water and Sewerage Corporation (GWSC - créée en 1965) en une société anonyme appartenant à l'État. GWCL est en charge de l'approvisionnement en eau potable des villes de plus de 20.000 habitants.

Community Water and Sanitation Agency (Agence communautaire de l'eau et de l'assainissement / CWSA)

La CWSA est la principale agence gouvernementale, à échelle régionale, chargée de l'approvisionnement en eau potable et des services d'assainissement dans les collectivités rurales et les petites villes. La CWSA a été séparée de la GWSC (aujourd'hui GWCL), pour être placée sous l'autorité du Programme national communautaire pour l'eau et l'assainissement (NCWSP), lancé en 1994. Au niveau des districts et des communautés, la CWSA est assistée par les Equipes eau et assainissement des districts (DWST), et par le Comité sur l'eau et l'assainissement (WATSAN), pour mettre en œuvre son mandat au niveau local.

Département des services hydrologiques

Le Département des services hydrologiques est une agence chargée de la programmation et de la coordination des travaux de protection du littoral, de la construction et de l'entretien des réseaux

d'eau pluviale dans tout le pays, et du suivi et évaluation des plans d'eau de surface pour ce qui est des inondations.

Autres organismes gouvernementaux et parapublics

Outre le Ministère des ressources en eau, des travaux et du logement, le Ghana possède d'autres agences publiques et parapubliques jouant un rôle important dans le développement et la gestion des ressources en eau, telles que: GIDA, Ministère des Pêches et du développement de l'Aquaculture (MFAD) / Commission des Pêches, Ministère des pouvoirs locaux et du développement rural, Ministère de la santé / Service de la santé du Ghana, Agence de protection de l'environnement (EPA), VRA, Commission des forêts, Commission des minéraux, Autorités traditionnelles, Equipes eau et assainissement des Districts, instituts de recherche, organisations donatrices, organisations non gouvernementales, et organismes de recherche internationaux.

Volta River Authority (Autorité du fleuve Volta / VRA)

La VRA, grâce à la construction d'un barrage et à la création d'un lac / réservoir, est responsable de la production, du transport et de l'approvisionnement / distribution de l'énergie électrique à usage industriel, commercial et domestique au Ghana et dans les pays voisins. La loi 46 enjoint également la VRA à gérer les ressources en eau du lac Volta afin de promouvoir le tourisme, les transports lacustres, l'irrigation, la pêche en eaux intérieures, et l'aquaculture (cages/enclos en filets).

Dans le cadre des efforts pour encourager la participation du secteur privé dans le secteur de l'énergie, l'amendement de la loi sur le développement du fleuve Volta (Volta River Development Act) de 2005 (loi 692) redéfinit le mandat de la VRA. La composante de transport énergétique de son mandat original a été confié à une société nationale de gestion du réseau électrique: la National Grid Company (GRID Co.). La VRA se concentre maintenant exclusivement sur la production d'électricité.

Autorité pour le développement de l'irrigation au Ghana (GIDA)

L'irrigation a débuté, au Ghana, au début des années 1960, sous le contrôle de l'Unité d'aménagement du territoire et de conservation des sols du Ministère de l'agriculture. L'Autorité de développement de l'irrigation (IDA) fut créée en 1977 en vertu du décret SMC 85. L'Autorité est entièrement détenue et financée par le gouvernement du Ghana. Elle est principalement chargée de l'identification de possibles projets d'irrigation, et peut être impliquée, dans certains cas, dans la gestion et l'entretien des systèmes d'irrigation.

Associations des usagers de l'eau (WUAs)

Les WUAs sont responsables de petits réservoirs développés pour les communautés, et sont généralement constitués d'irrigants, de pêcheurs, et de propriétaires de bétail. Dans la plupart des cas, les irrigants sont aussi des pêcheurs et / ou des propriétaires de bétail. L'exécutif est élu par les membres, et chargé de veiller à:

- La protection du réservoir, des surfaces irrigables, et des zones situées en amont du réservoir pour prévenir l'envasement.
- La distribution de l'eau d'irrigation et le contrôle des vannes.
- L'entretien du barrage, des vannes, des canaux, et des drains.
- La collecte des taxes sur l'eau pour l'entretien du système.
- La résolution des conflits.

La GIDA assure souvent le contrôle et l'entretien des ouvrages de captage et dérivation, des pompes, des canaux primaires et autres grandes structures.

2.3.2.2 *Burkina Faso*

La première institution de gestion de l'eau au Burkina Faso (Haute-Volta) fut la Société coloniale de l'énergie, créée en 1954 pour gérer le développement et la répartition d'énergie et d'électricité. Elle a depuis été rebaptisée en Société nationale de l'eau, puis en Office national de l'eau. En 1965, la Direction de l'hydraulique et de l'équipement rural (DHER) fut ensuite créée, afin de développer l'approvisionnement en eau à usage domestique (MEE 2001). L'Office national des barrages et de l'irrigation (ONBI) fut ensuite créé en 1976, dans le but d'exploiter le potentiel d'irrigation du pays. Plusieurs instituts de recherche sur l'eau ont aussi été créés, mais comme au Ghana, la gestion de l'eau au Burkina Faso souffre d'un manque de coordination. Après les sécheresses des années 1970, les politiques de l'eau au Burkina Faso se sont orientées vers un approvisionnement de base pour tous et la réduction de la vulnérabilité lors des périodes de faibles précipitations (MEE 2001). Les structures institutionnelles actuelles de gestion des ressources en eau sont décrites ci-dessous.

Ministère de l'agriculture, de l'hydraulique et des ressources halieutiques

La gestion des ressources en eau est sous la juridiction du Ministère de l'agriculture, de l'hydraulique et des ressources halieutiques, créé en 2002 en substitution de l'ancien Ministère de l'environnement et de l'eau. Le mandat de ce ministère en matière de gestion des ressources en eau est mis en œuvre par les directions et organisations suivantes.

- *Direction générale pour l'inventaire des ressources hydrauliques (DGIRH)* – responsable de la collecte, du traitement, et de l'évaluation de données hydrométriques, ainsi que de toutes les données concernant les activités et interventions liées à l'eau au Burkina Faso. Sa mission générale est d'assurer le développement, la coordination et l'application des politiques pour l'approvisionnement en eau potable, l'approvisionnement en eau à usage agricole, et la protection des ressources en eau nationales.
- *Direction générale des ressources en eau (DGRE)* – sa mission consiste à mieux gérer les ressources en eau, et à mettre en place un système d'information adéquat.
- *Direction générale des ressources halieutiques (DGRH)* – en charge de l'exploitation durable des ressources halieutiques du pays et d'une gestion efficace de l'industrie de la pêche. Elle est également chargée de préserver et de protéger les écosystèmes aquatiques.
- *Direction générale du génie rural (DGGR)* – responsable de la conceptualisation des politiques nationales sur l'eau, elle coordonne aussi leur mise en œuvre et application dans les domaines de l'hydrologie agricole et pastorale, et l'exploitation et la protection des ressources en eau pour la production agricole, pastorale et pour la pêche.
- *Direction régionale de l'agriculture, de l'hydrologie et des ressources halieutiques (DRAHRH)* – responsable de la coordination des Directions provinciales de l'agriculture, de l'hydrologie et des ressources halieutiques (DPAHRH) qui mettent en œuvre les activités de développement à échelle provinciale.

Comité de gestion de bassin (CGB)

Le Comité de gestion de bassin est un organe de concertation et de décision. Sa composition, sa structure et ses fonctions sont spécifiées par directive réglementaire. Le Comité de gestion de bassin a pour mission:

- L'identification et l'évaluation des ressources en eau dans le bassin;
- Le recrutement des opérateurs nécessaires à une gestion coordonnée des ressources en eau;
- L'identification, la prévention et la résolution d'éventuels litiges pouvant résulter du partage des ressources en eau avec le Ghana.
- L'identification des questions relatives aux ressources en eau du bassin et l'information des autorités compétentes.

Le Comité de gestion de bassin est composé d'une représentation à parts égales des organisations suivantes:

1. Représentants des utilisateurs
2. Représentants des communautés locales
3. Représentants de l'Etat

Agence de Bassin

L'Agence de Bassin est une institution publique dotée d'autorité juridique et d'autonomie financière pour la gestion de l'eau à échelle du bassin. Sa composition, ses domaines de compétence, sa structure et son fonctionnement sont définis par la loi. L'Agence de bassin a une mission générale d'intervention technique et économique, de suivi et de contrôle des ressources en eau dans les zones tributaires, et de gestion des usagers de l'eau et de leur impact. L'Agence de bassin est l'organe exécutif de mise en œuvre des décisions prises par les Comités de gestion des bassins, qui ont une tâche plus administrative. Les tâches spécifiques d'une agence de bassin sont les suivantes:

- Mise en œuvre et supervision des projets de Schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE), et de Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE).
- Coordination de la mise en œuvre des SDAGE et SAGE.
- Interventions économiques par le biais des contributions financières des utilisateurs de l'eau, et appui aux propriétaires publics et privés.
- Conseils techniques (conseil, expertise, communication, formation technique pour les propriétaires).
- Diffusion d'information auprès des utilisateurs du bassin sur l'utilisation de l'eau et de l'environnement naturel.
- Activités de soutien à toutes les commissions du Comité de gestion du bassin.
- Résolution des conflits et attribution des subventions.
- Participation à la gestion des eaux partagées.

Comités locaux de l'eau (CLE)

Selon l'importance des problèmes liés au développement et la gestion des sous-bassins, des aquifères, des rivières, des agglomérations urbaines, et des réseaux de distribution, des CLE sont formés pour assurer la conformité aux SDAGE. La composition, la structure et la fonction des CLE sont définies par la loi.

Conseil national de l'eau (CNE)

Le CNE est une unité de consultation établie au niveau national pour la gestion de l'eau. Il réunit l'Etat, les collectivités locales, le secteur privé, et les différentes composantes de la société civile. L'objectif principal du CNE est de favoriser une concertation dans le secteur de l'eau, de façon permanente, structurée, et productive, entre tous les acteurs. Cette approche diffère de l'approche habituelle dans laquelle l'Etat informe simplement les autres acteurs des développements prévus dans le secteur de l'eau. Le CNE est consulté sur les questions nationales liées à l'eau, notamment sur le Plan d'action pour la gestion intégrée des ressources en eau (SDAGE, SAGE), les programmes d'intervention des agences de bassin, les lois et règlements principaux dans le domaine de l'eau ou ayant un impact important sur l'eau, ainsi que pour toute autre question dans le domaine de l'eau soumise par le gouvernement, ou dont le CNE se saisit directement. Le Conseil met en œuvre ses activités par l'intermédiaire de son secrétariat permanent (Comité de pilotage du PAGIRE), sous tutelle du cabinet ministériel chargé des questions de l'eau.

Comité technique de l'eau (CTE)

Le Comité technique de l'eau est chargé de proposer des options fondamentales de développement des ressources en eau. Il se compose d'un organe administratif qui coordonne les politiques sectorielles des différents ministères. Cet organe est composé des secrétaires généraux ministériels (ou de leurs représentants) en charge de l'eau, de la santé, de l'agriculture, de l'élevage, de la pêche, de la foresterie, de l'environnement, de l'urbanisme et du logement. Ce cadre permet à l'Etat d'avoir une approche harmonisée sur les questions de l'eau au sein du Conseil national de l'eau.

Office national de l'eau et de l'assainissement (ONEA)

L'ONEA est une agence du gouvernement ayant pour mission de créer et de gérer les infrastructures d'eau potable dans les zones urbaines et périurbaines. L'ONEA agit sous tutelle administrative de la Direction de l'approvisionnement en eau potable et de l'assainissement (DAEPA). Il est partiellement privatisé et soutenu par GTZ et KfW.

Office national des puits et des forages (ONPF)

Le mandat de l'ONPF est de fournir de l'eau potable dans les zones rurales dans l'ensemble du pays.

Autres organismes gouvernementaux et parapublics

D'autres institutions publiques et parapubliques existent dans le domaine de la gestion des ressources hydriques, telles que: le Fonds de l'eau et de l'équipement rural (FEER), l'Autorité de mise en valeur de la vallée du Sourou (AMV), la Maîtrise d'ouvrage de Bagré (MOB), la Société nationale d'électricité du Burkina Faso (SONABEL), les Autorités traditionnelles, les instituts de recherche, les organisations donatrices, les organisations non gouvernementales, et les projets de recherche internationaux.

2.4 Défis actuels

Suite à la mise en place de l'ABV, le Fonds pour l'environnement mondial et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE-FEM) ont entrepris un projet de six ans dans le cadre du Programme d'action stratégique (SAP), afin de répondre aux préoccupations transfrontalières dans le bassin de la Volta et dans les zones côtières en aval. Ce projet a pris fin en décembre 2013. L'analyse-diagnostic transfrontalière du bassin de la Volta (TDA) a identifié trois grands groupes de problèmes transfrontaliers, et deux préoccupations prioritaires. Les problèmes transfrontaliers concernent les variations de la quantité d'eau et les débits saisonniers, la dégradation des écosystèmes, et les préoccupations liées à la qualité de l'eau. La gouvernance et le changement climatique sont des préoccupations transversales de priorité majeure. Une brève description de ces problèmes transfrontaliers est présentée dans les sections ci-dessous, et une analyse détaillée des causes, impacts environnementaux, et conséquences socio-économiques est disponible dans le projet Volta du PNUE-FEM (UNEP-GEF Volta Project 2013).

2.4.1 Variation de la quantité d'eau et débits saisonniers

Les variations de la disponibilité en eau dans le bassin engendrent des impacts socio-économiques et culturels. La plupart des rivières du bassin présentent de grandes variations saisonnières et / ou temporelles dans les conditions naturelles. Beaucoup sont naturellement à sec pendant de longues périodes, et des inondations se produisent de façon naturelle. Cependant, des changements dans le volume global disponible, et dans la répartition temporelle et saisonnière de la disponibilité en eau ont été observés par le passé. Des changements dus à la pression démographique et à l'utilisation de l'eau à des fins agricoles, industrielles, et pour la production d'électricité, ont également été observés (Gordon et al. 2013). Les pénuries d'eau sont devenues plus intenses et moins prévisibles, au cours des dernières décennies. Il est à prévoir que le changement climatique aggravera encore cette situation, en affectant la pluviométrie, en augmentant les températures, et en affectant les ressources en eau de façon disproportionnée (Roudier et al. 2014).

2.4.2 Dégradation des écosystèmes

Érosion côtière en aval du bassin de la Volta

L'écosystème côtier autour de l'embouchure de la Volta dépend de l'approvisionnement en eau par le fleuve, de la qualité de l'eau entrante, et de son approvisionnement en sable et autres éléments nutritifs provenant de la plage. Ces facteurs ayant été modifiés par les changements environnementaux et les activités humaines, en particulier la construction du barrage d'Akosombo, l'écosystème a également changé. Suite à ces changements, le Ghana et le Togo ont connu de graves problèmes d'érosion côtière, en différents points de leur littoral. Les zones les plus affectées et les plus connues à échelle internationale se situent dans l'estuaire de la Volta, principalement à Ada (où la Volta se jette dans l'océan Atlantique) et à Keta (et son extension vers Lomé, au Togo). L'océan ronge entre 1,5 et 2 m des 560 km de côte du Ghana chaque année, et jusqu'à 4 m à Ada Foah et à l'est de Keta (Appeaning-Addo 2009). En 2009, les vagues ont recouvert un kilomètre de route goudronnée environ, le long de la zone côtière de Keta, affectant plusieurs villages, tous situés à environ 100 mètres du bord de mer.

Espèces aquatiques envahissantes

La présence de plantes aquatiques envahissantes est un problème croissant dans le bassin de la Volta. Le phénomène est particulièrement préoccupant dans certains des affluents du lac Volta, de l'Oti, de la Pendjari et de la Basse-Volta. Ces espèces envahissantes colonisent, modifient, et peuvent même dominer les écosystèmes aquatiques naturels, et porter atteinte à leur fonctionnement. La rivière Mou, un affluent de la Volta noire au Burkina Faso, a été colonisée par *Eichhornia crassipes* (jacinthe d'eau) (Petr 2000). Certaines zones du Bassin de la Volta au Ghana (en particulier autour de Kpong), au Bénin, et au Togo, sont également témoins d'une prolifération de plantes aquatiques envahissantes telles que *Pistia stratiotes* (laitue d'eau), *Salvinia molesta* (salvinia géante ou herbe de Kariba) et, surtout la jacinthe d'eau. Dans certains endroits, la laitue d'eau se mêle à *Scirpus cubensis* (scirpe cubaine). Dans le fleuve Volta et son système lacustre, *Vossia cuspidate* (herbe à hippopotame), poussant au bord de l'eau, a augmenté de façon alarmante au fil des années. Dans certaines zones, elle forme de grandes îles flottantes qui gênent le transport fluvial et la pêche (Petr 2000). D'autres plantes aquatiques envahissantes telles que *Neptunia oleracea* (mimosa d'eau), *Cyperus papyrus* (papyrus), *Limnocharis flava* (limnocharis jaune) ou *Azolla africana* (fougère d'eau) ont aussi été observées. *Pistia stratiotes* est également fréquente dans les étangs et lagunes du bassin, ainsi que dans les mangroves. *Typha australis* (scirpe ou quenouilles), est présente dans presque toutes les zones du bassin, et colonise généralement les étangs marécageux (UNEP-GEF Volta Project 2013).

Perte des sols et de la couverture végétale

La dégradation des terres dans le bassin de la Volta englobe la dégradation des sols, l'érosion intense, et la désertification. La population du bassin est fortement dépendante des terres disponibles dans la région pour la production agricole et l'élevage de subsistance, conduisant à la fois à des défis environnementaux et économiques. Cependant, les statistiques sur la perte des sols et la couverture végétale dans le bassin de la Volta sont rares.

Les ressources forestières dans le bassin de la Volta ont subi une importante dégradation au cours des dernières décennies, conduisant à des pertes considérables de couverture végétale. Au Togo, sur l'ensemble du pays, le couvert forestier disparaît à un rythme annuel de 15.000 ha an⁻¹ (UNDP 2006). Les étendues de végétation naturelle ont diminué de 43 à 13% de la superficie totale du bassin au Burkina Faso entre 1965 et 1995, alors que les surfaces cultivées sont passées de 53 à 76%, et les zones de sol nu ont presque triplé, passant de 4 à 11% (Droogers et al. 2006). Sur l'ensemble de la Côte d'Ivoire, la couverture forestière a été estimée à 14,5 Mha en 1.900, 9 Mha en 1965, et 2,5 Mha en 1992 (Oszwald 2005). L'Évaluation des ressources forestières mondiales de 2010 a révélé que le Ghana a perdu 2% (135.000 ha) de sa forêt, chaque année, entre 1990 et 2000 (FAO 2010). La Commission forestière du Ghana estime le taux de déforestation du pays à 65.000 ha an⁻¹ (Opoku et al. 2005).

Augmentation de la sédimentation dans les cours d'eau

L'apport en sédiments dans le bassin de la Volta provient de l'érosion des sols agricoles, des pentes de collines, et des implantations humaines. Les facteurs influençant la charge en sédiments des fleuves incluent les diverses utilisations des terres, ainsi que certaines pratiques culturelles ayant lieu dans la région. La sédimentation altère le cours des rivières du bassin de la Volta, et les dépôts de sédiments ont un effet direct sur la durée de vie et la capacité de stockage des petits réservoirs et des barrages. Malheureusement, en raison du manque de soutien logistique à des

activités systématiques d'échantillonnage, les données sur le niveau de sédiments dans les pays riverains sont limitées. Au Ghana, le taux annuel moyen spécifique de sédiments en suspension dans les sous-bassins de l'Oti, la Volta blanche, et la Volta noire, est de 63,26, 32,56, et 28,05 t km⁻² an⁻¹, respectivement (Akrasi 2011).

2.4.3 Préoccupations liées à la qualité de l'eau

La qualité de l'eau ne représente pas un problème important ou généralisé, même si certains sites, près de grands sites industriels, et zones urbaines ou minières, peuvent localement présenter certains problèmes. Le problème principal des eaux de surface est la détérioration de la qualité de l'eau en raison de la présence de phosphates et de nitrates issus de l'agriculture (UNEP-GEF Volta Project 2013). Cette détérioration est généralement plus élevée dans le nord du bassin que dans le sud, en raison des effets de dilution causés par les apports d'eau croissants se produisant d'amont en aval, le long du bassin. Les eaux souterraines du bassin de la Volta sont généralement de bonne qualité.

2.4.4 Gouvernance

Le projet Volta du PNUE-FEM a entrepris une analyse de gouvernance (politiques, contraintes législatives et institutionnelles à une gestion efficace des ressources en eau du bassin), au niveau national, et à échelle du bassin. Les six pays riverains partagent de nombreuses contraintes liées aux cadres de gestion des connaissances, à l'information et aux communications, aux capacités individuelles et institutionnelles, aux ressources humaines et financières, et aux mécanismes de gouvernance, à échelle nationale. Au niveau du bassin, les contraintes les plus importantes ont trait à l'absence de mécanismes institutionnels et législatifs efficaces qui permettraient d'assurer une bonne gouvernance sur l'ensemble du bassin. Les Tableaux 2.2 et 2.3 résument les défis rencontrés par les gestionnaires de ressources au niveau national, et à échelle du bassin.

TABLEAU 2.2 Résumé des contraintes politiques et législatives.

Niveau:	Type de contrainte	Description
National	Gestion des connaissances, Information, Communication	• Connaissances, données, informations fiables, et outils d'aide à la décision insuffisants. • Communication (diffusion, extension, etc.) des textes juridiques, et suivi de leur application, inefficaces. • Procédures inadéquates pour la production durable d'informations et de données scientifiques sur le changement climatique et les phénomènes météorologiques extrêmes. • Législation insuffisante sur les accords environnementaux multilatéraux. • Sensibilisation insuffisante sur la question du changement climatique.
	Capacités individuelles et institutionnelles	• Insuffisance et obsolescence de certains textes en vigueur. • Non-respect de la législation, culture de l'impunité, et faible application de la législation existante.

(Suite page suivante)

TABLEAU 2.2 Résumé des contraintes politiques et législatives. (suite)

Niveau:	Type de contrainte	Description
		• Retards excessifs et lourd processus d'adoption des lois et des règlements d'application. • Faiblesses des processus de lancement et de rédaction de textes (participation et intégration du droit coutumier dans le droit moderne insuffisantes). • Procédures inadéquates pour l'évaluation stratégique environnementale formelle. • Absence de cadre juridique contraignant pour la mise en œuvre de mesures compensatoires et d'indemnisations. • Capacité des responsables de négociation d'accords insuffisante, et non-maîtrise des outils d'accès au marché du carbone et aux financements liés au mécanisme de développement propre (MDP). • Faible intégration des dispositions internationales dans la législation nationale, et faible application des conventions internationales.
	Ressources humaines et financières	• Insuffisance des ressources humaines (en quantité et en qualité) pour assurer le développement, puis la mise en œuvre, des politiques environnementales. • Prédominance d'objectifs et d'intérêts individuels au détriment d'objectifs publics et des intérêts de la majorité. • Insuffisance des ressources financières pour la mise en œuvre de mesures d'adaptation. • Faibles ressources financières et mécanismes de financement inefficaces. • Faiblesse des incitations économiques, et des mesures financières et budgétaires.
	Gouvernance	• Absence d'une vision de développement qui tienne suffisamment compte de l'impératif de développement socio-économique, et de la nécessité d'une utilisation durable des ressources naturelles (les pauvres ne sont pas protégés contre une dépendance excessive des ressources naturelles). • Écart important entre la volonté politique d'une gestion intégrée et participative des ressources naturelles et la réalité sur le terrain. • Dualisme et ambivalence entre l'application des lois traditionnelles de propriété foncière et le droit foncier moderne. • Vide juridique sur les mesures de protection sociale en cas de dommages causés par les catastrophes naturelles. • Gestion et résolution des conflits entre les utilisateurs des ressources naturelles insuffisantes. • Faible reconnaissance des questions de genre. • Transparence et responsabilité. • Garantie et respect des droits de propriété individuelle insuffisants.
Bassin de la Volta	Gouvernance	• Absence de cadre de coordination pour la gestion globale des ressources naturelles et des écosystèmes. • Développement insuffisant des stratégies et des politiques environnementales.

(Suite page suivante)

TABLEAU 2.2 Résumé des contraintes politiques et législatives. (suite)

Niveau:	Type de contrainte	Description
		• Harmonisation insuffisante des politiques et des cadres juridiques pour la gestion des ressources naturelles, et manque de synergies dans la mise en œuvre des accords multilatéraux sur l'environnement. • Mauvaise coordination de la mise en œuvre des stratégies, plans d'action, et programmes régionaux. • Normes insuffisantes pour le contrôle de la qualité de l'eau. • Aucun des pays du bassin de la Volta n'est membre de la Convention relative à l'évaluation des impacts environnementaux transfrontaliers. • Absence d'une législation nationale spécifique pour gérer les portions nationales du bassin de la Volta.

Source: UNEP-GEF Volta Project 2013.

TABLEAU 2.3. Résumé des contraintes institutionnelles.

Niveau:	Type de contrainte	Description
National	Gestion des connaissances, Information, Communication Capacités individuelles et institutionnelles	• Pression croissante sur les plantes médicinales et d'intérêt économique en raison de l'accroissement de la population. • Exploitation insuffisante des connaissances scientifiques actuelles. • Faibles capacités techniques et financières des municipalités à assumer leurs devoirs et pouvoirs. • Instabilité de l'ancrage institutionnel, instabilité structurelle, et faiblesses organisationnelles. • Absence de plusieurs mécanismes ou organes annoncés dans les textes juridiques, insuffisance du soutien institutionnel. • Organisation insuffisante de certaines structures ou institutions. • Faibles capacités de l'Etat, du secteur privé, et de la société civile.
	Ressources humaines et financières	• Transfert inefficace des compétences et des ressources, qui ne permet pas une véritable gouvernance locale des ressources naturelles. • Manque de ressources spécialisées et qualifiées dans des domaines spécifiques. • Dépendance excessive vis à vis des partenaires financiers internationaux.
	Gouvernance	• Multiplicité des centres de décision sans direction stratégique, mauvaise coordination et consultation (fragmentation des responsabilités, incohérences, et manque de synergie dans le domaine). • Conflits de compétences ou de directions stratégiques entre les ministères et entre les politiques sectorielles. • Confusion des rôles et des responsabilités de nombreuses structures et institutions. • Inefficacité de nombreux forums de dialogue (nationaux et locaux).

(Suite page suivante)

TABLEAU 2.3. Résumé des contraintes institutionnelles. (suite)

Niveau:	Type de contrainte	Description
		• Décentralisation incomplète. • Mauvaise intégration des autorités traditionnelles, des organisations de la société civile, et du secteur privé dans les structures de gouvernance formelle. • Faible implication des autorités traditionnelles et intégration insuffisante du droit traditionnel. • Développement de la corruption à différents niveaux.
Bassin de la Volta	Gouvernance	• Non-respect des procédures conventionnelles sur l'environnement. • Absence d'institutions nationales spécifiques pour gérer les parties nationales du bassin de la Volta. • Non-ratification de la Charte de l'ABV par certains pays. • Défaut d'organisation et de coopération dans le bassin à différents niveaux.

Source: UNEP-GEF Volta Project 2013.

2.4.5 Changement climatique

Le changement climatique a conduit à une évolution des températures, des précipitations, et de la fréquence et intensité des tempêtes en Afrique de l'Ouest. Le changement climatique est susceptible d'aggraver la dégradation des ressources naturelles, et l'adaptation au changement climatique est donc essentielle à un développement durable à long terme, et à l'utilisation des ressources dans le bassin. L'évolution des régimes climatiques est l'une des causes profondes des problèmes environnementaux dans la région.

2.5 Programme d'action stratégique (SAP)

Sur la base des conclusions de l'TDA ainsi que d'une vaste consultation, un Programme d'action stratégique (SAP) (UNEP-GEF Volta Project 2014) a été rédigé, identifiant spécifiquement les mesures et investissements nécessaires pour:

- Assurer la disponibilité en eau.
- Conserver et restaurer les fonctions des écosystèmes.
- Assurer une qualité adéquate de l'eau.
- Renforcer la gouvernance et la gestion de l'information dans le bassin.

Ces mesures répondent aux principales menaces pesant sur l'eau et les ressources naturelles dans la région, en termes de durabilité de leur utilisation pour le développement socio-économique. Les mesures prioritaires sont résumées ci-dessous (UNEP-GEF Volta Project 2014).

Composante A: Assurer la disponibilité en eau

Cette composante est liée aux problèmes de variations de la qualité de l'eau et des débits saisonniers (problème transfrontalier 1, UNEP-GEF Volta Project 2013). Les sept mesures identifiées se concentrent sur l'amélioration de la disponibilité en eau ainsi que sur l'optimisation

de son utilisation dans le bassin de la Volta (UNEP-GEF Volta Project 2014). Elles visent à améliorer la compréhension de l'hydrologie du bassin afin de mieux répondre aux conditions changeantes et d'améliorer l'adaptation aux risques liés à la disponibilité en eau (Tableau 2.4).

TABEAU 2.4. Mesures de la composante A: Assurer la disponibilité en eau.

Mesure N°	à prendre Libellé	Objectif de qualité environnementale
A1	Identifier et promouvoir des techniques d'adaptation à la variabilité du climat et au changement climatique dans le bassin de la Volta	
A2	Protéger toutes les sources contribuant à un débit de base permanent de la rivière Mouhoun	
A3	Développer les infrastructures d'irrigation dans le bassin de la Sourou	
A4	Mettre à jour et augmenter la densité des réseaux de surveillance des ressources en eau (eaux de surface, eaux souterraines, et qualité de l'eau) dans les parties nationales du bassin de la Volta	Optimisation de l'eau pour les utilisateurs primaires (usage domestique, agricole, écosystèmes, et énergie hydroélectrique) afin qu'ils reçoivent un approvisionnement suffisant et durable
A5	Développer des modèles de répartition des eaux de surface pour une utilisation durable de l'eau dans le bassin de la Volta	
A6	Mettre en place un système d'alerte précoce contre les sécheresses, les crues, les inondations, et la diffusion de la pollution dans le bassin de la Volta	
A7	Identifier les adaptations appropriées en réponse aux impacts du changement climatique sur les ressources en eau du bassin de la Volta	

Source: UNEP-GEF Volta Project 2014.

Composante B: Conservation et restauration du fonctionnement des écosystèmes

Cette composante cible les problèmes de dégradation des écosystèmes, incluant l'érosion côtière, les espèces aquatiques envahissantes, la sédimentation accrue des cours d'eau, et la perte des sols et du couvert végétal (problème transfrontalier 2, UNEP-GEF Volta Project 2013). Les mesures identifiées dans cette composante se concentrent sur les actions physiques et les investissements nécessaires à une exploitation durable des écosystèmes du bassin de la Volta (Tableau 2.5; UNEP-GEF Volta Project 2014).

TABEAU 2.5. Mesures identifiées dans la Composante B: Conserver et restaurer le fonctionnement des écosystèmes.

Mesure N°	à prendre Libellé	Objectif de qualité environnementale
B1	Stabiliser la côte entre Ada et Keta, au Ghana	
B2	Promouvoir la gestion et le développement durable des écosystèmes côtiers dans l'estuaire de la Volta	Côte entre Ada et Keta stabilisée en 2025
B3	Mettre en œuvre un programme régional de lutte contre les espèces aquatiques envahissantes dans les plans d'eau du bassin de la Volta	Prolifération d'espèces envahissantes contenue, en particulier sur cinq zones prioritaires pour la biodiversité

(Suite page suivante)

TABLEAU 2.5. Mesures identifiées dans la Composante B: Conserver et restaurer le fonctionnement des écosystèmes. (suite)

Mesure N°	à prendre Libellé	Objectif de qualité environnementale
B4	Concevoir et mettre en œuvre un programme régional pour la protection et la restauration des berges des rivières et des galeries forestières en amont du lac Volta	Sédimentation réduite de 20% en 2025 sur cinq zones prioritaires clés
B5	Créer, réhabiliter, et sécuriser les couloirs de transhumance et d'élevage	
B6	Restaurer le couvert végétal des forêts de Samory et de Ségué	
B7	Préserver et restaurer les pentes et les flancs de montagnes de la région Oti-Pendjari	Fonctions critiques des écosystèmes conservées, restaurées, et gérées pour une utilisation durable sur au moins cinq zones sélectionnées
B8	Protéger les zones humides du bassin de la Volta	
B9	Créer des zones de conservation de la biodiversité dans la région Sourou-Mouhoun	
B10	Réaliser un inventaire, et développer un système de suivi de la biodiversité dans les écosystèmes aquatiques du bassin de la Volta	

Source: UNEP-GEF Volta Project 2014.

Composante C: Assurer une qualité adéquate de l'eau

Cette composante se concentre sur les questions liées à la qualité de l'eau (problème transfrontalier 6, UNEP-GEF Volta Project 2013). Les mesures de cette composante visent directement à protéger la qualité de l'eau et à renforcer la capacité des laboratoires nationaux de qualité de l'eau afin d'obtenir des informations précises sur le statut de la qualité de l'eau dans le bassin de la Volta (Tableau 2.6; UNEP-GEF Volta Project 2014).

TABLEAU 2.6. Mesures identifiées pour la composante C: Assurer une qualité adéquate de l'eau.

Mesure N°	à prendre Libellé	Objectif de qualité environnementale
C1	Contrôler la pollution dans les zones fortement polluées du bassin de la Volta	
C2	Promouvoir la revalorisation des eaux usées traitées	Qualité de l'eau disponible suffisante pour assurer les besoins des écosystèmes sur quatre points de pollution prioritaires
C3	Protéger les aquifères d'eau douce peu profonds de la salinisation, le long des côtes du Ghana et du Togo	
C4	Renforcer les capacités des laboratoires nationaux de qualité de l'eau	

Source: UNEP-GEF Volta Project 2014.

Composante D: Renforcement de la gouvernance et amélioration de la qualité de l'information pour la gestion des ressources.

Cette composante cible l'une des questions transversales de gouvernance (UNEP-GEF Volta Project 2013). Elle vise à renforcer les cadres institutionnels pour la gestion durable des ressources environnementales et hydriques du bassin de la Volta (Tableau 2.7; UNEP-GEF Volta Project 2014).

TABLEAU 2.7. Mesures identifiées pour la Composante D: Renforcement de la gouvernance et amélioration de la qualité de l'information pour la gestion des ressources.

Mesure N°	à prendre Libellé	Objectif de qualité environnementale
D1	Rédiger la Charte de l'eau du bassin de la Volta	
D2	Préparer le Plan directeur du bassin de la Volta	
D3	Réaliser une évaluation institutionnelle de l'Autorité du bassin de la Volta	
D4	Soutenir et renforcer la coopération transfrontalière et régionale pour la gestion des ressources en eau sur l'ensemble du bassin de la Volta	
D5	Améliorer et harmoniser les normes et règlements de sécurité des barrages dans le bassin de la Volta	
D6	Protéger les cours d'eau et les zones humides, et appliquer les règlements en vigueur	Cadres juridique et institutionnel renforcés dans le bassin de la Volta
D7	Soutenir les pays du bassin de la Volta dans la mise en œuvre des aspects institutionnels de leurs plans de GIRE	
D8	Renforcer un mécanisme de gouvernance transfrontalière des ressources en eau du bassin du Sourou, partagées par le Mali et le Burkina Faso	
D9	Renforcer la sensibilisation du public et les connaissances sur les lois relatives à l'eau et à l'environnement dans le bassin de la Volta	
D10	Soutenir l'opérationnalisation de l'Observatoire du bassin de la Volta	
D11	Évaluer la valeur économique du capital environnemental et du fonctionnement des écosystèmes dans le bassin de la Volta	
D12	Réaliser une étude socio-anthropologique dans le bassin de la Volta sur les relations entre les utilisations de l'eau et l'environnement	

Source: UNEP-GEF Volta Project 2014.

Il est prévu que la réalisation des objectifs des mesures décrites dans le SAP contribue à protéger la santé humaine, à réduire les niveaux de pauvreté, et à améliorer la conservation et la protection des ressources en eau dans le bassin de la Volta, ainsi que la protection des fonctions de la biodiversité et des écosystèmes, dont l'importance est mondialement reconnue.

2.6 Données démographiques

Les principales agglomérations du bassin de la Volta incluent Ouagadougou, Tamale, et Bolgatanga, dans le sous-bassin de la Volta blanche, Bobo Dioulasso, dans le sous-bassin de la Volta noire, la région de la Kara, au Togo, dans le sous-bassin de l'Oti, et la partie inférieure du sous-bassin de la Basse Volta, dans le sud du Ghana (UNEP-GEF Volta Project 2013). La croissance démographique dans les pays du bassin est l'une des plus fortes au monde, avec un taux moyen de 2,7% par an (Tableau 2.8). Biney (2010) prévoit que la population totale du bassin passera d'environ 18,6 millions en 2000, à 33,9 millions en 2025, soit une augmentation de 80% sur une période de 25 ans. La croissance actuelle de la population, en dehors de son impact sur

les infrastructures et les installations disponibles, pose également problème quant à l'utilisation durable des ressources naturelles, en particulier des ressources en eau.

La densité de population dans les pays riverains varie de 125 personnes km⁻² (la plus élevée, constatée au Togo), et 13 personnes km⁻² (la plus faible, au Mali) (Barry et al. 2005). Le Ghana, le Bénin, la Côte d'Ivoire, et le Burkina Faso présentent des densités de population de 114, 92, 64 et 62 personnes km⁻², respectivement (Tableau 2.8). Les densités de population varient également à l'intérieur des pays. Par exemple, les densités de population dans le nord-est, le nord-ouest, et le nord du Ghana, sont de 118,4, 35,2 et 38 personnes km⁻², respectivement (GSS 2012). La densité moyenne de la population dans le bassin de la Volta au Burkina Faso est de 29 personnes km⁻², avec une plus forte densité (79 personnes km⁻²) sur le plateau central, et des zones moins peuplées (10 personnes km⁻²) dans les régions de l'est et de l'ouest (Obuobie et Barry 2010).

Des migrations de la population, influencées par un certain nombre de facteurs tels que la pauvreté, la pression démographique croissante, et la dégradation environnementale, ont lieu dans tout le bassin. En outre, les gens continuent à se déplacer vers les zones urbaines à la recherche de meilleures opportunités. Le déclin des activités de pêche dans les zones situées en aval du lac Volta, après la création du lac, a entraîné un déplacement et une réinstallation des personnes en amont, dans les environs immédiats du lac, afin d'assurer leur subsistance (UNEP-GEF Volta Project 2013). Les habitants des régions des Savanes et de la Kara, au Togo, qui avaient migré vers le sud du pays avant 1990, sont maintenant de retour, en raison de troubles socio-politiques (Obuobie et Barry 2010). La population du Burkina Faso connaît également d'importantes migrations, tant intérieures qu'extérieures. On estime que 71,2% de celle-ci s'est déplacé à l'intérieur du pays, et 28,8% a émigré à l'étranger (Obuobie et Barry 2010). La qualité de l'environnement contribue également aux migrations dans le bassin. On note, en particulier, les mouvements induits par les feux de brousse, les inondations, le pâturage, les sécheresses et les famines.

TABLEAU 2.8. Dynamique des populations humaines dans le bassin de la Volta

	Population (2013) (en millions)	Densité de population (personnes/km)	Taux de croissance de la population (% annuel)	Population âgée de 0-14 ans (%)	Population âgée de 15-64 ans (%)	Population de plus de 65 ans (%)
Bénin	10,3	92	3	43	54	3
Burkina Faso	16,9	62	3	46	52	2
Côte d'Ivoire	20,3	64	2	41	55	3
Ghana	25,9	114	2	38	58	3
Mali	15,3	13	3	47	50	3
Togo	6,8	125	3	42	55	3

Source: World Bank 2014.

2.7 Moyens de subsistance

Les pays riverains du bassin de la Volta sont généralement pauvres, et présentent des économies faibles, basées principalement sur l'exportation de produits primaires. Le Rapport sur le développement humain de 2014 (UNDP 2014) les classe tous, à l'exception du Ghana, dans la tranche basse de développement, avec un indice de développement humain inférieur à 0,5. Le

PIB par habitant des pays riverains se situe entre 1.858,20USD (au Ghana) et 636,40USD (au Togo) (World Bank 2014). Les taux élevés de pauvreté entraînent également une vaste migration vers les régions riches en ressources, contribuant à son tour à une pression croissante sur les terres agricoles productives. La moitié de la population environ, dans chacun des pays riverains, se situe dans la tranche d'âges des 15-64 ans, qui constitue la majorité de la population active (Tableau 2.8). Parmi les six pays du bassin, le Ghana a la population active la plus grande (15,02 millions), suivi par la Côte d'Ivoire (11,2 millions), le Burkina Faso (8,8 millions), le Mali (7,7 millions), le Bénin (5,6 millions) et le Togo (3,7 millions).

64 à 88% de la population du bassin est rurale (Barry et al. 2005) et dépend directement des ressources naturelles, un défi pour leur gestion durable (Biney 2010). Le fleuve Volta et ses affluents sont une source d'eau importante pour les habitants. L'eau est vitale pour la subsistance de la population du bassin, ainsi que pour la croissance économique. Les principales activités de subsistance dans le bassin comprennent la production agricole, l'élevage, la pêche, l'industrie, et le commerce.

2.7.1 Agriculture

L'agriculture (incluant l'élevage, la pêche, et la foresterie) est l'activité de subsistance la plus importante dans le bassin, et contribue à une part importante du PIB des pays riverains. Elle génère environ 40% de la production économique du bassin, et demeure fortement tributaire de la disponibilité des ressources en eau (Biney 2010). La majorité des personnes économiquement actives (hommes et femmes) pratique une agriculture commerciale ou de subsistance. Le secteur de l'agriculture emploie la plus grande partie de la population active (60-92%). En Côte d'Ivoire, l'agriculture représente 54% de l'emploi masculin, et 72% de l'emploi féminin (Obuobie et Barry 2010).

Les systèmes d'exploitation incluent une combinaison de rotation des cultures et de polyculture. Il existe également des systèmes de monoculture, en particulier de riz, le long des vallées fluviales et des ruisseaux. En amont des bassins versants, les agriculteurs utilisent des diguettes, des murets, et des petits talus herbeux pour la conservation des terres et de l'eau, et l'amélioration de la production. Les agriculteurs cultivent la plupart des parcs agroforestiers, caractérisés par un maintien délibéré d'arbres polyvalents ou ayant principalement une valeur économique, comme le karité (*Vitellaria paradoxa*), le Dawadawa (*Parkia biglobosa*), et le Kapok (*Ceiba pentandra*) sur les terres agricoles (Poudyal 2009). Généralement, l'agriculture se caractérise par l'utilisation d'outils simples et du feu pour défricher la végétation. Le faible niveau technologique limite intrinsèquement la superficie totale potentiellement cultivée. La traction animale est massivement utilisée dans certaines parties du bassin, mais les houes et les machettes restent les principaux outils agricoles. L'utilisation de tracteurs pour la préparation des sols augmente progressivement.

Les agriculteurs sont fortement dépendants de la fertilité naturelle des sols, et les applications d'engrais restent faibles, tant en termes de quantité par hectare que de fréquence d'application. Les sols sont donc pauvres, et les pressions sur les terres agricoles réduisent les périodes de jachère. Les cultures ont généralement lieu pendant la saison des pluies, bien que de nombreux systèmes d'irrigation à petite échelle, tels que barrages, étangs artificiels, et petits réservoirs, permettent

également une agriculture en saison sèche. Les variétés cultivées dans le bassin comprennent le maïs, le mil, le sorgho, le riz, l'igname, l'arachide, les haricots bambaras, le niébé, le soja, et les légumes comme les tomates, les oignons, le chou, les piments, et le gombo. Les cultures de rente présentes dans le bassin incluent le coton, le café et le cacao. Les estimations de rendement moyen pour les différents types de cultures sont fournis dans le Tableau 2.9.

TABLEAU 2.9. Estimation de rendements des cultures pour le Ghana.

Culture	Rendement [tonne ha ⁻¹]
Maïs	1,4-1,7
Riz	1,9-2,6
Millet	0,7-1,1
Sorgho	0,7-1,3
Manioc	>12
Ignames	13,4-15,7
Taro	6,5-7,2
Banane plantain	9,4-10
Légumineuses	0,8-1,5

Source: UNEP-GEF Volta Project 2010.

Les zones boisées sont coupées afin de fournir des terres supplémentaires pour l'agriculture, ainsi que du bois de chauffage et du charbon de bois pour les populations locales. Dans de nombreuses régions du bassin, les forêts ont été gravement surexploitées, et sont menacées (voir la section 2.4.2). La pression démographique dans le bassin conduit à une utilisation non durable des ressources forestières et foncières.

2.7.2 Élevage

En plus des cultures, la production de bétail est une source importante de moyens de subsistance dans les régions rurales du nord du bassin. La production animale s'est maintenue à un niveau très faible dans le sud, du fait de la présence de mouches tsé-tsé et de la propagation de la trypanosomiase dans la partie tropicale du bassin. L'élevage d'animaux est donc plus fréquent au Burkina Faso et dans le nord du Ghana. Les riches prairies de savane fournissent un fourrage de bonne qualité pour la production animale. Presque tous les agriculteurs possèdent quelques animaux. L'élevage est une source de revenus pour les agriculteurs, mais aussi une assurance en cas de besoin immédiat de trésorerie. Le bétail est généralement élevé en liberté, bien que certains animaux puissent être confinés, pendant la saison des pluies, pour éviter la destruction des cultures. Les agriculteurs élèvent généralement des bovins, des moutons, des chèvres, des porcs, des poulets, et des pintades. Au Burkina Faso, l'élevage animal, comme la production de cultures, occupe une place importante dans l'agriculture, dans l'ensemble des régions. McCartney et al. (2012) ont estimé les cheptels actuels dans le bassin de la Volta à partir de sources ministérielles au Burkina Faso et au Ghana, ainsi que les cheptels futurs potentiels estimés sur la base des tendances actuelles de croissance (Tableau 2.10).

TABLEAU 2.10. Estimations du cheptel dans le bassin de la Volta.

Sous-bassin versant	Cheptel			
	1983	2000	2025	2050
Volta noire	2.261.061	3.440.472	6.378.442	11.825.275
Basse-Volta	2.139.129	3.274.039	6.034.475	11.187.580
Oti	1.495.889	2.443.472	4.219.896	7.823.449
Volta blanche	4.620.441	7.161.981	13.034.242	24.164.750
Total bassin de la Volta	10.516.520	16.319.964	29.667.055	55.001.054

Source: d'après McCartney et al. 2012.

2.7.3 Pêche et commerce du poisson

La pêche est une activité importante pour de nombreux habitants du bassin. Elle se pratique toute l'année, bien que les méthodes individuelles de pêche et les espèces ciblées varient considérablement au cours de l'année. Les activités de pêche sont habituellement masculines, à l'aide de pirogues, motorisées ou non. Outre les ressources halieutiques naturelles du bassin, le développement de l'aquaculture, en particulier l'élevage de poissons en cages, connaît également une hausse de popularité, en particulier dans le lac Volta, et sur la partie inférieure du fleuve. Le poisson frais est débarqué quotidiennement et vendu directement, en gros, ou à crédit, à des femmes qui le transformeront avant de le commercialiser. Dans d'autres cas, surtout les jours de marché, les pêcheurs peuvent vendre eux-mêmes leur poisson frais. Les principales méthodes de transformation sont le fumage, le salage, le séchage au soleil, et la fermentation. La transformation est réalisée principalement par les femmes. Les grossistes viennent dans les villages de pêche pour acheter le poisson transformé, et reviennent sur les marchés situés au bord du lac en 2-3 jours, avec un poisson déjà préparé pour le voyage vers les centres urbains. La pêche continentale est la principale source de subsistance pour de nombreuses communautés le long de la Volta. Le poisson fournit environ 60% des besoins totaux en protéines du Ghana, et la pêche continentale et l'aquaculture contribuent environ à hauteur de 20% à la production totale du pays. La production totale de la pêche intérieure est estimée à 87.500 T an⁻¹, dont 98% proviennent du lac Volta (UNEP-GEF Volta Project 2010).

2.7.4 Industrie

Le développement industriel le plus important dans le bassin est la production d'hydroélectricité, bien que celle-ci ne fournisse pas d'emploi direct à la majorité de la population du bassin. Au Ghana, il existe quelques usines textiles situées près du barrage d'Akosombo, comme Juapong Textiles Limited et Akosombo Textiles Limited. Quelques usines de transformation des tomates et du coton sont aussi présentes dans la partie nord du bassin, au Ghana. En dehors de celles-ci, les industries présentes dans la partie ghanéenne du bassin sont généralement de petite taille, utilisent des matières premières locales, et emploient habituellement entre deux et six travailleurs. Au Burkina Faso, un certain nombre d'industries sont situées dans le bassin, utilisent de grandes quantités d'eau, et rejettent des déchets sur les voies navigables. Celles-ci incluent des industries agroalimentaires (brasseries, abattoirs, cotonneries, et savonneries), de produits chimiques (pesticides), et textiles (teinture et couture).

Le secteur industriel à échelle micro-économique est très peu développé, et dominé par les femmes. Les domaines d'activité comprennent la production de beurre de karité et d'huile d'arachide, le brassage de *pito* (bière locale), l'étuvage du riz, la filature et le tissage de tissu, la vannerie, la poterie, et le travail du cuir.

Les ressources minérales comme le phosphate, l'uranium, l'or, et le fer abondent dans le bassin de la Volta, mais très peu d'exploitations ont été développées. L'extraction d'or à petite échelle est pratiquée dans le nord-est du bassin, au Ghana, et dans plusieurs régions du Burkina Faso, comme Kaya, Bittou, et Yako. Outre la destruction des sols et de la végétation, la qualité de l'eau est également gravement touchée par l'utilisation du mercure. La plupart de ces activités minières sont illégales. La production de fer artisanale est également fréquente au Togo.

Le tourisme reste sous-développé dans le bassin, malgré de nombreuses attractions naturelles et culturelles. Les attractions les plus importantes sont les parcs nationaux tels que le Parc National de la Pendjari au Bénin, le Parc national de la Comoé en Côte d'Ivoire, et le Parc National de Mole au Ghana.

2.7.5 Commerce

Une autre forme de diversification des moyens de subsistance pratiquée est le petit commerce (vente de boissons, d'aliments cuits, de sucre, et autres produits essentiels de base). Le petit commerce occupe en particulier un grand nombre de femmes (à temps plein ou à temps partiel), et concerne une grande variété de produits (vente de plats cuisinés, boissons artisanales / boissons alcoolisées provenant de produits agricoles ou de fruits sauvages, vente au détail des produits de jardinage, etc.). Le secteur commercial est limité par un mauvais service de transports, couplé avec un réseau routier insuffisant, des moyens de communication limités, et une infrastructure commerciale déficiente.

3. GÉOGRAPHIE PHYSIQUE

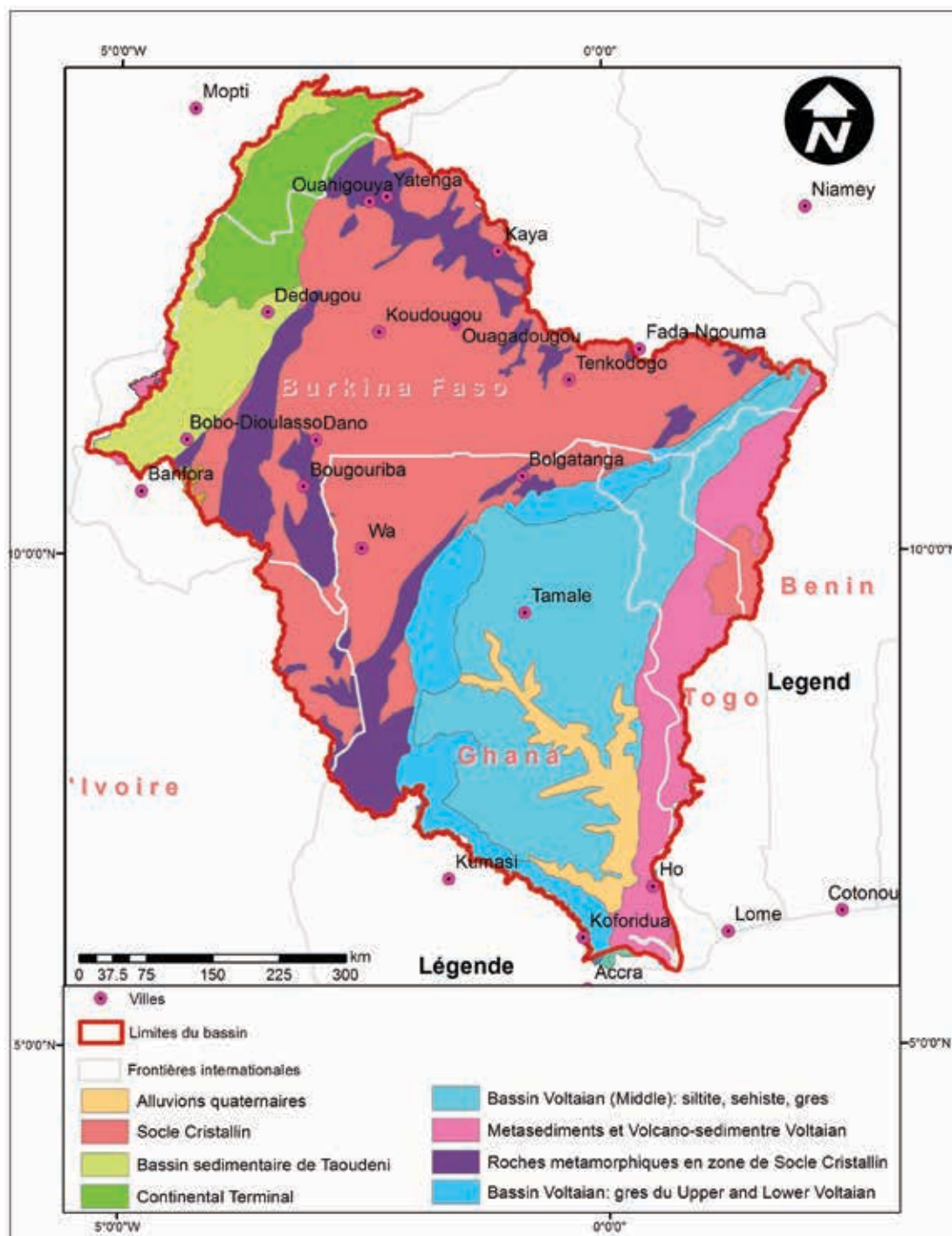
3.1 Géologie

Le Bassin de la Volta repose sur deux formations géologiques principales: un sous-sol de roches cristallines précambriennes associées au craton ouest africain, et des formations sédimentaires protérozoïques et paléozoïques consolidées (communément appelées formations voltaïques). Ces deux formations géologiques supportent plus de 90% du bassin de la Volta (Figure 3.1). Le reste de la géologie se compose de roches sédimentaires protérozoïques et paléozoïques (zone sédimentaire - grès, clacaires) qui se composent d'épaisses couches de grès, de schistes, de conglomérats, et de dolomite, ainsi que de roches sédimentaires tertiaires plus récentes (Continental terminal), qui se composent principalement de grès (Martin 2006; Obuobie et Barry 2012; Sandwidi 2007). La zone sédimentaire comme le Continental Terminal sont présents dans le nord-ouest du bassin, au Burkina Faso.

Le sous-sol cristallin et les formations sédimentaires consolidées sont généralement recouvertes par une couche altérée d'épaisseur et de lithologie variables, parfois appelée 'régolite' (Martin 2006; Carrier et al. 2006). L'épaisseur du régolite est généralement influencée par la lithologie, les caractéristiques structurelles, la topographie, la couverture végétale, l'érosion, et le climat. Les informations disponibles sur l'épaisseur du régolite sont très limitées, mais les observations d'études antérieures montrent que celui-ci peut atteindre 140 m d'épaisseur dans

les formations de sous-sol cristallin des parties centrales du bassin (nord-est et ouest du Ghana), même s'il présente généralement une épaisseur de moins de 30 m (Dapaah-Siakwan et Gyau-Boakye 2000; Apambire et al. 1997; Apambire 1996), variant entre 15 et 40 m (pouvant aller jusqu'à 100 m) dans le nord (Palacky et al. 1981; Groen et al. 1988). L'épaisseur du régolite dans la formation voltaïque est généralement inférieure à celle du sous-sol cristallin, et varie entre 4 et 20 m d'épaisseur dans les parties méridionales de la formation (Acheampong 1996).

FIGURE 3.1. Géologie du bassin de la Volta.



Source: Projet GLOWA Volta.

3.1.1 Roches cristallines du sous-sol

Le sous-sol de roches cristallines est une formation géologique dominante dans le bassin de la Volta, principalement présent dans le nord, au centre, à l'extrême est, et au sud-ouest du bassin. Il représente une caractéristique géologique importante présente sur 40% environ de la superficie totale des sols d'Afrique sub-saharienne (Carrier et al. 2006). Le sous-sol cristallin est présent sur 80 et 54% du Burkina Faso et du Ghana, respectivement (MEE 1998; Bilan D'eau 1993; MWH 1998a). Il est constitué de roches métamorphiques fortement déformées, de roches ignées, de complexes de granite, de roches vertes et de gneiss, et d'intrusions anorogéniques (Key 1992; Martin 2006; BRGM 2003; BGS 2002; MAHRH 2003). Selon Apambire (1996), la tendance structurelle de ces roches pourrait avoir été influencée, en grande mesure, par l'orientation principale de la contrainte tectonique (Ouest/North Ouest - Est/Sud Est), et suivre ainsi un axe nord-sud (Carrier et al. 2006). Des motifs de rupture peuvent se développer le long du même axe (fractures sub-verticales), ainsi que dans la partie supérieure de la roche (fractures subhorizontales de soulèvement isostatique), et aux abords des grandes intrusions (fractures sub-verticales parallèles aux marges). La province cristalline est généralement classée dans le super-groupe Birimien (avec intrusions granitiques associées), et les formations Dahoméenne, Togo, et Buem (Martin 2006).

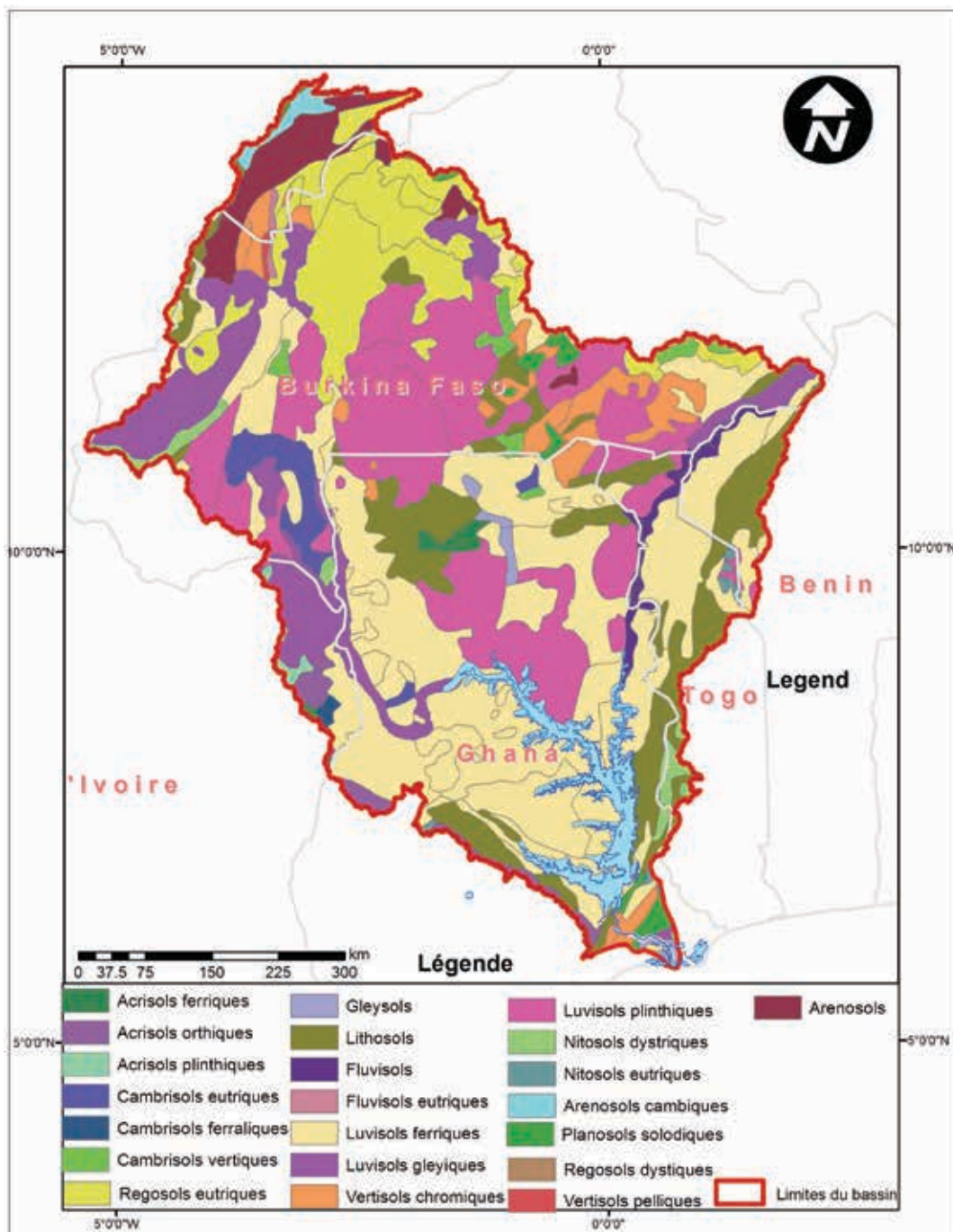
3.1.2 Formation sédimentaire consolidée

La formation sédimentaire consolidée (formation voltaïque) domine la géologie du centre-ouest et du sud-ouest du bassin. Ses roches sont essentiellement des grès (avec formations intercalées de schiste politique, calcaire dolomitique, et conglomérats), des schistes, de l'arkose, de l'argilite, des lits de sable et de galets, et du calcaire (MWH 1998a). Elles sont généralement bien soudées ou recristallisées (MacDonald et Davies 2000). Le système voltaïque peut être divisé en voltaïque supérieure, moyen, et inférieur, sur la base de la lithologie et des relations de terrain. Le voltaïque supérieur se compose de couches fines et épaisses de grès à quartzite, intercalées à des couches de schistes et d'argilite à certains endroits. Le voltaïque moyen (lits de l'Obusum et de l'Oti) se compose essentiellement de schistes, grès, arkose, argilite, et siltites. Le voltaïque inférieur est constitué de grès massif de quartzite et de graviers (MWH 1998a). Les formations géologiques de la partie nord-ouest du bassin sont constituées d'épaisses couches de grès, de schiste, et de carbonates de la zone sédimentaire, ainsi que de grès du continental terminal tertiaire (Martin 2006).

3.2 Sols

Les sols du bassin de la Volta ont été formés à partir de matériaux d'origine altérés pendant ou avant le paléozoïque moyen (Andah et al. 2003), et lessivés sur une longue période (Benneh et al. 1990). Sur la base de la classification des sols FAO-UNESCO (1974), 12 grands types de sols peuvent être identifiés dans le bassin de la Volta (Figure 3.2). Les luvisols sont, de loin, le type de sol dominant, présents partout dans le bassin, à l'exception de l'extrême nord où les régosols et les arénosols dominent. Les luvisols du bassin de la Volta, en particulier ceux du nord, ont une faible teneur en nutriments, et une structure de sol instable qui les rend propices à l'érosion et au phénomène de battance sur les terrains en pente.

FIGURE 3.2. Carte des sols du bassin de la Volta.



Source des données: FAO-IIASA-ISRIC-ISS-CAS-JRC 2012.

Outre les luvisols, les régosols et les arénosols sont également présents dans le nord du bassin (Burkina Faso). Les régosols sont constitués de matériaux non consolidés, de texture grossière. Ils sont sensibles à l'érosion, en raison de la faible cohérence des matériaux qui forment leur matrice (Mando 1997), et ont une perméabilité élevée et une capacité de rétention d'eau faible. Ceci les rend sensibles à la sécheresse. Les arénosols sont présents dans les zones de montagne et présentent une teneur élevée en argile. Ils sont peu fertiles, et ont une faible capacité de rétention d'eau, ce qui limite leur capacité à offrir des rendements de cultures élevés.

Dans le sud du bassin (Ghana), les lithosols sont les plus fréquents, suivis des luvisols. Ces sols sont, pour la plupart, bien à modérément bien drainés, graveleux, et présentent une matrice de texture légère. Les lithosols présents dans le nord du Ghana se caractérisent généralement par une faible capacité d'échange cationique, une faible stabilité globale, une faible teneur en matière organique, et une faible fertilité par rapport à ceux présents dans des conditions climatiques plus humides, au sud-est, plus riches en matière organique, et présentant une fertilité plus élevée. En outre, les lithosols du nord du Ghana présentent zone racinaire limitée, du fait de la présence de couches superficielles de plinthite et de concrétions ferrugineuses ou 'alios', et une étanchéité de surface sous l'effet des pluies, augmentant le ruissellement.

3.3 Climat

Le climat du bassin du Volta est dominé par une masse d'air maritime tropicale provenant du sud-ouest, chargée de pluie, et une masse d'air continentale tropicale sèche du nord-est (Dickson et Benneh 1988). Les deux masses d'air se rejoignent au niveau de la zone de convergence intertropicale (ZCIT), formant une zone quasi frontale de basses pressions qui traverse l'Afrique de l'Ouest (Anyadike 1993). La ZCIT est donc caractérisée par une activité frontale vigoureuse dont le mouvement contrôle la quantité et la durée des précipitations. Sur l'ensemble du bassin, la saison des pluies débute lors du passage de la ZCIT vers le nord, et se termine quand elle repart vers le sud. On observe, par conséquent, une diminution graduelle des précipitations, du sud vers le nord.

Entre mai et août (i.e., mousson ouest-africaine), la ZCIT se déplace vers le nord et les pays du bassin se trouvent sous influence de la masse d'air tropicale maritime. De décembre à février, le front se situe normalement au-dessus du golfe de Guinée, et l'harmatan, un vent chaud, sec, et généralement poussiéreux venant du nord-est ou de l'est, au sud du Sahara (Kasei 2010), souffle sur tous les pays du bassin de la Volta. Entre mars et novembre, la ZCIT se déplace au-dessus du bassin selon une trajectoire complexe, traversant même certaines zones à deux reprises, et entraînant une pluviométrie bimodale nettement plus importante au Ghana que dans le reste des pays du bassin. L'intervalle entre les deux pics de pluviométrie diminue avec le gradient latitudinal, jusqu'à ne former qu'un seul pic, au nord (Laux 2009).

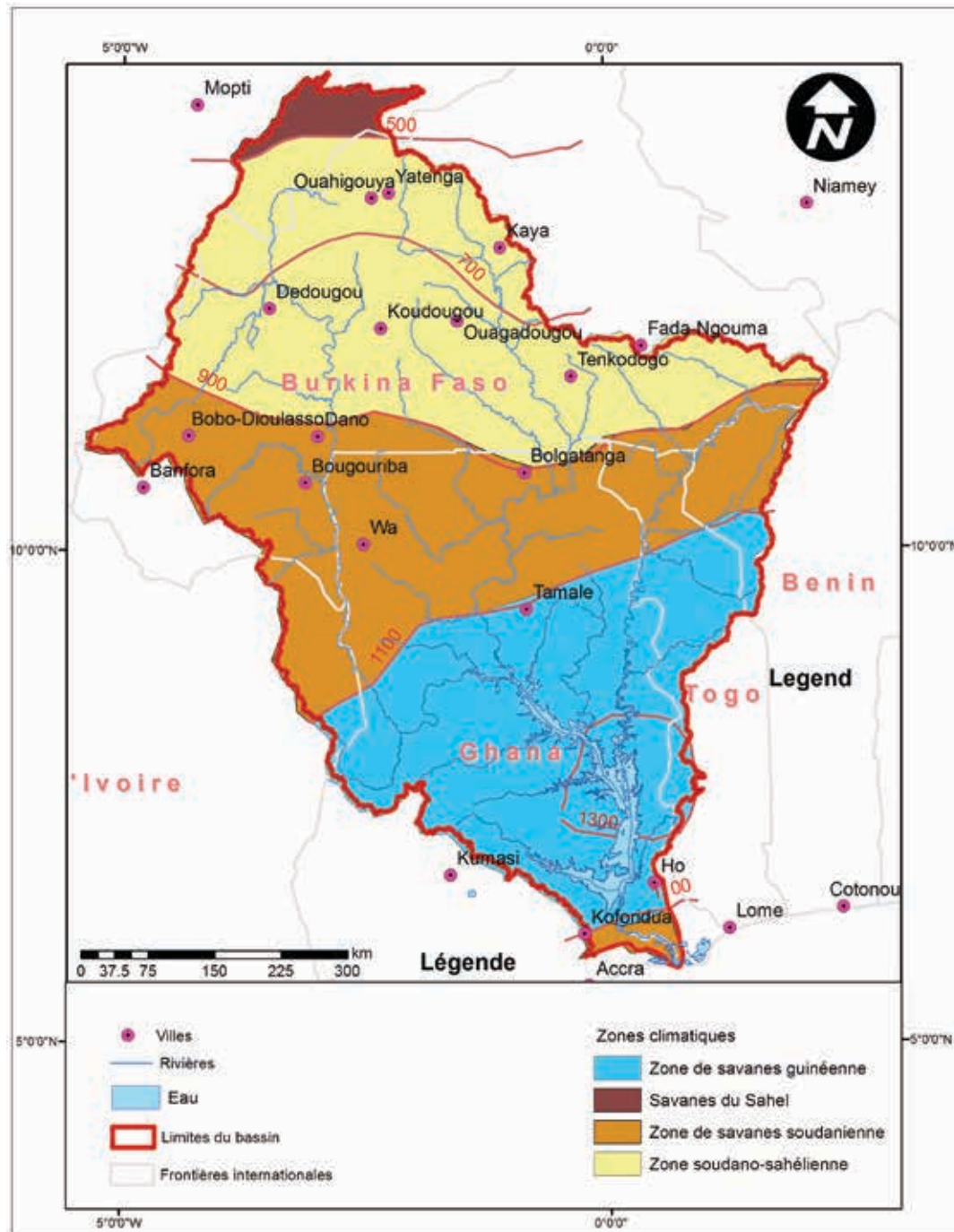
Le climat du bassin de la Volta est donc très variable, à la fois spatialement et temporellement. Un gradient climatique clair définit des conditions humides au sud, et des conditions semi-arides au nord. Il se caractérise également par des températures élevées tout au long de l'année. En plus de la saisonnalité, la variabilité interannuelle est considérable. On pensait auparavant que ce phénomène était dû à des déplacements anormaux de la ZCIT, mais des travaux plus récents ont indiqué que l'explication viendrait plutôt de la structure complexe des vents zonaux qui se forment au-dessus de l'Afrique de l'Ouest en été (Nicholson 2005).

Le Bassin de la Volta s'étend sur quatre zones climatiques:

1. La zone guinéenne, qui s'étend environ du 8^e au 11^e parallèles nord (Kranjac-Berisavljevic et al. 1999).
2. La Zone du Soudan, située sous le 11°30' parallèle nord.
3. La zone soudano-sahélienne, située entre le 11°30' et le 14^e parallèles nord.
4. La zone sahélienne, située au-dessus du 14^e parallèle nord (Barry et al. 2005).

La distribution spatiale des précipitations a été utilisée pour définir les zones agro-climatiques du bassin (Figure 3.3).

FIGURE 3.3. Zones climatiques du bassin de la Volta.



Source des données: Lemoalle and de Condappa 2009.

3.3.1 Précipitations

Le bassin est caractérisé par de fortes variations spatiales et temporelles des précipitations. La zone sahélienne, dans la partie nord du bassin, reçoit une pluviométrie annuelle de moins de 500 mm an⁻¹. La zone soudano-sahélienne, qui couvre la majeure partie du Burkina Faso, reçoit des précipitations d'entre 500 et 900 mm an⁻¹. La zone soudanienne, couvrant la partie nord du Ghana

et certaines parties de la Côte d'Ivoire, du Bénin, et du Togo, reçoit entre 900 et 1.100 mm an⁻¹ de précipitations. La zone guinéenne, qui couvre la partie sud du Ghana, reçoit entre 1.000 et 1.300 mm an⁻¹ de précipitations (Kranjac-Berisavljevic et al. 1999). La saison des pluies dure environ 3 mois dans la zone sahélienne, 4 à 5 mois dans la zone soudano-sahélienne, et 6 à 7 mois dans le sud des zones soudanienne et guinéenne (Barry et al. 2005). Près de 70% des précipitations annuelles dans le bassin se produisent pendant les mois de juillet, août, et septembre, avec peu ou pas de précipitations entre novembre et mars sur la plus grande partie du bassin.

La grande saison des pluies dans le sud du bassin commence en avril/mai, et la petite en septembre/octobre. Les périodes de pics de précipitations sont juin/juillet et septembre/octobre pour la grande et la petite saison, respectivement. Dans le nord, il n'existe qu'une seule saison des pluies, entre mai/juin et septembre/octobre, avec une pluviométrie mensuelle maximale en septembre, habituellement.

Le volume annuel moyen de précipitations atteint les 500 km³, et il a été estimé que 340 km³ d'eau sont nécessaires avant qu'un ruissellement significatif se produise dans le bassin (Andreini et al. 2000). Martin (2006) a calculé que la recharge annuelle du système du fleuve Volta représente 13 à 16% de la moyenne annuelle des précipitations. Il existe aussi une variabilité des précipitations observée à moyen terme, sur une décennie. Par exemple, les années 1930, 1950, et 1960 ont été relativement pluvieuses, tandis que les années 1940, 1970 et 1980 étaient plus sèches (UNEP-GEF Volta Project 2013). Selon Opoku-Ankomah (2000), depuis les années 1970, un certain nombre de changements ont été observés dans la configuration des précipitations de certains sous-bassins, notamment une baisse de la pluviométrie et une réduction du ruissellement. Certaines zones qui, jusqu'à présent, connaissaient un schéma de pluviométrie bimodal, n'ont maintenant plus qu'une seule saison des pluies, la deuxième devenant très faible voire inexistante. Bien que les précipitations n'aient diminué que de 5% entre 1936 et 1998, le ruissellement, quant à lui, a diminué de 14% (Andreini et al. 2000). Lacombe et al. (2012) rapportent que d'importants changements dans les précipitations se sont produits au Ghana entre 1960 et 2005, conduisant à une réduction du nombre de jours recevant moins 20 mm de précipitations, pendant la saison des pluies, entre 6° et 9,5° de latitude nord. Bien que ces changements se limitent à la partie centrale du Ghana, ils sont significatifs pour l'ensemble du pays.

3.3.2 Température et humidité

On constate généralement une augmentation progressive de la température du sud vers le nord du bassin de la Volta. La température annuelle moyenne varie de 27°C dans le sud à 36°C au nord (Oguntunde 2004). Les températures diurnes peuvent aller jusqu'à 44°C, et descendre jusqu'à 15°C pendant la nuit. Une amplitude thermique diurne de 6 à 8°C est observée le long de la côte, et de 10 à 13°C plus au nord. En raison de la proximité de l'équateur, les températures moyennes en Côte d'Ivoire, au Ghana, au Togo, et au Bénin ne descendent jamais au-dessous de 24°C. Au Burkina Faso et au Mali, la température moyenne dans la zone sahélienne est toujours supérieure à 29°C, elle se situe entre 28°C et 29°C dans la zone soudano-sahélienne, et elle est inférieure à 28°C dans la zone soudanienne (Barry et al. 2005).

La variation saisonnière de la température se caractérise par quatre périodes: deux périodes extrêmement chaudes, et deux périodes relativement fraîches. La première période chaude se produit en mars-avril, avec des températures maximales moyennes de 37, 39 et 41°C dans le sud, le centre et le nord du bassin respectivement, et des températures minimales moyennes de 24 (sud), 25 (centre) et 26°C (nord). La deuxième période chaude se produit immédiatement après la saison des pluies. Elle n'est cependant pas aussi chaude que la première, avec une température

maximale moyenne de 34, 36 et 38°C dans le sud, le centre et le nord respectivement (Barry et al. 2005).

La première période plus fraîche se produit en décembre-février, avec des températures maximales moyennes de 33 à 35°C en janvier, et des températures minimales moyennes de l'ordre de 14 (nord), 17 (centre) et 19°C (sud). C'est la période de l'harmattan, un vent sec et poussiéreux, froid la nuit, et chaud pendant la journée. La deuxième période fraîche coïncide avec la saison des pluies. Pendant cette période, la teneur en humidité de l'air est à son maximum. Les températures moyennes maximales et minimales pendant cette période fraîche présentent des variations extrêmes en raison de l'irrégularité des pluies (Barry et al. 2005). Le mois le plus chaud de l'année est le mois de mars ou avril, et le plus frais, le mois d'août.

Le sud du bassin est plus humide que le nord. L'humidité moyenne quotidienne varie entre 6 et 83% en fonction de la saison et de la zone. Dans la zone côtière du Ghana, l'humidité relative est de 95 à 100% dans la matinée, et d'environ 75% dans l'après-midi. Dans le nord, ces valeurs peuvent descendre à 20 ou 30% pendant la saison de l'harmattan, et à 70 ou 80% pendant la saison des pluies. De fortes rosées peuvent parfois se produire, surtout dans le sud où des niveaux de 0,8 à 1 mm ont été enregistrés (Barry et al. 2005).

3.3.3 Évaporation

L'évapotranspiration potentielle annuelle moyenne est à son niveau le plus faible dans l'extrême sud du bassin (1.500 mm an⁻¹) alors qu'elle dépasse 2.500 mm an⁻¹ dans la partie nord. Près de 80% des précipitations sont perdues par évapotranspiration pendant la saison des pluies (Oguntunde 2004). L'évaporation totale au mois d'août est généralement inférieure à 100 mm, alors que l'évaporation maximale (mesurée à l'aide de bacs) est supérieure à 400 mm en mars-avril (Barry et al. 2005). L'évapotranspiration réelle dans la majeure partie du bassin dépend en partie des propriétés du sol, et se situe généralement entre 10 mm j⁻¹ à la saison des pluies, et 2 mm j⁻¹ durant la saison sèche (Martin 2006). Dans la partie ghanéenne du bassin de la Volta, l'évapotranspiration potentielle oscille entre un minimum de 1.450 mm an⁻¹ dans le sous-bassin de la Volta noire, et un maximum de 1.968 mm an⁻¹ dans le sous-bassin de la Volta blanche. Dans la partie burkinabaise du bassin de la Volta, la moyenne annuelle d'évaporation (mesurée à l'aide de bacs) oscille entre un minimum de 1.932 mm an⁻¹ dans le sud, à 2.334 mm an⁻¹ dans le nord.

Le Tableau 3.1 montre l'amplitude de l'évapotranspiration potentielle, ainsi que d'autres paramètres hydrométéorologiques, pour chaque sous-bassin du bassin de la Volta au Ghana.

TABEAU 3.1. Résumé des caractéristiques hydrométéorologiques des quatre sous-bassins majeurs.

Sous-bassin	Précipitations (mm an ⁻¹)	Coefficient de var.	Évaporation (mm an ⁻¹)	Évapotranspiration potentielle (mm an ⁻¹)
Noire	1.023 – 1.348	0,17 – 0,23	2.540	1.450 – 1.800
Blanche	930 – 1.054	0,16 – 0,20	2.540	1.650 – 1.968
Oti	1.050 – 1.500	0,18 – 0,20	2.540	1.550 – 1.850
Basse-Volta	876 – 1.565	0,17 – 0,35	1.778	1.450 – 1.800

Source: Barry et al. 2005.

3.3.4 Changement climatique

Le changement climatique devrait intensifier les difficultés déjà présentes en Afrique subsaharienne. Le climat du bassin de la Volta est principalement semi-aride et subhumide. L'évaporation potentielle dans un climat semi-aride dépasse les précipitations. Selon Gyau-Boakye et Tumbulto (2000) et Opoku-Ankomah (2000), une réduction des précipitations et du ruissellement a été observée dans le bassin de la Volta depuis les années 1970, et pourrait être attribuée au changement climatique. Une étude réalisée par Owusu et al. (2008) a aussi conclu que l'apport total des précipitations dans le bassin de la Volta est en diminution depuis le début des années 1970. Cette diminution est plus intense dans le bassin sahélien, plus sec et uni-modal, au nord, que dans les savanes de Guinée et les forêts plus humides, bimodales, du sud. Kasei et al. (2010), dans leur étude sur les caractéristiques temporelles des sécheresses météorologiques dans le bassin de la Volta, ont également constaté une augmentation de la fréquence des sécheresses depuis les années 1970. Les résultats d'une étude menée par McCartney et al. (2012) ont également montré que la réduction des pluies et l'augmentation des températures et de l'évapotranspiration potentielle, prévues dans certains scénarios de changement climatique, affecteraient aussi bien le débit des rivières que la recharge en eaux des aquifères du bassin de la Volta.

Les projections de changement climatique en Afrique de l'Ouest sont contradictoires quant aux précipitations, la moitié prédisant une augmentation de celles-ci, et l'autre moitié, une diminution. Toutes les projections climatiques indiquent des températures plus élevées et une augmentation de l'évapotranspiration dans le bassin. Les effets du changement climatique sur le débit des rivières sont, eux aussi, contradictoires, et dépendent des scénarios de changement climatique et des trajectoires de développement utilisés (Roudier et al. 2014). L'augmentation des températures et de l'évapotranspiration augmentera l'utilisation et la demande totale en eau. Selon les projections de changement climatique la disponibilité en eau pour la production d'énergie et l'agriculture en sera potentiellement affectée, dès à présent et dans un avenir proche, en particulier dans les régions septentrionales. Le changement climatique n'affectera pas seulement directement les précipitations, le débit des rivières, et l'évapotranspiration, mais il conduira aussi à une augmentation de la demande en eau pour l'irrigation, et rendra l'agriculture pluviale de plus en plus incertaine. Quelques prédictions de recherche sur le changement climatique dans le bassin sont présentées ci-dessous.

Awotwi et al. (2015) ont utilisé un modèle climatique régional (REMO) pour étudier l'impact hydrologique de possibles changements climatiques dans le bassin de la Volta blanche, sur la base de simulations et de prédictions climatiques à échelle locale. Leurs conclusions soulignent la sensibilité du bassin au changement climatique, et indiquent qu'une légère augmentation de 8% de la moyenne annuelle des précipitations et de 1,7% de la température, entraînerait une augmentation du ruissellement, du débit de base, et de l'évapotranspiration annuels de 26, 24, et 6% respectivement.

Amisigo et al. (2014) ont évalué les effets prévus du changement climatique sur la disponibilité en eau et la production des récoltes dans le bassin de la Volta et les systèmes de bassin côtier et du sud-ouest du Ghana, à l'aide de quatre scénarios de changement climatique et d'un scénario de référence (sans changement). Les résultats montrent que toutes les demandes en eau (municipale, hydroélectricité, et agriculture) ne peuvent être simultanément assurées dans aucun des scénarios utilisés, y compris les scénarios pluvieux. En outre, le modèle prévoit des impacts négatifs sur les rendements des cultures étudiées, ces impacts se faisant plus importants en fonction des cultures et des régions.

Une étude menée par Amikuzuno et Hathie (2013) pour évaluer les impacts climatiques à échelle des ménages agricoles dans le bassin de la Volta blanche a révélé que le revenu agricole net et le taux de pauvreté sont sensibles aux changements climatiques, les fermes irriguées et pluviales réagissant de façon différente au changement climatique. L'eau d'irrigation n'étant pas disponible sur l'ensemble de la zone d'étude, un changement climatique se traduisant par des températures plus élevées et des précipitations réduites aura un effet négatif sur l'agriculture.

McCartney et al. (2012) ont utilisé plusieurs modèles pour évaluer l'effet du changement climatique sur les utilisations actuelles de l'eau dans le bassin, dans un scénario « d'impact moyen », et réaliser des prévisions fondées sur quatre scénarios de développement de l'eau dans le bassin. Les résultats des exercices de modélisation prédisent que d'ici 2050, la moyenne annuelle des précipitations, le ruissellement, et la recharge moyenne des aquifères souterrains diminueront, entraînant une diminution de 30% de l'énergie hydroélectrique, et l'incapacité de répondre à la demande en eau pour l'irrigation, dans l'un des scénarios.

Kasei (2010) a utilisé des modèles climatiques régionaux calibrés pour évaluer l'impact d'un changement climatique planétaire plausible sur le climat régional et l'hydrologie souterraine et de surface, en utilisant l'équilibre hydrique sur la période 1961-2000 comme référence pour la comparaison, et 2001-2050 comme avenir simulé. Les résultats montrent une augmentation de la température moyenne annuelle de 1°C sur l'ensemble du bassin. Les précipitations annuelles moyennes, quant à elles, diminuent d'entre 3 et 6% sur la période 2001-2050 par rapport à 1961-2000. Une baisse moyenne de 5% est prévue pour le débit cumulé, avec des baisses conséquentes des débits de surface, latéraux et de base.

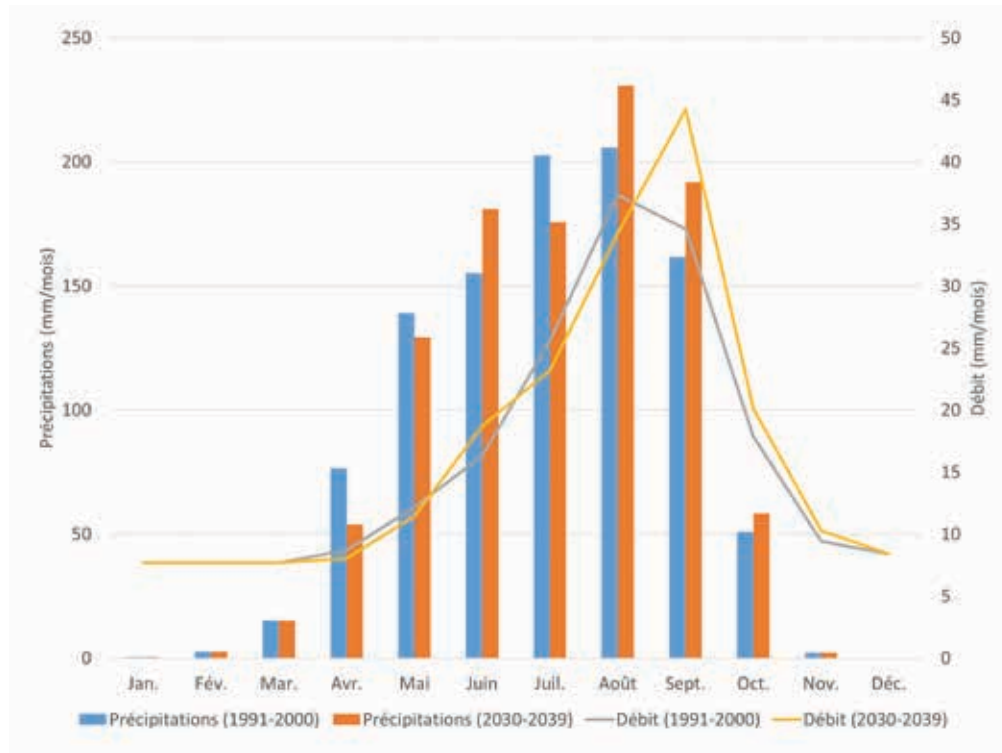
Obuobie et Dieckkrüger (2008) ont utilisé le modèle de l'Outil d'évaluation des sols et de l'eau (SWAT) pour simuler les ressources en eau du bassin de la Volta blanche et évaluer l'impact des changements climatiques à venir. Les résultats indiquent une augmentation moyenne du débit annuel cumulé, du ruissellement de surface, et du débit de base de 33, 37, et 29% respectivement. Ces fortes augmentations des débits, en réponse à une augmentation relativement faible (6%) des précipitations, ont été attribuées à la réponse non linéaire à la pluviométrie du débit cumulé, du ruissellement de surface, et du débit de base dans le bassin de la Volta blanche, et au fait que l'évapotranspiration réelle est déjà élevée pendant la saison des pluies, et que seulement une partie des pluies s'évapore.

Kunstmann et Jung (2005) et Jung (2006) ont comparé les précipitations simulées et le débit d'eau sur une série chronologique (1991-2000) et dans un scénario de changement climatique mondial (2030-2039), à l'aide de simulations régionales climatiques et hydrologiques à haute résolution. Ils prédisent:

- Une diminution de 30% de la pluviométrie moyenne en avril
- Une augmentation des précipitations mensuelles moyennes en juin, août et septembre
- Une augmentation globale de la pluviométrie annuelle de 5%
- Une augmentation de la durée de la saison sèche
- Une imprévisibilité croissante du début de la saison des pluies
- Une augmentation et une intensification des précipitations à la fin de la saison des pluies
- Une augmentation moyenne du débit annuel d'environ 18%
- Une augmentation des inondations
- Une augmentation de la température annuelle moyenne de 1,2 à 1,3°C en Afrique de l'Ouest et dans le bassin de la Volta.

En général, l'étude prédit un raccourcissement de la saison sèche, et une diminution des précipitations et du ruissellement pendant celle-ci, mais une augmentation pendant la saison des pluies (Figure 3.4).

FIGURE 3.4. Débits des rivières et précipitations mensuels (1991-2000 et 2030-2039).



Source: Kunstmann and Jung 2005; Jung 2006.

3.4 Couverture et utilisation des végétale

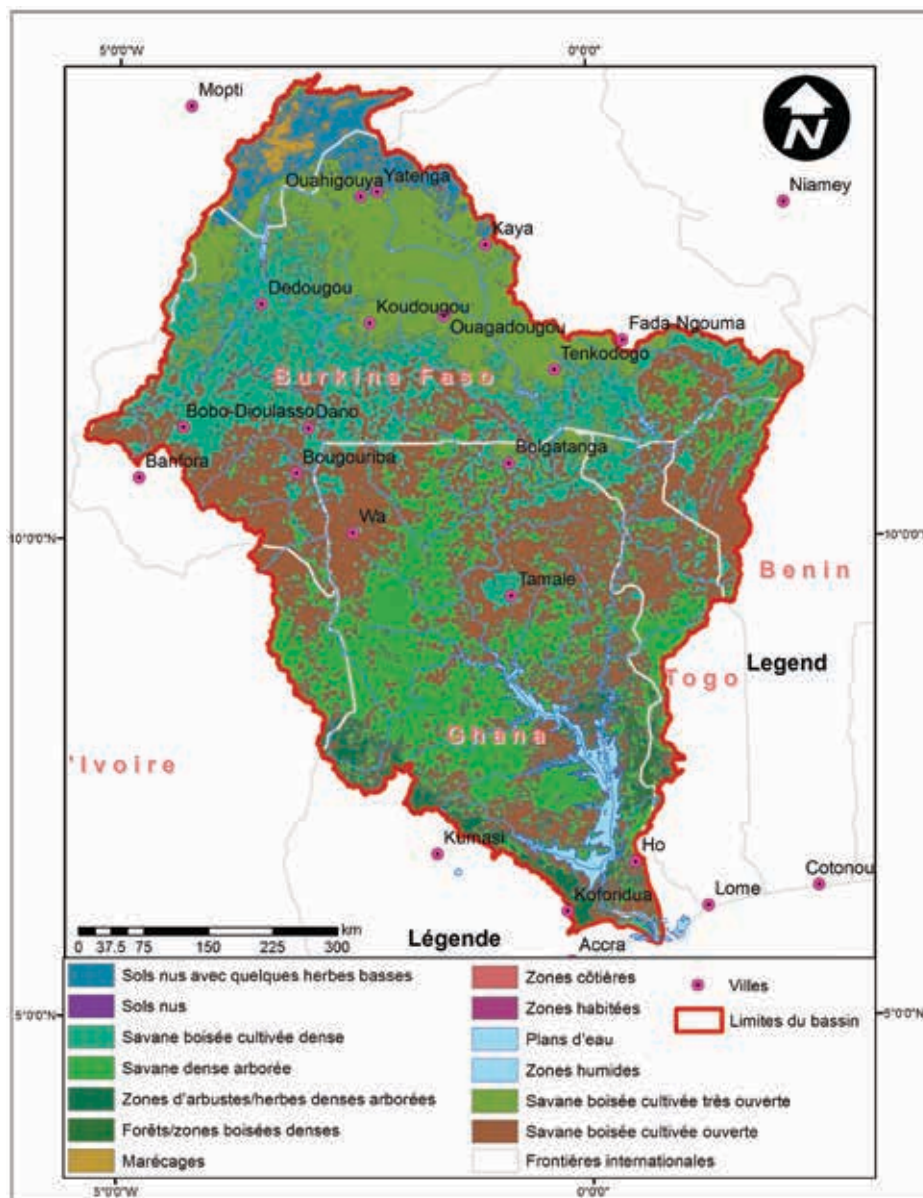
La couverture végétale dominante dans le bassin de la Volta est la savane (Figure 3.5), composée de prairies parsemées d'arbres et d'arbustes. Avec les prairies et les arbustes, la savane couvre environ 89,9% de l'ensemble du bassin. Les autres types de couverture végétale comprennent les zones humides et les plans d'eau (3,0%), le couvert forestier (3,4%), et les sols nus/zones habitées (3,7%). La couverture forestière dans le bassin est généralement faible, en raison de l'agriculture extensive, de l'extraction du bois, et du surpâturage (Abubakari et al. 2012). La densité des arbres et l'intensité des prairies associées à la savane diminuent du sud vers le nord (suivant le même gradient que les précipitations).

Deux types distincts de savane sont présents dans le bassin: les savanes boisées et les savanes herbeuses. La savane boisée, surtout présente dans les parties méridionales du bassin, se caractérise par une densité d'arbres élevée et des herbes hautes à moyennement hautes, comme *Andropogon* et *Pennisetum spp.* Les principales essences associées à la savane boisée incluent *Adansonia digitata*, *Vitex paradoxa*, *Daniella oliveri*, *Mitragyna inermis*, *Butyrospermum parkii*, *Khaya senegalensis*, *Parkia biglobosa*, *Tamarindus indica*, *Terminalia macroptera* et *Faidherbia albida* (MLNR 2012; Siaw 2001). La savane herbeuse, localisée principalement dans les régions du nord du bassin, est formée principalement par des prairies parsemées de petits arbres et arbustes

dans certains zones. Les essences associées à ce type de savane incluent *Acacia spp*, *Balanites aegytiaca*, *Leptadenia pyrotechnia*, *Aristida spp*, *Schoenfeldia gracillis*, *Cenchrus biflorus* et *Anogeissus leicarpus*.

Le bassin possède un certain nombre de parcs nationaux, réserves faunistiques, et autres aires protégées. La végétation reste verte tout au long de l'année, bien que certaines espèces perdent leurs feuilles pendant la saison sèche (MLNR 2012). Les essences forestières les plus communes incluent *Cynometra ananta*, *lophira alata*, *Tarrietia utilis*, *Antiaris africana* et *Chlorophora excelsa*. Ces essences semblent présenter un taux de régénération plus élevé, et résistent mieux aux incendies de brousse annuels (MoFA 2011). Certains arbres sont protégés, parmi lesquels: *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa*, *Acacia albida*, *Anogeissus leiocarpus*, *Adansonia digitata* (Baobab), *Tamarindus indica*, *Mangifera indica* et *Ceiba pentandra*. Les zones forestières disparaissent au profit des terres cultivées. Les périodes de jachère ont aussi diminué de façon significative. L'intensification de la croissance démographique en est la raison principale.

FIGURE 3.5. Distribution de la couverture végétale dans le bassin de la Volta.



Landmann et al. (2007) ont analysé les changements de couverture végétale dans le bassin de la Volta entre 1990 et 2000/2001, à l'aide de 26 planches Landsat, chacune pour 1990 et 2000/2001, complétées par des observations journalières chronologiques MODIS - 250 mètres dûment corrigées pour l'année 2000. La carte de couverture végétale résultante indique que 37% de la couverture végétale totale ont été transformés (changement de catégorie) d'une forêt présentant quelques arbustes en végétation herbacée aménagée, 6% ont été modifiés (changement de densité de couverture des arbres) d'une forêt fermée (densité de couvert d'arbres (CA) de 40 à 95%) en végétation ligneuse ouverte (CA: 15-40%), et 3% a été transformée d'une forêt fermée (CA: 40 à 95%) en végétation herbacée. La pression démographique est l'un des facteurs principaux expliquant l'expansion des zones cultivées et la réduction de la couverture arborée.

4. RESSOURCES EN EAU ET LEUR UTILISATION

4.1 Hydrologie

Le fleuve Volta et ses affluents sont une source importante d'eau pour les habitants des six pays riverains. L'eau est vitale à la subsistance de la population du bassin, ainsi qu'à la croissance économique. En dehors de l'agriculture, l'eau est également utilisée pour générer de l'énergie hydroélectrique et fournir les grandes industries (mines, aluminium, etc.). L'eau est aussi utilisée pour l'abreuvement du bétail, la pêche, les transports, les loisirs et le tourisme.

Les ressources en eau du bassin de la Volta sont soumises à de fortes pressions en raison des mauvaises conditions climatiques et de demandes concurrentes sur les ressources de la part des pays riverains. Les conditions climatiques de la région sont telles qu'il existe une grande variabilité dans la distribution temporelle et spatiale des précipitations sur l'ensemble bassin, provoquant une forte variabilité des débits fluviaux. La croissance démographique dans les deux pays occupant la plus grande partie du bassin (Ghana et Burkina Faso) a entraîné une multiplication des captages d'eau pour satisfaire à la demande croissante (van de Giesen et al. 2001). La mauvaise exploitation de ces ressources, par le passé, a provoqué de graves problèmes environnementaux dans le bassin, parmi lesquels la diminution des ressources en eau (UNEP-GEF Volta Project 2002), que le changement climatique devrait encore aggraver (de Condappa et al. 2009; McCartney et al. 2012).

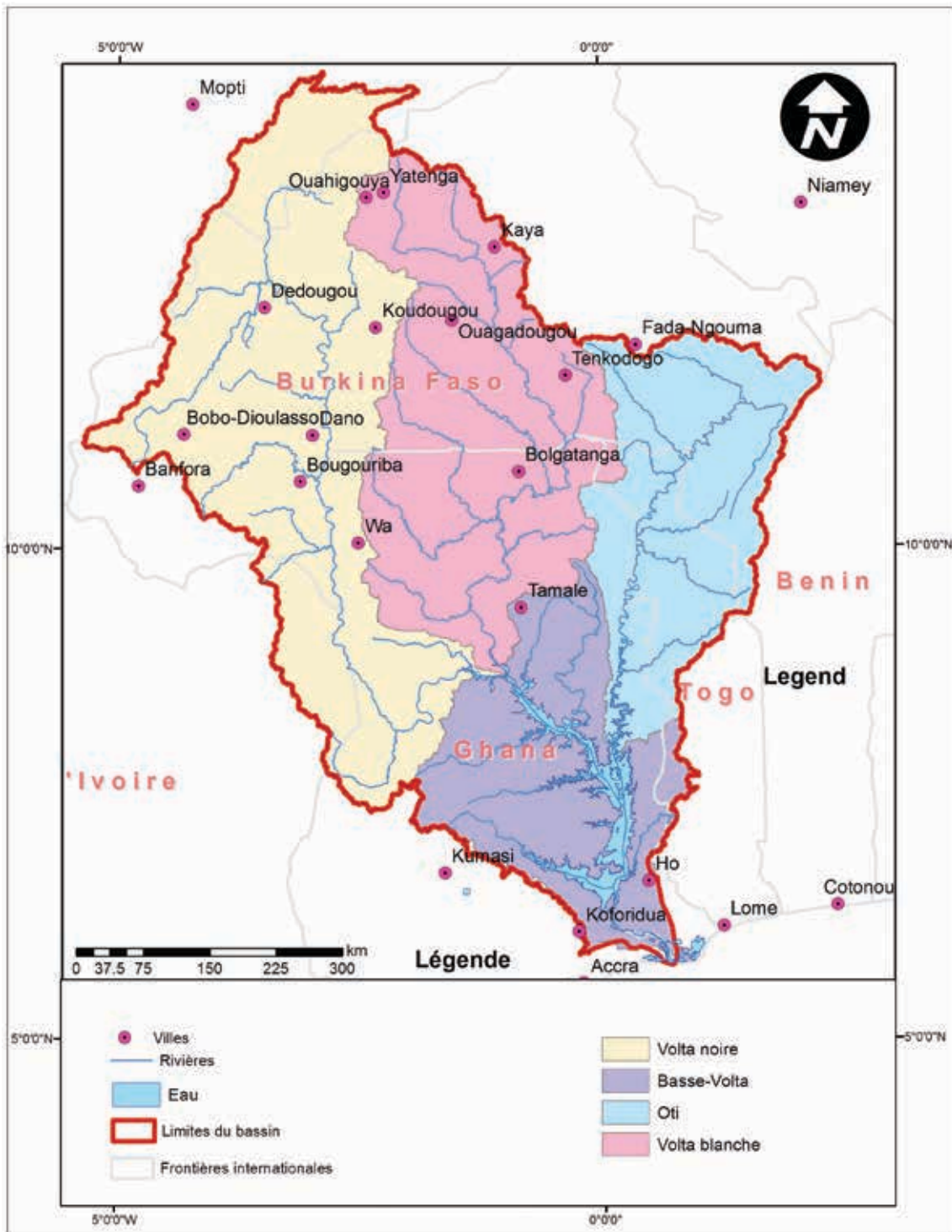
4.1.1 Le système de la Volta

Les principaux affluents de la Volta sont la Volta noire (Mouhoun), la Volta blanche (Nakambe) et son affluent principal - la Volta rouge (Nazinon), et la rivière Oti (Pendjari) (Figure 4.1).

4.1.1.1 Bassin de la Volta Blanche

La Volta blanche prend sa source dans le nord du Burkina Faso et coule en direction du sud-est, vers la frontière avec le Ghana. Ce bassin a une superficie totale d'environ 106.742 km², dont 49.225,5 km² au Ghana, 1.088 km² au Togo, et 56.428 km² au Burkina Faso. Ses principaux affluents sont les rivières Mole, Kulpawn, Sisili, Volta rouge, Asibilika, Agrumatue, Nasia, Morago, Tamne et Nabogo. Elles rejoignent la Volta noire près de Nkamandei, dans le nord du Ghana.

FIGURE 4.1. Le bassin de la Volta.



La rivière est longue de 1.136,7 km et possède une densité de drainage d'environ 0,011 km km⁻². Son débit annuel moyen est de 9.565 Mm³an⁻¹ (MWH 1998a). À Yarigu, son débit annuel moyen total est de 80 m³s⁻¹, et à Nawuni, de 230 m³s⁻¹.

Le bassin de la Volta rouge, un affluent du bassin de la Volta blanche, a une longueur de 393 km et un bassin versant de 11.370 km². 588 km² de ce bassin versant se situent au Ghana, le reste au Burkina Faso. La Volta rouge prend sa source dans la partie centrale du Burkina Faso, près de Ouagadougou, et coule vers le sud-est, vers la frontière avec le Ghana. Après la frontière, elle rejoint la Volta blanche près de Gambaga, au Ghana. À Nangodi, le débit annuel calculé entrant dans le bassin est de 30,7 m³s⁻¹.

Problèmes environnementaux

L'incidence annuelle des inondations dans le bassin de la Volta blanche se traduit souvent par des pertes humaines et matérielles. Les inondations se produisent à l'apogée de la saison des pluies, lors des débordements du barrage de Bagré. Des problèmes de santé comme la schistosomiase et l'onchocercose ont été signalés dans certaines communautés riveraines. Des sources d'eau souterraine présentant des concentrations élevées de fluorure sont présentes dans ce bassin. Le bassin est contaminé, le long des rives, en raison de déversements aveugles d'eaux usées non traitées. Dans ce bassin, les communautés dépendent directement de l'eau non traitée pour la consommation et autres usages domestiques. Par conséquent, le potentiel de maladies d'origine hydrique et liées à l'eau est élevé. Les pénuries d'eau sont fréquentes, en raison de l'assèchement de certains cours d'eau et puits dans les communautés, en particulier pendant la saison sèche.

4.1.1.2 Bassin de la Volta noire

La Volta noire (Mouhoun), partagée entre le Ghana, le Burkina Faso, le Mali, et la Côte d'Ivoire, prend sa source dans les monts de Kong, dans la réserve forestière de Dindéresso, au sud-ouest du Burkina Faso. Au sud, elle marque la frontière, d'abord entre le Ghana et le Burkina Faso, puis entre le Ghana et la Côte d'Ivoire. Au Ghana, elle couvre une bande étroite s'étirant le long de la frontière occidentale avec la Côte-d'Ivoire. La rivière a une longueur d'environ 1.363 km, et draine une superficie totale de 142.056 km² (UNEP-GEF Volta Project 2013). Quelques 33.302 km² de cette superficie totale se trouve au Ghana, 12.836 km² en Côte-d'Ivoire, 8.710 km² au Mali, et 87.208 km² au Burkina Faso. Les principaux affluents de la Volta noire sont les rivières Sourou, Benchi, Chuko, Laboni, Gbalon, Pale, Kamba et Tain.

La Sourou, venant du Mali, rejoint la Mouhoun à l'endroit où le cours d'eau s'oriente vers le sud. La Sourou traverse une cuvette orientée nord-sud, appelée la dépression de la Sourou, qui régule naturellement les eaux de ruissellement de la Mouhoun. Pendant la saison des pluies, lorsque le débit de la Mouhoun dépasse un certain niveau, l'eau de la Mouhoun se déverse dans la dépression de la Sourou où elle reste stockée. En période de faible débit, elle reflue et alimente à nouveau la Mouhoun.

Le débit de la Volta noire est en partie contrôlé par le barrage de Léry. Son débit est assez élevé dans les parties supérieures de la rivière, puis diminue dans la vallée, où la pente est moins raide, et où l'eau s'infiltre dans le sol (par exemple, au niveau de la station hydroélectrique de Boromo). Le débit augmente à nouveau en aval, vers Bamboï, avec l'augmentation des précipitations. Avant la construction du barrage de Léry, l'écoulement des eaux présentait une inversion naturelle pendant la saison des pluies, lorsque l'eau changeait de direction et se dirigeait vers le Mali. Des captages supplémentaires sont aussi présents à Tenado, en amont de Boromo,

ce qui pourrait aussi expliquer la réduction du débit, en aval, près de Boromo. Le débit moyen annuel de la Volta noire est de $7.673 \text{ Mm}^3\text{an}^{-1}$ (MWH 1998a). L'entrée d'eau moyenne au Ghana, estimée à partir des débits mesurés à Lawra, est de $34,75 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ pendant la saison sèche, et de $373.79 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ à la saison des pluies.

Problèmes environnementaux

Les inondations sont un problème important dans le bassin de la Volta noire, entraînant des déplacements de populations et la destruction des cultures, pour les communautés vivant à proximité de la rivière. Les problèmes de santé comme l'onchocercose augmentent également en raison des inondations. Le bassin souffre principalement des activités agricoles. Une légère pollution se produit le long de certains tronçons des rives suite à l'élimination aveugle de déchets et d'ordures ménagères, du fait de l'insuffisance des installations de traitement des déchets.

4.1.1.3 Bassin de l'Oti

La rivière Oti naît au cœur des montagnes pluvieuses de l'Atakora, au Bénin, une extension des collines d'Akwapim et des monts Togo, où elle est connue sous le nom de rivière Pendjari. Elle traverse le Togo et le Ghana, où elle prend le nom de fleuve Oti. Des montagnes de l'Atakora, dans le nord-ouest du Bénin, l'Oti coule vers le nord-est, puis s'oriente vers l'ouest pour servir de frontière d'abord entre le Burkina Faso et le Bénin, puis entre le Togo et le Bénin sur une courte distance. Elle prend ensuite la direction du sud, dans le nord du Togo, pour servir de frontière avec le Ghana avant de rejoindre la Volta près de Kete Krachi, au Ghana. Elle est longue de 936,7 km et couvre une superficie d'environ 72.778 km^2 . Son bassin versant couvre le Ghana (16.801 km^2), le Togo (21.572 km^2), le Burkina Faso (21.352 km^2), et le Bénin (15.385 km^2).

Les principaux affluents de l'Oti sont les rivières Koumongou, Kéran, Kara, Mô, Kpanlé, Wawa, Ménou, Danyi, Afram, obosom, Sene, Pru, Kulurakun, Daka, et Asukawkaw.

La densité de drainage de la rivière Oti est d'environ $0,012 \text{ kmkm}^{-2}$. En raison de sa régulation par le barrage de Kompienga au Burkina Faso, l'Oti présente un débit permanent, avec une moyenne annuelle de 100 à $300 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, pouvant dépasser les $500 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Pratiquement tous ses affluents s'assèchent pendant la saison sèche. Son débit moyen annuel est $11.215 \text{ Mm}^3\text{an}^{-1}$ (MWH 1998a).

Problèmes environnementaux

Plusieurs communautés, voire des districts entiers, sont isolés pendant les périodes d'inondations dans ce bassin. Cette situation a été aggravée par la disparition de la couverture forestière. La présence d'herbes aquatiques envahissantes dans le bassin a entravé le développement des échanges et du commerce. Ces herbes limitent l'utilisation de certains outils de pêche, et peuvent même les détruire. En outre, ces mauvaises herbes sont des lieux privilégiés pour la reproduction de nombreux serpents venimeux et autres reptiles. Elles contribuent également à la propagation de maladies comme la bilharziose. Le bassin de l'Oti souffre principalement des activités domestiques et agricoles. La pollution y est généralement faible et localisée le long des rives, suite à l'élimination aveugle de matières fécales et de déchets non traités, en raison d'un manque d'installations adéquates pour le traitement des déchets.

4.1.1.4 Bassin de la Basse Volta

La principale caractéristique du bassin inférieur de la Volta est le lac Volta, alimenté par les trois principaux affluents: Volta noire, Volta blanche, et Oti. Il comprend également une série de petites rivières qui se jettent directement dans le lac Volta, et la partie du fleuve situé en aval du barrage de Kpong. Il est partagé entre le Ghana et le Togo, et sa zone de drainage est estimée à 71.608 km². La Basse-Volta se jette dans le golfe de Guinée, au Ghana, près de la ville d'Ada Foah.

4.1.2 Qualité des eaux de surface

Le pH moyen du système de la Volta varie de 6,9 à Saboba, sur l'Oti, à 7,5 à Bamboi, sur la Volta noire. La variation n'est pas très grande, et l'eau est principalement neutre (pH 7,0). Le niveau maximum de sels dissous, en termes de conductivité, est de 280,0 μscm^{-1} dans la rivière Oti, à Saboba (WARM 1998). La concentration moyenne de matières solides en suspension est généralement faible, ne dépassant pas les 200 mg l^{-1} . Les concentrations d'oxygène dissous indiquent généralement de faibles niveaux de pollution. Les rendements annuels moyens de sédiments en suspension dans la partie ghanéenne du bassin sont estimés comme suit:

Volta noire	:	19,97 $\text{Tkm}^{-2}\text{an}^{-1}$
Volta blanche	:	21,09 $\text{Tkm}^{-2}\text{an}^{-1}$
Oti	:	53,58 $\text{Tkm}^{-2}\text{an}^{-1}$

4.1.3 Inondations

Le bassin de la Volta est caractérisé par une forte variation saisonnière des précipitations, avec une saison sèche bien différenciée, lorsque la plupart des rivières de la partie nord du bassin s'assèchent. Pendant la saison des pluies, de vastes zones sont inondées, en particulier les vallées et zones de basse altitude situées le long de la Volta blanche, de la Volta noire, et de leurs affluents (UNDP 2009). En général, de fortes inondations se produisent une fois tous les 10 ans, comme le montrent différents événements récents notables en 1989, 1999, et 2007 au Ghana (UNDP 2009), et 1988, 1992, 1994, et 1999 au Burkina Faso (UNEP-GEF Volta Project 2002). Les inondations naturelles sont liées à d'intenses précipitations, dépassant 100 mm en cinq jours (C&S COP 2013).

Plus récemment, les inondations ont également été attribuées à l'exploitation et la gestion des barrages, causant des conflits transfrontaliers. Les opérations des barrages de Bagré et de Kompienga, au Burkina Faso, par exemple, sont considérées comme responsables des inondations en aval, au Ghana et au Togo respectivement. Le remplissage du barrage de Léré, au Burkina Faso, provoque aussi un effet de remous affectant les producteurs de riz en amont, au Mali.

Les inondations sont un phénomène très important dans la Basse-Volta, où les crues saisonnières inondent environ 51.830 ha de terres chaque année (Barry et al. 2005). Elles ont à la fois des effets positifs et négatifs sur les habitants du bassin. Le cycle annuel des crues dans les plaines inondables a créé un environnement productif utilisé par les agriculteurs locaux pour des activités agricoles de décrue. Ces activités sont pratiquées dans l'ensemble du bassin. Dans plusieurs pays, ces pratiques sont considérées comme non durables, du fait de leur impact sur

l'érosion des berges, la sédimentation des barrages en aval, et autres questions liées à la qualité de l'eau. Elles sont donc fortement déconseillées. Au Ghana et au Burkina Faso, des politiques sont en place pour la protection des zones riveraines, en contradiction directe avec les pratiques locales de l'agriculture de décrue. En outre, les inondations créent un environnement favorable pour différents types de poissons, et la pêche saisonnière dans les ruisseaux inondés est une activité très lucrative. Avant la construction du barrage d'Akosombo, la forte saisonnalité des débits et l'intrusion dynamique d'eau salée en aval de l'emplacement actuel du barrage, ont créé un environnement propice aux palourdes, relativement faciles à récolter (l'équilibre eau salée/eau douce et la faible saisonnalité des débits faisaient que les femmes, en particulier, pouvaient récolter les palourdes). Avec la construction des barrages d'Akosombo et de Kpong, les inondations saisonnières dans la Basse Volta ont cessé, affectant, en conséquence, les moyens de subsistance. Les inondations côtières sont un problème, particulièrement depuis que le fleuve Volta ne charrie plus assez de sédiments pour maintenir la ligne côtière.

Par le passé, les inondations ont causé des dommages importants aux infrastructures, ainsi que la perte de vies humaines, et de moyens de subsistance. Les infrastructures touchées par les inondations incluent des ponts, des routes d'accès, des bâtiments, et des barrages. Les moyens de subsistance sont principalement touchés par la destruction des exploitations agricoles et le déplacement des populations. Des pertes humaines ont été à déplorer à plusieurs reprises, comme pendant les inondations de 2007 au Ghana, ayant entraîné la mort de 61 personnes. Une estimation des personnes touchées par certaines des inondations ayant eu lieu au cours des trois dernières décennies a été calculée pour le Burkina Faso et le Ghana.

Au Burkina Faso, de graves inondations ont eu lieu à plusieurs reprises au cours des 30 dernières années (en 1988, 1992, 1994, 1999, 2007, et 2009), en particulier dans le nord et le centre du pays, à la suite de périodes successives de sécheresse. Des crises majeures ont été enregistrées en 1972/73 et 1983/84, et des crises mineures en 1990/91, 1995/96, et 1997/98 (World Bank 2011). En 2007, le Service national de statistiques et prévisions agricoles signalait au moins 33.000 ha de terres agricoles complètement submergées par les inondations, entre août et septembre. Deux ans plus tard, en 2009, de fortes pluies inondaient à nouveau les cultures, et entraînaient la perte de 22.220 ha de terres agricoles, la rupture de 15 barrages, et la destruction de 42.000 maisons (Burkina Faso Post-Disaster Needs Assessment 2010).

Au Ghana, plus de 300.000 personnes ont été touchées par les inondations de 2007, accentuées par par des lâchers d'eau impromptus du barrage de Bagré (Reuters 2007).

4.1.4 Besoins en eau

Selon MWH (1998a), il est prévu que la demande en eau d'irrigation au Ghana soit multipliée par six entre 2000 et 2025, passant de 565 à 3.605 Mm³an⁻¹, et par deux au Burkina Faso, sur la même période, passant de 203 à 554 Mm³an⁻¹ (Andah et Gichuki 2003). Globalement, l'approvisionnement en eau domestique (reposant en grande partie sur des puits dans les régions rurales où l'eau présente une qualité suffisante) devrait augmenter de 360 à 1.058 Mm³an⁻¹, l'eau utilisée pour l'élevage de 166 à 511 Mm³an⁻¹, et la consommation d'eau d'irrigation de 1.169 à 6.730 Mm³an⁻¹. Le prélèvement d'eau global augmentera d'environ 1,7 km³an⁻¹ en 2000, à 8,3 km³an⁻¹ en 2025, la quasi-totalité de celui-ci provenant de points de captage situés en amont des installations de production hydroélectrique d'Akosombo. La demande en eau actuelle et prévue dans le bassin sont présentées dans le Tableau 4.1. En règle générale, la demande en eau dans la partie nord du bassin de la Volta est supérieure aux prélèvements. Une utilisation judicieuse des ressources en eau disponibles est donc nécessaire.

TABLEAU 4.1. Demande en eau actuelle et prévue.

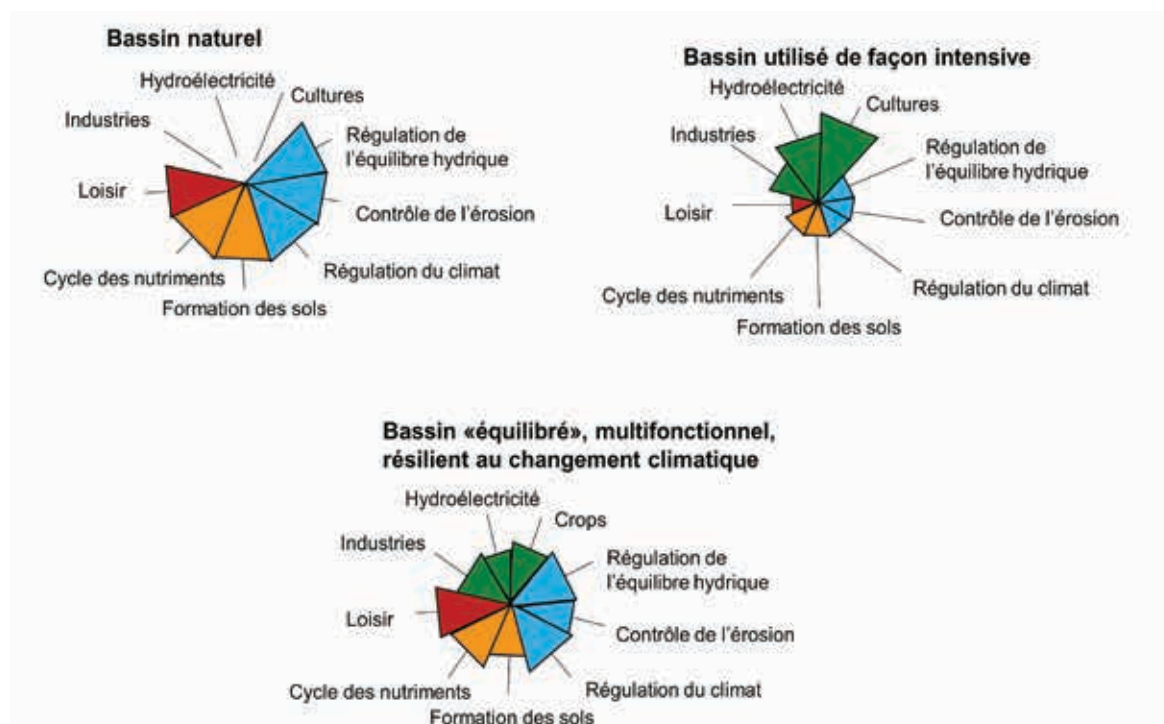
Pays	Secteur	Mm ³ an ⁻¹				Changement (en %) par rapport à 2000		
		2000	2010	2020	2025	2010	2020	2025
Bénin	Utilisation domestique	56	196	336	448	250	500	700
	Irrigation	152	548	1.225	1.600	261	706	953
	Élevage	40	94	133	175	135	233	338
	Total	248	838	1.694	2.223	646	1.439	1.991
Burkina Faso	Utilisation domestique	85	106	132	149	25	55	75
	Irrigation	203	384	554	639	89	173	215
	Élevage	46	61	78	88	33	70	91
	Total	334	551	764	876	65	129	162
Côte d'Ivoire	Utilisation domestique	4	5	12	14	25	200	250
	Irrigation	19	57	166	276	200	774	1.353
	Élevage	1	2	3	3	100	200	200
	Total	24	64	181	293	167	654	1.121
Ghana	Utilisation domestique	138	192	272	284	39	97	106
	Irrigation	565	1.871	3.605	3.733	231	538	561
	Élevage	26	41	63	67	58	142	158
	Total	729	2.104	3.940	4.084	189	440	460
Mali	Utilisation domestique	9	13	16	18	44	78	100
	Irrigation	180	219	291	311	22	62	73
	Élevage	34	74	123	142	118	262	318
	Total	223	306	430	471	37	93	111
Togo	Utilisation domestique	68	92	123	145	35	81	113
	Irrigation	50	91	133	171	82	166	242
	Élevage	19	22	30	36	16	58	89
	Total	137	205	286	352	133	109	157
Etats riverains	Utilisation domestique	360	604	891	1.058	68	148	194
	Irrigation	1.169	3.170	5.974	6.730	171	411	476
	Élevage	166	294	430	511	77	159	208
	Total	1.695	4.068	7.295	8.299	140	330	390

Source: MWH 1998a; Andah et Gichuki 2003; Laube et van de Giesen 2005; Rodgers et al. 2007.

4.2 Infrastructures naturelles et construites

Les infrastructures hydrauliques naturelles et construites sont un élément clé des bassins fluviaux, affectant la disponibilité spatio-temporelle en eau. Elles fournissent d'importants services et fonctions pour le développement économique et la réduction de la pauvreté. Bien que certains de ces services et fonctions, comme la régulation de l'eau ou les loisirs, soient communs aux deux types d'infrastructures, elles fournissent également des services différenciés (Figure 4.2). Là où les infrastructures de béton et d'acier jouent un rôle essentiel dans le stockage et le traitement de l'eau, les infrastructures naturelles peuvent permettre de réduire ou d'éviter les coûts, et d'améliorer les aspects de service et de sécurité liés à l'eau, en s'intégrant aux côtés d'indispensables éléments d'infrastructures construites, dans le cadre d'un système intégré conçu de manière à fournir de l'eau potable, et autres services, de manière sûre et rentable. En outre, le développement d'infrastructures bâties peut affecter les performances des infrastructures naturelles, par exemple en dégradant ou en inondant les zones humides, en réduisant la capacité de stockage des eaux de crue des réservoirs, ou en asséchant les plaines inondables. D'autre part, les infrastructures naturelles peuvent améliorer le fonctionnement des infrastructures bâties, en régulant les débits d'eau permettant de maintenir l'exploitation de ces dernières. Le développement des infrastructures hydrauliques naturelles et construites doit donc trouver un équilibre permettant d'optimiser l'ensemble des avantages: énergie, alimentation, approvisionnement et régulation des fonctions des écosystèmes. Cette section décrit les principales infrastructures hydrauliques naturelles (par exemple, les zones humides) et construites (barrages, systèmes d'irrigation, etc.). La Convention de Ramsar a répertorié certaines des infrastructures naturelles et construites du bassin de la Volta comme sites d'importance internationale pour les oiseaux et la faune sauvage (Tableau 4.2).

FIGURE 4.2. Un bassin "équilibré", multifonctionnel, et résilient au changement climatique.



Source: WLE 2011.

4.2.1 Zones humides et lacs

Il existe plusieurs types de zones humides dans le bassin de la Volta, comme les lacs et zones humides formées dans les dépressions naturelles localisées contenant de l'eau tout au long de l'année, les fond des vallées saisonnièrement inondés, et les réservoirs résultant de la construction de barrages. L'estuaire de la Volta dispose également de systèmes de zones humides importants, avec ses lagunes côtières. Ces zones humides ont une importance cruciale pour la subsistance des communautés locales. L'agriculture, l'élevage, et la pêche sont des activités que l'on retrouve communément dans ces écosystèmes (Johnston et McCartney 2010). En outre, la végétation des zones humides est utilisée comme bois de feu, et comme matériau de construction. L'argile et le sable sont exploités dans les zones humides à des fins de construction. Ces activités peuvent cependant représenter une menace pour les écosystèmes, la surexploitation des ressources (p. ex., la surpêche ou l'utilisation de l'eau) pouvant affecter et dégrader les écosystèmes.

Ces écosystèmes sont d'importantes sources d'eau, surtout pendant la saison sèche. Ils fournissent un habitat à différents types d'animaux (animaux aquatiques tels que les crocodiles et les hippopotames), oiseaux migrateurs, et différentes espèces de plantes et d'arbres. Plusieurs d'entre eux ont été identifiés comme des sites Ramsar (Ramsar 1971). Des lacs naturels sont présents dans le bassin, notamment le Lac de Dem, au Burkina Faso. Les zones humides naturelles, le long des rivières principales, incluent la vallée de la Sourou, au Mali et au Burkina Faso, et la Mare aux Hippopotames, le long des plaines inondables de la Volta noire, au Burkina Faso. Plusieurs barrages ont créé des zones humides aujourd'hui reconnues par la Convention de Ramsar, tels que les sites du barrage de Bagré, du Lac de Bam, et du barrage de Kompienga, au Burkina Faso. Parmi les parcs nationaux et autres aires significatives abritant d'importants plans d'eau, on note la Zone humide de la rivière Pendjari au Bénin, le Parc national de la Kéran, et le Bassin versant Oti-Mandouri au Togo. Dans l'estuaire de la Volta, au Ghana, le lagon Songor et le complexe lagunaire de Keta, font aussi partie de la liste des sites Ramsar. En dehors de ces sites d'importance nationale et internationale, on trouve aussi de petites zones humides et lacs, importants pour les communautés locales. Par exemple, le long de la Volta noire, de la Volta blanche, et de l'Oti, les plaines saisonnièrement inondées sont d'une importance capitale pour les communautés locales. Elles permettent la recharge des aquifères souterrains et le dépôt de sols fertiles. Au Ghana, ces zones sont de plus en plus utilisées pour la production de riz.

TABLEAU 4.2. Sites Ramsar dans le bassin de la Volta.

Nom	Pays	Type de site	Superficie (ha)
Zone humide de la rivière Pendjari	Bénin	Zone humide (bassin fluvial)	144.774
Lac de Dem	Burkina Faso	Zone humide (lac naturel)	1.354
Barrage de Bagré	Burkina Faso	Lac artificiel permanent	36.793
Lac de Bam	Burkina Faso	Réservoir artificiel permanent	2.693
Vallée du Sourou	Burkina Faso	Vallée (bassin fluvial)	615.000
Barrage de la Kompienga	Burkina Faso	Lac artificiel	16.916
Complexe lagunaire de Keta	Ghana	Lagune ouverte	38.111
Lagune de Songor	Ghana	Lagune fermée	287.404
Parc national de la Kéran	Togo	Parc national	163.400
Bassin versant Oti-Mandouri	Togo	Bassin versant	425.000

Source: UNEP-GEF Volta Project 2013.

4.2.2 Infrastructures d'irrigation

Plusieurs réservoirs de petite, moyenne et grande taille ont été construits dans le bassin, principalement pour l'irrigation. Les plus notables sont les barrages Lerinord Seourou (360 Mm³) et Subinja (135 Mm³) au Burkina Faso, et les barrages de Tono (93 Mm³), Tanoso (125 Mm³) et Amate (120 Mm³) au Ghana (McCartney et al. 2012). Le volume total de stockage des réservoirs d'irrigation situés dans le bassin, y compris celui de Bagré utilisé à la fois pour l'énergie hydroélectrique et pour l'irrigation, est d'environ 2.900 Mm³, pour une irrigation formelle estimée à environ 30.500 ha. Il existe aussi un grand nombre de petits réservoirs dans le bassin, dont la capacité de stockage totale estimée est d'environ 232 Mm³ (Liebe et al. 2005; De Condappa et al. 2009). Le Tableau 4.3 montre le potentiel d'irrigation des différents pays riverains. Les systèmes d'irrigation existant dans le bassin sont indiqués dans l'annexe 2.

TABLEAU 4.3. Potentiel d'irrigation dans le bassin de la Volta.

Pays	Potentiel d'irrigation (ha)	Besoins en eau (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Besoins en eau totaux potentiels (km ³ an ⁻¹)
Bénin	30.000	20.000	0,6
Burkina Faso	142.000	10.000	1,42
Côte d'Ivoire	25.000	20.000	0,5
Ghana	1.200.000	20.000	24
Mali	0	8.500	0
Togo	90.000	23.000	2,07
Total	1.487.000	91.500	28,59

Source: UNEP-GEF Volta Project 2013.

4.2.3 Energie hydraulique

L'hydroélectricité est considérée comme une option d'énergie renouvelable non polluante, respectueuse de l'environnement, et économiquement plus avantageuse que d'autres options. L'Évaluation de l'énergie mondiale (UNDP 2000) estime que seulement un tiers des sites identifiés comme économiquement viables pour l'implantation d'infrastructures hydroélectriques dans le monde sont actuellement exploités, une grande majorité des sites inexploités étant situés dans les pays en développement. La production d'énergie hydroélectrique reste une utilisation non-consommatrice de l'eau importante dans le bassin de la Volta. L'énergie hydroélectrique est une façon relativement économique de produire de l'énergie. Elle permet la présence de grandes industries (mines, aluminium, etc.) au Ghana, qui l'exporte aussi vers les pays voisins (Owusu et al. 2008). Il est intéressant de noter que le bassin a connu une augmentation exponentielle de la demande en énergie au fil des ans, mais que la capacité de production pour répondre à cette demande est restée inchangée (MoP 2015). Ceci provoque des pénuries d'électricité au Ghana et dans les autres pays riverains.

4.2.4 Inventaire des dispositifs hydroélectriques existants et prévus dans le bassin

L'hydroélectricité a le potentiel de contribuer à répondre aux besoins énergétiques des pays riverains. Au cours des 50 dernières années, plusieurs barrages ont été construits dans le bassin, avec pour but principal de produire de l'électricité, et dans certain cas, pour l'irrigation (Tableau 4.4 et Figure 4.3). Fin 2014, six centrales hydroélectriques étaient opérationnelles dans le bassin, la plus récente étant celle de Bui, mise en service en mai 2013 sur la Volta noire. Bui, avec capacité de 400 MW, est la deuxième plus grande centrale hydroélectrique dans le bassin de la Volta, après le barrage d'Akosombo. Le réservoir créé par le barrage a inondé environ 20% du Parc national de Bui, et a eu un impact considérable sur l'habitat de l'hippopotame noir, extrêmement rare, mais aussi sur un grand nombre d'autres espèces sauvages. Il a nécessité le déplacement et la relocalisation de 1.216 personnes, et en a affecté un nombre bien plus grand encore (IIED 2014). En plus des barrages principaux d'Akosombo, Kpong, Kompienga, Bagré, et Bui, un nouveau barrage est en cours de construction à Samandeni, sur la Volta noire, au Burkina Faso, principalement destiné à la production d'électricité. Plusieurs autres petits projets de centrales hydroélectriques sont aussi prévus dans le bassin dans un futur proche.

TABLEAU 4.4. Barrages hydroélectriques existants et prévus dans le bassin de la Volta.

Nom du barrage	Sous-bassin	Pays	Etat	Année	Capacité (MW)
Akosombo	Basse-Volta	Ghana	Installation existante	1964	1.020
Kpong	Basse-Volta	Ghana	Installation existante	1981	160
Bui	Volta noire	Ghana	Installation existante	2013	400
Kompienga	Oti	Burkina Faso	Installation existante	1984	14
Bagré	Volta blanche	Burkina Faso	Installation existante	1992	16
Batchanga	Oti	Bénin	Incomplet		15
Samandeni	Volta noire	Burkina Faso	En projet		2,4
Noumbiel	Volta noire	Burkina Faso	En projet		48
Juale	Oti	Ghana	En projet		87
Arli	Oti	Burkina Faso	En projet		0,92
Pwalugu	Volta blanche	Ghana	En projet		50
Kulpawn	Volta blanche	Ghana	En projet		40
Daboya	Volta blanche	Ghana	En projet		43
Bandongo	Volta blanche	Burkina Faso	En projet		3
Bagré Aval	Volta blanche	Burkina Faso	En projet		14
Koulbi	Volta noire	Ghana	En projet		68
Ntereso	Volta noire	Ghana	En projet		64
Jambito	Volta noire	Ghana	En projet		55
Lanka	Volta noire	Ghana	En projet		95
Bon	Volta noire	Burkina Faso	En projet		7,8
Bontioli	Volta noire	Burkina Faso	En projet		5,1

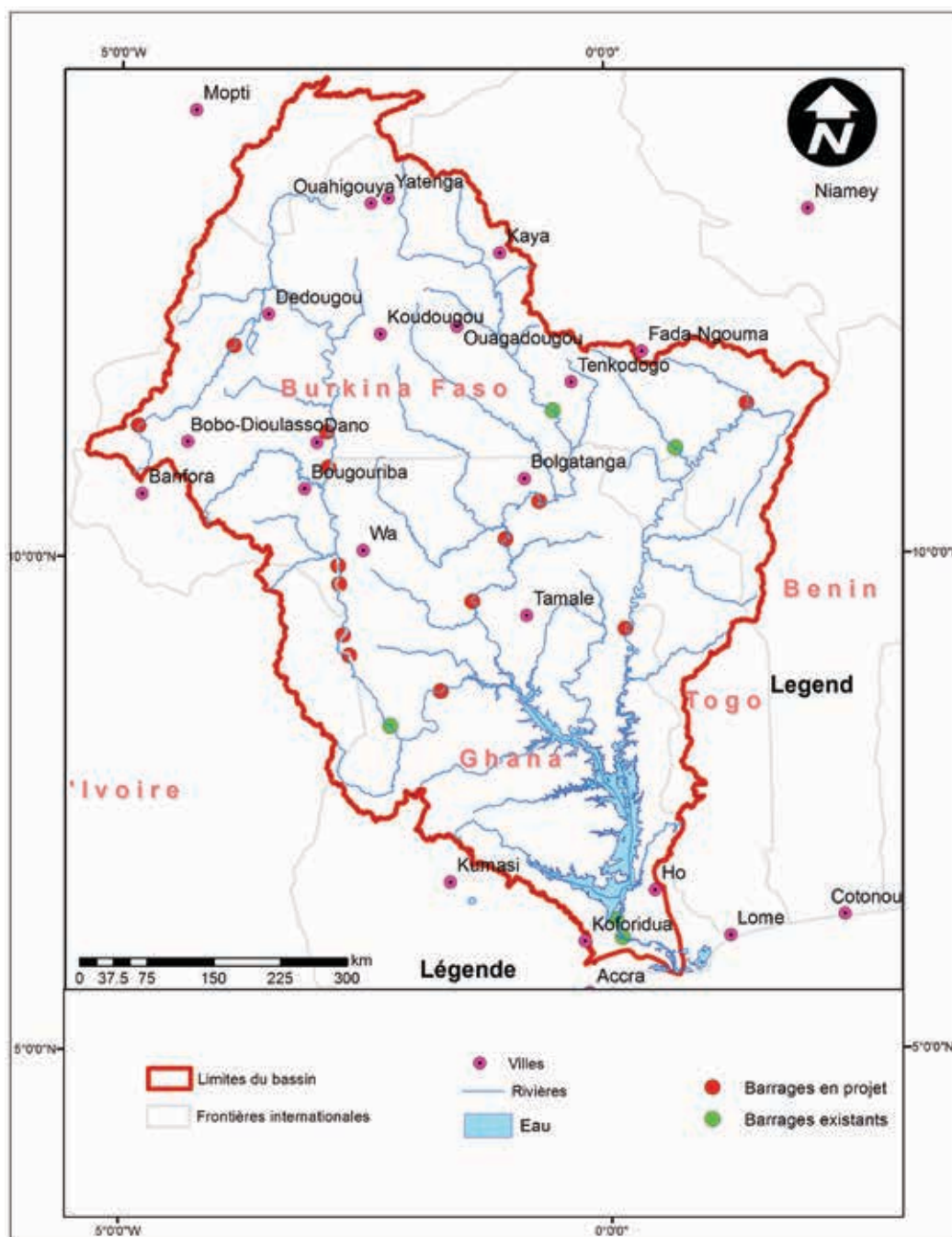
(Suite page suivante)

TABLEAU 4.4. Barrages hydroélectriques existants et prévus dans le bassin de la Volta. (suite)

Nom du barrage	Sous-bassin	Pays	Etat	Année	Capacité (MW)
Bonvale	Volta noire	Burkina Faso	En projet		0,3
Gongourou	Volta noire	Burkina Faso	En projet		5
Landa Pozada	Rivière Oti	Togo	En projet		-
Tihalea	Rivière Oti	Togo	En projet		-

Source: McCartney et al. 2012.

FIGURE 4.3. Localisation des barrages existants et en projet dans le bassin de la Volta.



Il n'y a aucun barrage hydroélectrique dans la partie malienne du bassin de la Volta, en Côte d'Ivoire, ou au Togo (UNEP-GEF Volta Project 2013). Toutefois, deux sont prévus sur les affluents de la rivière Oti, au Togo. Selon Lemoalle et de Condappa (2009), la construction du barrage de Bui pourrait compromettre un projet de barrage à Noumbiel (Burkina Faso/Ghana), à une courte distance en amont, sur la Volta Noire, le site prévu pour ce dernier ayant été inondé par la construction de celui-ci. Au Burkina Faso, le réservoir de Bagré est utilisé à la fois pour la production d'énergie hydroélectrique et pour l'irrigation, tandis que celui de Kompienga n'est utilisé que pour l'hydroélectricité. Ces deux réservoirs sont extrêmement sensibles à la variabilité des précipitations en raison de leur emplacement dans la partie supérieure, plus sèche, du bassin (Lemoalle et de Condappa 2009).

4.2.5 Impacts environnementaux de l'hydroélectricité

Le barrage d'Akosombo, le premier à avoir été construit dans le bassin, est une illustration de l'impact environnemental des centrales hydroélectriques dans le bassin de la Volta.

Le barrage d'Akosombo a inondé de vastes zones de terres, et déplacé plus de 80.000 personnes (Tsikata 2006), entraînant une perte d'activités économiques primaires comme la pêche et l'agriculture, et affectant finalement la stabilité des communautés. Une planification insuffisante a entraîné le déplacement des communautés vers des zones ne leur permettant pas de maintenir leurs anciens moyens de subsistance ou leurs traditions. L'intensification de l'agriculture, en raison de la perte massive de terres agricoles suite à la construction du barrage, a conduit à une augmentation du ruissellement d'engrais dans la rivière. Ce processus venant s'ajouter au ruissellement provenant des élevages de bétail situés à proximité, et à une pollution par les eaux usées, a causé un enrichissement en nutriments des eaux de la rivière. Celui-ci, combiné à un mouvement lent de l'eau, a permis une colonisation par des plantes aquatiques envahissantes, comme la jacinthe d'eau, qui ont fini par bloquer la navigation et le transport. Ces herbes envahissantes peuvent évincer d'autres espèces animales et végétales du fleuve. Elles constituent également un habitat pour la mouche noire, les moustiques, et les escargots, vecteurs de maladies d'origine hydrique comme la bilharziose et le paludisme. En outre, la dégradation de l'habitat aquatique a entraîné le déclin des populations de crevettes et de palourdes en aval, affectant négativement les économies rurales et industrielles.

Depuis la construction du barrage d'Akosombo, la productivité agricole le long du lac et de ses affluents a connu une baisse constante. Ceci est dû à l'interruption des inondations périodiques qui apportaient des nutriments aux sols, avant que l'écoulement naturel de la rivière ne soit interrompu par la construction du barrage. Le barrage d'Akosombo a également coupé l'approvisionnement en sédiments de l'estuaire de la Volta, affectant également le Togo et le Bénin voisins.

5. SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Les écosystèmes du bassin de la Volta sont fortement tributaires de la zone climatique dans laquelle ils se trouvent. Les principaux écosystèmes du bassin sont des forêts denses, des forêts semi-décidues, des forêts et surfaces boisées sèches à feuilles caduques, ainsi que des savanes et des steppes (UNEP-GEF Volta Project 2013). Outre les écosystèmes terrestres, influencés essentiellement par le climat, la densité des réseaux fluviaux du bassin (y compris les lacs et étangs pérennes) créent des conditions optimales pour les écosystèmes aquatiques et riverains,

d'une importance capitale, en particulier dans les régions les plus sèches. Les écosystèmes marins et côtiers sont également présents dans la partie la plus méridionale du bassin.

Ces écosystèmes fournissent divers services écosystémiques, et soutiennent les différents moyens de subsistance (Lemoalle et de Condappa 2009).

L'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire (MA 2005) identifie quatre catégories de services écosystémiques: services d'approvisionnement, services de régulation, services culturels, et services de soutien. Les services d'approvisionnement regroupent les produits obtenus directement des écosystèmes, tels que nourriture, eau douce, combustible, bois, fibre, et médicaments. Les services de régulation regroupent les bénéfices obtenus par la régulation des processus écosystémiques, comme la régulation du climat, des inondations, ou des maladies, ainsi que la purification de l'eau. Les services culturels sont définis comme les avantages matériels et immatériels fournis par les écosystèmes, tels que les aspects esthétiques, spirituels, éducatifs et récréatifs. Les services de soutien sont les services nécessaires à la production de tous les autres services écosystémiques, tels que la formation des sols, le recyclage des nutriments, ou la production primaire. La section ci-dessous décrit certains des services écosystémiques présents dans le bassin de la Volta, puis analyse les défis menaçant l'existence de ceux-ci. Ces informations proviennent principalement de l'étude FEM-Volta sur les écosystèmes du bassin de la Volta (UNEP-GEF Volta Project 2011).

5.1 Approvisionnement

5.1.1 Alimentation

Les écosystèmes du bassin de la Volta fournissent différents produits alimentaires, certains étant commercialisés dans la région, et d'autres, au niveau international. Certaines espèces d'arbres tels que le karité, le dawadawa, ou le baobab fournissent divers produits comme de l'huile, du beurre, des graines, des fruits, etc. Ces produits sont consommés frais, séchés, ou préparés de diverses façons. Plusieurs produits raffinés issus des services écosystémiques sont également disponibles, tel que le beurre d'amande, l'huile végétale, le miel, ou le vin de palme.

Les écosystèmes fournissent un habitat à différents types d'espèces récoltées et consommées. Ceci s'applique aussi bien aux écosystèmes terrestres qu'aux écosystèmes aquatiques. Les écosystèmes forestiers sont un habitat pour les champignons comestibles, les escargots, et le gibier. Les insectes, comme les criquets, les sauterelles, les grillons, les termites, ainsi que les larves et les œufs de certaines espèces, sont également consommés dans le bassin. Quelques espèces non-toxiques de reptiles, amphibiens, et serpents sont aussi consommées. Différentes espèces d'oiseaux et de mammifères sont chassées et consommées dans le bassin. Bon nombre de ces espèces sont vendues sur les marchés pour la consommation, ainsi que pour l'utilisation de certaines parties, tels que la peau.

La pêche est le principal moyen de subsistance de nombreux résidents autour des principaux plans d'eau naturels et artificiels (comme le Lac Volta). La majorité des espèces de poissons du bassin est comestible. On recense environ 1.232 villages de pêcheurs le long des rives du Lac Volta, habités en grande partie par des populations rurales pauvres, dont les moyens de subsistance se limitent principalement à des activités de pêche sur le lac. En outre, la zone côtière contribue grandement aux services d'approvisionnement, grâce à ses nombreuses espèces de poissons, moules et crabes. On estime que plus de 80.000 pêcheurs et 20.000 transformateurs et commerçants de poisson vivent de la pêche sur le Lac Volta, sur lequel 17.500 pirogues pêchent régulièrement (Braimah 1995). Bien que la production de poisson soit conséquente, elle ne suffit pas au marché local, et de grandes quantités de poissons sont importées chaque année.

5.1.2 Bois et autres matériaux

Les branches et les feuilles de certains arbres sont utilisées comme matériaux de construction, comme poutres, ou comme matériaux de toiture. Les branches sont également utilisées pour fabriquer des outils tels que les mortiers et les pilons. Certains types de feuilles spécifiques sont utilisés pour faire des tapis, des chapeaux et des éventails. D'autres produits, comme des balais, des cure-dents, des éponges, des chaises, ou des paniers, sont aussi fabriqués à partir de matériaux issus des forêts. Les troncs de certains arbres et cocotiers sont utilisés pour la construction de pirogues. La plupart de ces produits sont vendus sur les marchés locaux.

5.1.3 Produits énergétiques

Le bois et autres biomasses sont les sources d'énergie les plus courantes dans le bassin, en particulier pour la cuisine. La population du bassin est tributaire du bois des forêts à hauteur de 70 à 90% de son approvisionnement énergétique. Les produits énergétiques sont constitués de bois de chauffage et charbon de bois. Ceux-ci servent de moyens de subsistance à de nombreux ménages, lorsqu'ils sont vendus comme source d'énergie pour les villes. Les femmes sont généralement chargées de la collecte du bois de chauffage. Une exploitation non durable de ces produits contribue à la dégradation des écosystèmes forestiers et des savanes.

5.1.4 Bois

Les produits dérivés du bois sont présents dans la totalité des écosystèmes forestiers, des forêts denses et semi-décidues, aux forêts sèches à feuilles caduques.

5.1.5 Produits médicaux et pharmaceutiques

Les produits médicaux et pharmaceutiques sont tirés de divers produits issus des forêts et des zones humides du bassin. Les feuilles, écorces, graines, et racines de nombreuses espèces de plantes sont utilisées pour traiter différents maux. Un grand nombre de produits pharmaceutiques et médicaux provient également de la faune présente dans les écosystèmes du bassin.

5.2 Régulation

Il existe différents types de services de régulation dans le bassin de la Volta. Ce projet se concentre sur la régulation des débits et de la qualité de l'eau, ainsi que sur le contrôle de l'érosion. Les changements dans l'utilisation des terres affectent la capacité de régulation des différents écosystèmes, ainsi que la répartition des précipitations, en augmentant ou en réduisant l'évaporation et l'infiltration, affectant à son tour la disponibilité en eau en aval (en augmentant ou en diminuant l'apport d'eau d'une zone), et agissant ainsi sur les débits de crue (débit de pointe, durée, etc.). L'érosion a été citée comme un problème majeur dans le bassin, affectant la fertilité des sols et, par conséquent, la productivité agricole, et la durée de vie des barrages, petits et grands, du fait de la sédimentation. La sédimentation le long des principales rivières suppose également un problème pour les communautés riveraines, les rendant plus sujettes aux inondations.

5.3 Culture

Les écosystèmes forestiers fournissent des matériaux utilisés pour produire des attributs utilisés dans des manifestations culturelles, telles que des masques, des flûtes et des tambours. En outre, plusieurs espèces de reptiles, amphibiens, poissons et mammifères sont vendues sur les marchés locaux pour des cérémonies culturelles. Diverses espèces apparaissent également dans les légendes locales et les rituels, et sont utilisées dans les thérapies traditionnelles. Les symboles traditionnels représentent aussi divers animaux et plantes. En outre, le bassin renferme de nombreuses forêts et les lieux d'intérêt culturel sacrés, en particulier dans les zones montagneuses et rocheuses, comme les Tongo Hills et les Tengzug shrines, au nord-est du Ghana.

Le Bassin de la Volta possède un certain nombre de parcs nationaux, réserves fauniques, et autres aires protégées, où les touristes peuvent observer les animaux dans leur habitat naturel (Tableau 5.1; Figure 5.1). L'observation des oiseaux est une activité touristique importante, tant pour les oiseaux d'eau (en particulier au Mali et au Burkina Faso) que pour les perroquets, dans les réserves forestières. Plusieurs des parcs nationaux du bassin permettent l'observation des grands mammifères. Les crocodiles et pythons et, dans une moindre mesure, les tortues et les reptiles représentent une attraction pour les touristes (p. ex. Étang aux crocodiles de Paga au nord-est du Ghana). Les sports de pêche en eau douce sont également possibles en divers endroits du bassin.

5.4 Soutien

Les écosystèmes forestiers abritent différents types de bactéries et de champignons créant un environnement qui contribue à enrichir les sols en fixant les nutriments et donc, en contribuant à les réguler. La faune présente dans ces écosystèmes contribue aussi aux services de soutien, en améliorant la qualité et la structure des sols, et en aidant à la pollinisation.

5.5 Facteurs affectant les services écosystémiques

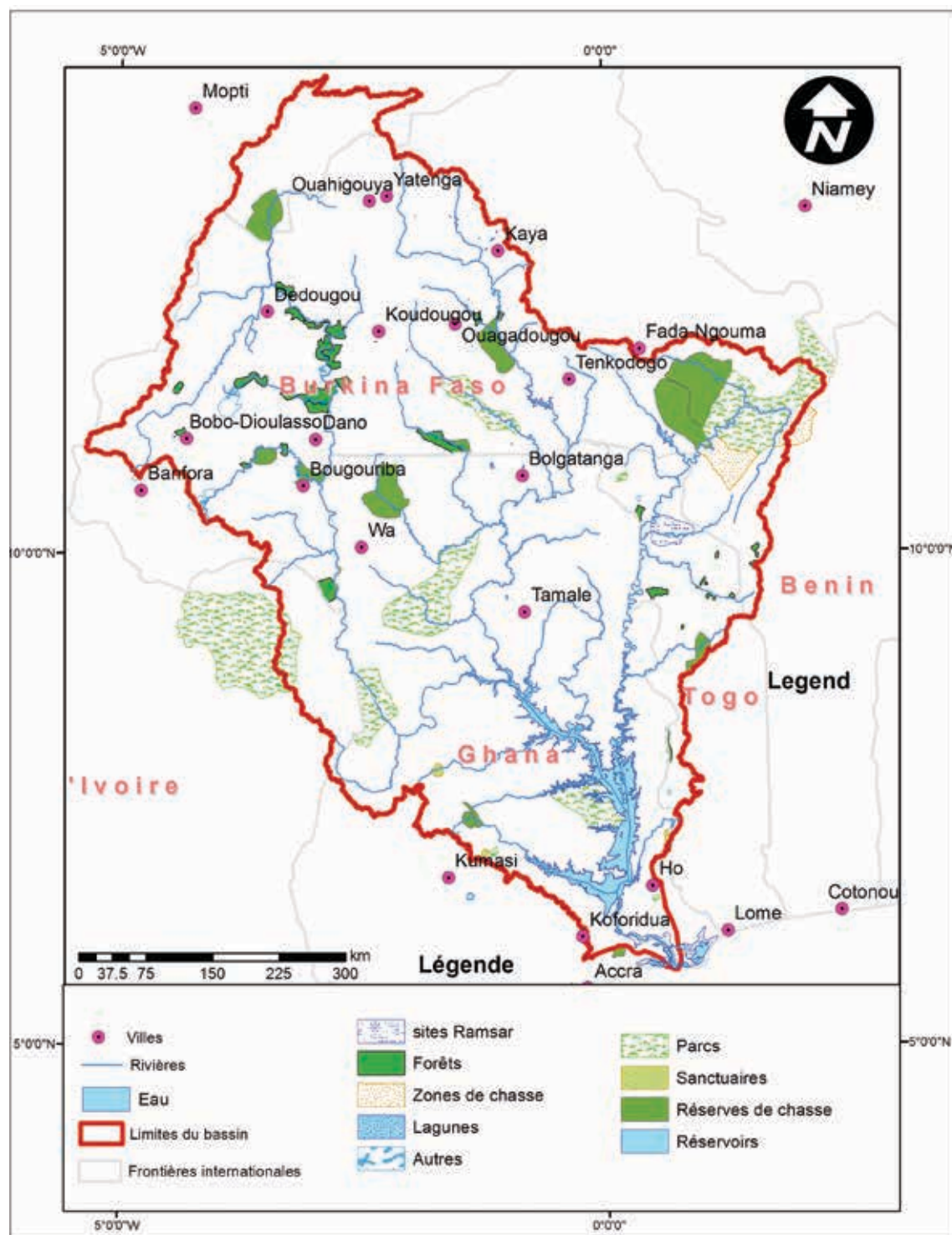
L'étendue et la qualité des écosystèmes du bassin de la Volta diminuent année après année, du fait de leur dégradation continue. Il existe plusieurs facteurs anthropiques affectant les écosystèmes et leurs services. La fragmentation et la destruction des écosystèmes sont dues à l'expansion de l'agriculture, l'exploitation des forêts, l'augmentation de la production bioénergétique, les activités minières, le développement d'infrastructures (y compris pour le développement des ressources en eau), et l'urbanisation. La surexploitation des écosystèmes, due au braconnage (faune terrestre et poissons) ou à l'exploitation forestière illégale, est fréquente. L'agriculture (herbicides et pesticides), l'érosion (affectant la turbidité et l'eutrophisation), et les rejets industriels et domestiques sont sources de pollution aquatique. Des pratiques de gestion non durable dans les secteurs de l'agriculture, la foresterie, et l'élevage, sont également responsables de la destruction des écosystèmes. Un manque de contrôle des introductions de nouvelles espèces, et à l'absence d'ennemis naturels sont à la base des invasions d'espèces exotiques. L'augmentation mondiale des émissions anthropiques de gaz affectent le climat. L'ensemble de ces facteurs conduit à une réduction de la quantité et de la qualité de la biodiversité dans les écosystèmes du bassin de la Volta.

TABLEAU 5.1. Aires protégées dans le bassin de la Volta.

Pays	Nom	Superficie (ha)	Pays	Nom	Superficie (ha)
<i>Parcs nationaux</i>			<i>Autres types de réserves</i>		
Bénin	Parc national de la Pendjari	1.250.000	Bénin	Réserve de la biosphère de la Pendjari	144.774
Burkina Faso	Parc national d'Arly	93.000	Burkina Faso	Forêt de Koulbi	40.000
	Parc national de Pô	155.500		Forêt de Boulon Koflandé	42.000
	Parc des Deux Balé	80.600		Forêt de Pâ	11.000
Côte d'Ivoire Ghana	Parc national de la Comoé	1.149.450		Forêt de Sissili	35.330
	Parc national de Bui	182.100		Concession de chasse de Tapoa Djerma	35.000
	Parc national Kyabobo	20.000		Concession de chasse de Koakrana	25.000
	Parc national de Mole	457.700		Concession de chasse de Pagou Tandougou	39.335
Togo	Fazoa-Malfakassa	192.000		Concession de chasse d'Ougarou	64.469
	Oti Keran	69.000		Concession de chasse de Konkonbouri	64.608
<i>Réserves faunistiques</i>				Concession de chasse de Sissili	32.700
Burkina Faso	Bontioli	42.200		Concession de chasse de Sa Sourou	19.400
	Singou	192.800		Réserve de la biosphère de la Mare aux hippopotames	19.200
	Kourtiagou	51.000	Côte d'Ivoire Ghana	Réserve de la biosphère de la Comoé	1.150.000
	Pama	223.700		Réserve intégrée de Kogyae	38.600
Togo	Oti-Mandouri	110.000		Sanctuaire de biodiversité d'Agumatsa	300
	Galangachi	12.490		Réserve de production de Gbele	56.500
				Réserve de production de Kalakpa	32.500
			Mali	Réserve d'éléphants de Douentza (Gourma)	1.200.000
				Forêt naturelle de Segue	83.200
				Forêt de Samory	245.000
			Togo	Forêt d'Assoukoko	10.000

Source: UNEP-GEF Volta Project 2013.

FIGURE 5.1. Carte du bassin du Volta montrant les réserves les plus importantes.



Source des données: Google Earth, 2015.

5.6 Évaluation de services écosystémiques à grande échelle

Une session technique a été organisée au cours de la première réunion des parties prenantes, comme première étape dans la cartographie des services écosystémiques du projet WISE-UP. Des représentants de l'Autorité du bassin de la Volta, de l'Autorité du fleuve Volta, de l'Agence de protection de l'environnement, ainsi que d'autres organisations gouvernementales et non gouvernementales ont participé à cette réunion, dans le bassin de la Volta. L'information recueillie a ensuite été confirmée par une analyse bibliographique de la littérature existante et autres documents pertinents. Le but de l'exercice était d'obtenir une évaluation rapide des principales fonctions écosystémiques dans le bassin de la Volta.

5.6.1 Approche retenue

Un exercice de cartographie a été entrepris, à la suite d'une présentation générale sur les services écosystémiques et sur les objectifs du projet en matière de cartographie de ceux-ci. Les quatre catégories de services écosystémiques étaient considérées: services d'approvisionnement, services de régulation, services culturels, et services de soutien. Les participants ont été divisés en groupes de 3 à 5 personnes et ont entrepris un exercice consistant à localiser, sur les cartes du bassin de la Volta, les services écosystémiques importants, et à indiquer la catégorie à laquelle ils appartenaient, en apportant toute information complémentaire, le cas échéant. Cet exercice a permis de produire huit cartes différentes des services écosystémiques dans le bassin de la Volta. Les principaux services écosystémiques identifiés sont décrits ci-dessous, accompagnés d'une brève description de chacun, sur la base d'informations bibliographiques.

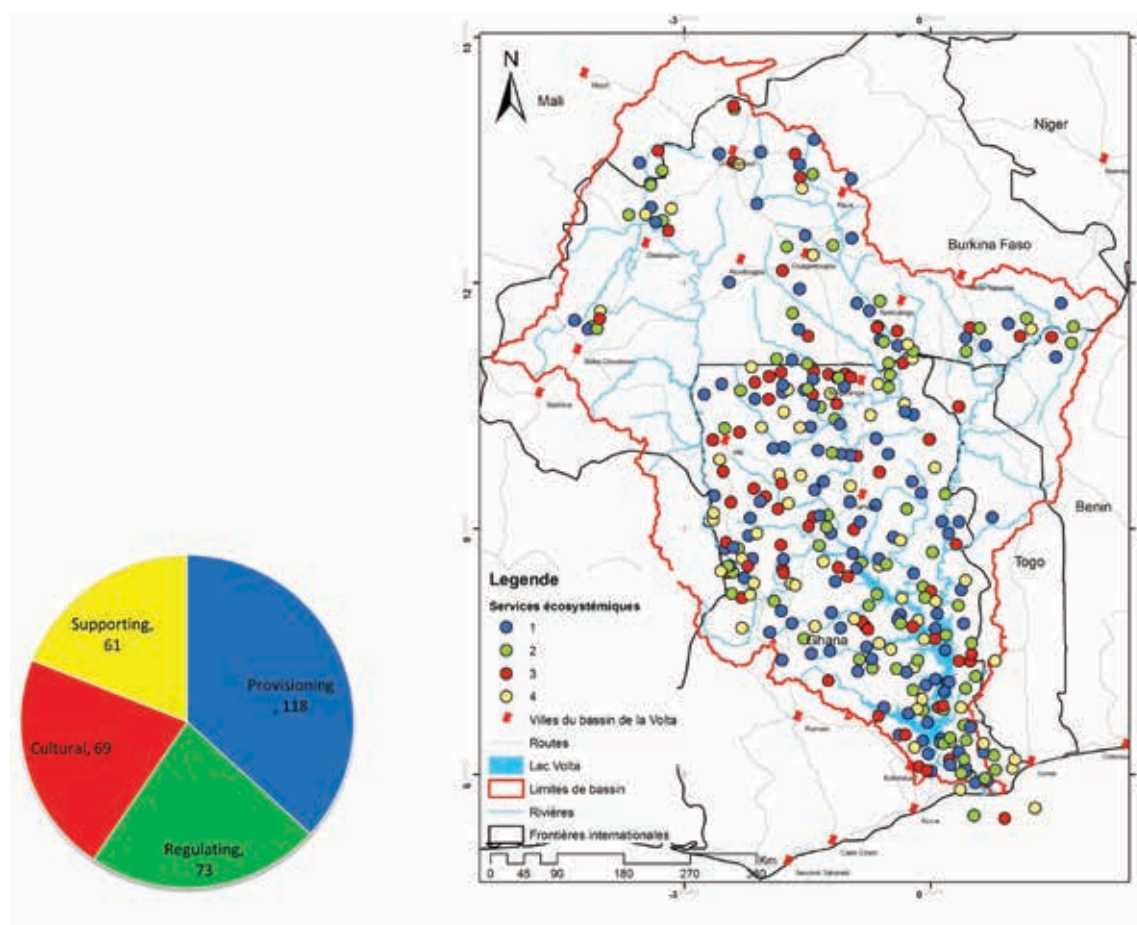
5.6.2 Constatations

Parmi les huit cartes obtenues, deux concernaient uniquement sur le Burkina Faso, une couvrait le Burkina Faso et le Ghana, et les cinq autres, seulement le Ghana. La cartographie des services écosystémiques au Burkina Faso semble se concentrer autour d'éléments clés du bassin, alors que celle du Ghana inclut certains services plus généraux, cartographiés sur l'ensemble du pays. La Figure 5.2 montre les cartes combinées, pour les quatre types de services écosystémiques. Au total, 321 autocollants, représentant les quatre types de services écosystémiques, ont été utilisés. Sans surprise, le principal groupe identifié a été celui des services d'approvisionnement, même si d'autres services sont également bien représentés. Il a également été constaté que les groupes ont indiqué différents types de services fournis par un même site, particulièrement sur les cartes du Burkina Faso. Les sites peuvent être regroupés en:

1. Écosystèmes naturels, comme les forêts, les lacs naturels, et les zones humides, parfois aussi classés comme parcs nationaux et / ou zones protégées.
2. Infrastructures hydrauliques, tels que les barrages, fournissant différents types de services (voire les quatre groupes de services, dans certains cas).
3. Services culturels importants, tels que les lieux historiques et touristiques.

La plupart des services cartographiés étaient en lien avec les ressources en eau de surface, comme demandé dans l'exercice. Sur certaines cartes, des informations complémentaires ont été fournies sous forme de texte et de tableaux indiquant, par exemple, le nom du site, et le type de service écosystémique.

FIGURE 5.2. Carte montrant les services écosystémiques combinés cartographiés par les parties prenantes de haut niveau (l'annexe 3 montre les huit cartes individuelles et les participants formant chaque groupe).



La liste suivante montre les écosystèmes fournissant des services clés dans le bassin de la Volta. Elle a été établie à partir du texte rajouté aux cartes, et par une comparaison des sites identifiés à l'aide de Google Maps et autres documents. Les écosystèmes sont classés selon les trois principaux groupes identifiés précédemment (systèmes naturels, infrastructures hydrauliques, et écosystèmes fournissant des services culturels importants. Voir emplacements sur la Figure 5.3).

Map of the Volta Basin in West Africa

Legend:

- Localisations principales des services écosystémiques (Main localizations of ecosystem services)
- Villes (Cities)
- Routes (Routes)
- Parcs nationaux (National parks)
- Lac Volta (Volta Lake)
- Limites de bassin (Basin limits)
- Rivières (Rivers)
- Frontières internationales (International borders)

Key Locations and Features:

- Countries:** Mali, Niger, Burkina Faso, Ghana, Togo, Benin.
- Cities:** Mopti, Ouagadougou, Koudougou, Ouagadougou, Tenkodogo, Boko-Doucou, Barfora, Vile, Tamale, Kumasi, Koforidua, Accra, Cape Coast, Sekondi-Takoradi, Lomé, Cotonou.
- Protected Areas:** Bay reserve, Mouhoun Loop, Hippo pond, Maro and Tui forest reserves, Nakambe forest reserve, Paga crocodile pond, Wechiau hippo sanctuary, Mole National Park, Bui national park/ dam site, Boaben Monkey Sanctuary, Digya national park/ floodplain, Pendjari national park.
- Infrastructure:** Tono and Vea irrigation, Pwalugu dam site, Kpando Tokor irrigation/port.
- Water Bodies:** Lac de Bam, Lac de Dem, Volta Lake, Volta Estuary/ Lagoon.

Scale: 0 to 360 km.

Burkina Faso

Réserves forestières de Maro et de Tui

Ces deux réserves forestières sont situées en amont de la rivière Bougouriba, un affluent de la Volta noire.

Mare aux Hippopotames

La Mare aux hippopotames, sur la Volta noire, est un site Ramsar abritant plus de 100 hippopotames. Il se compose de piscines et de marais inondés pendant la saison des pluies.

Boucle de Mouhoun/ Réserve de baie

La rivière Souhou prend sa source au Mali, entourée d'une vaste plaine d'inondation. Elle rejoint la Volta noire près de la boucle du Mouhoun, où la Volta noire fait un brusque virage en direction du sud.

Lacs de Bam et de Dem

Ces deux lacs naturels sont situés dans le bassin de la Volta blanche. Bien que leurs débits entrant et sortant soient intermittents, les deux lacs conservent de l'eau en permanence. Les deux lacs sont utilisés pour de l'irrigation à petite échelle (Lac de Bam), et à des fins domestiques (Lac de Dem).

Réserve forestière de Nakambe

La réserve forestière de Nakambe est située le long de la Volta rouge, au Burkina Faso. La Volta rouge rejoint la Volta blanche au Ghana, en aval de l'emplacement prévu du barrage de Pwalugu.

Divers barrages de grande taille ou de taille moyenne sont présents dans le bassin de la Volta blanche (p. ex., Ziga/Bagré/Kompienga)

Quelques développements de barrages de grande taille, et de taille moyenne, ont eu lieu au Burkina Faso. Deux de ces barrages sont classés comme réserves écologiques importantes par la convention de Ramsar (Kompienga et Bagré, au Burkina Faso), et fournissent un habitat pour les espèces aquatiques et les oiseaux migrateurs.

Parcs nationaux situés sur le cours supérieur de l'Oti

Quatre parcs nationaux sont situés dans la partie supérieure du bassin de l'Oti, et forment le parc national transfrontalier "W" du Niger. Ce sont les parcs de la Penjari au Bénin, et d'Arli, Singou, et Pama, au Burkina Faso. Les parcs comprennent certains cours d'eau pérennes, ainsi que les zones de plaine d'inondation.

Ghana

Système lagunaire de Keta/Bassin de la Basse-Volta

L'estuaire de la Volta se situe en aval des barrages d'Akosombo et de Kpong. La productivité de cette région dépend des débits d'eau fournis par ces deux barrages. Les conditions historiques de débit dynamique permettaient un développement optimal des ressources de pêche, et autres ressources aquatiques. Le gradient dynamique de salinité était particulièrement favorable aux palourdes et aux huîtres. Le régime actuel des débits n'est favorable qu'à un nombre limité d'espèces de poissons, principalement d'eau douce. Les huîtres et les palourdes sont toujours récoltées, mais seulement dans la partie de la Basse-Volta située le plus en aval. La zone de mangroves a aussi diminuée, affectant négativement les zones de frayères pour les poissons.

Lac Volta

Le Lac Volta fut créé par la construction du barrage d'Akosombo, en 1966. Avec une superficie totale de plus de 8.000 km², le lac fournit une grande partie de la demande en poisson du Ghana. En outre, le lac facilite le transport nord-sud. Plusieurs groupes ont identifié les îles s'étant formées à l'intérieur du lac après la construction et le remplissage du barrage, comme une source potentielle de services culturels.

Réservoirs de Veia et Tono

Situés dans la région du nord-est, ces deux réservoirs furent construits pour l'irrigation, et fournissent divers services écosystémiques, comme un approvisionnement stable en eau, tout au long de l'année, des possibilités de pêche, et un habitat pour les oiseaux migrateurs.

Mare aux crocodiles de Paga

La Mare aux crocodiles de Paga est située le long de la route de Bolgatanga à Ouagadougou, près de la frontière entre le Ghana et le Burkina. Le site est fréquenté par les voyageurs qui empruntent cette route. Le lien entre ce site et le système principal de la rivière n'a pas été confirmé.

Parc National de Mole

C'est le plus grand parc national du Ghana, abritant deux cours d'eau éphémères (Mole et Lovi). Le parc abrite de grandes populations d'éléphants, d'hippopotames, de buffles et une grande variété d'antilopes.

Parc National/barrage de Bui

Le Parc National de Bui a été créé en 1971, et héberge une grande population d'hippopotames. Une partie du parc a été inondée par la construction du barrage de Bui.

Sanctuaire d'hippopotames de Wechiau

Le sanctuaire d'hippopotames de Wechiau est un projet communautaire qui s'étend sur 40 km le long de la Volta noire, près de la frontière avec la Côte d'Ivoire. Il abrite une importante communauté d'hippopotames.

Parc national de Digya

Le parc national de Digya est situé le long des rives du lac Volta. C'est la plus ancienne réserve du pays. Il abrite certaines espèces de primates, ainsi que des éléphants.

Sanctuaire de singes de Boaben

Ce sanctuaire de singes est un autre exemple de projet communautaire. Les coutumes locales en vigueur considèrent ce site comme sacré.

Réserve de ressources de Gbele

Une réserve naturelle, dans les paysages ouverts de savane, qui abrite une variété d'espèces.

Barrage multifonction de Pwalugu / Réserve forestière de Gambaga

Le site prévu du barrage de Pwalugu est situé dans le bassin de la Volta blanche. Il est prévu que le réservoir inonde partiellement la réserve forestière de Gambaga, abritant une variété d'espèces d'oiseaux. Environ 25% de la réserve devrait disparaître après la construction du barrage.

Port / irrigation de Kpando Tokor

Le port de Kpando Tokor est un des éléments clés le long du lac Volta. En outre, cette zone utilise directement l'eau du lac Volta pour l'irrigation (356 ha).

5.7 Sélection des points nodaux et des sous-bassins

Ce rapport de référence pour le bassin de la Volta montre la grande hétérogénéité du bassin et le nombre important d'éléments d'infrastructures hydrauliques naturelles et construites qu'il renferme. Cette dernière section du rapport donne un aperçu des éléments d'infrastructures naturelles et construites identifiés jouant un rôle important dans le bassin de la Volta. Les éléments d'infrastructures hydrauliques construites comprennent les structures existantes ainsi que celles en projet (principalement les barrages et les systèmes d'irrigation). Les bassins versants correspondant sont également regroupés en sous-bassins relativement homogènes. Cette sélection de points nodaux et de sous-bassins, compatible avec la modélisation du système de ressources en eau, sera utilisée pour de futures analyses dans le cadre du projet WISE-UP to Climate. Les sous-bassins sélectionnés serviront de base pour l'exercice de cartographie des services écosystémiques. Les services écosystémiques seront regroupés à échelle de ces sous-bassins, et intégrés au système hydrique (modèle) au niveau des "points nodaux" situés en aval.

La sélection des points nodaux et des sous-bassins pour l'analyse de l'ensemble du bassin a été réalisée à partir d'un certain nombre de critères.

- Les points nodaux doivent être compatibles avec les points nodaux SWAT, positionnés à des endroits stratégiques
- Les infrastructures hydrauliques naturelles et construites clés doivent être représentées au niveau de ces points nodaux
- Les points nodaux peuvent être situés à la confluence des principaux sous-bassins

Au total, 19 sous-bassins et 20 points nodaux ont été identifiés (Figure 5.4 et Tableau 5.2).

FIGURE 5.4. Carte des sous-bassins et des points nodaux pour le bassin de la Volta.

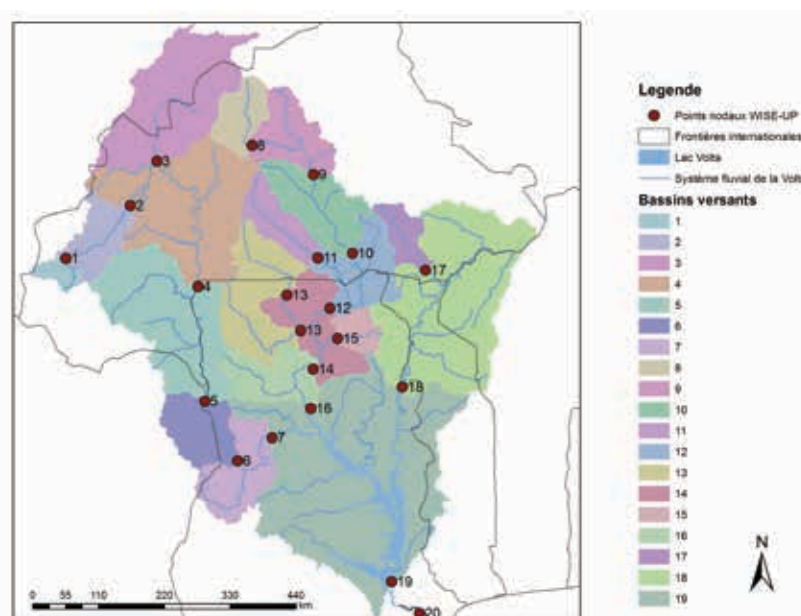


TABLEAU 5.2. Vue d'ensemble des points nodaux et caractéristiques principales des sous-bassins.

ID	Nom local de la rivière	Sous-bassin	Pays	Infrastructures hydrauliques naturelles	Infrastructure hydrauliques construites
1	Mouhoun	Volta noire	Burkina Faso		Barrage de Samendeni (en projet, 610 Mm³, 5.000 ha, 2,4 MW)
2	Mouhoun	Volta noire	Burkina Faso	En aval de la Mare aux hippopotames	Barrage de Bonvale (en projet, 130 Mm³, 0,3 MW); Système d'irrigation de la rivière Nwokuy (3.291 ha)
3	Souhou / Sourou	Volta noire	Burkina Faso / Mali	Plaine inondable « Réserve de la baie » / boucle du Mouhoun et services écosystémiques associés (agriculture de décrue, irrigation, migration des oiseaux)	Barrage de Lery situé sur la Sourou et inondant les plaines d'inondation en amont. (existant, 9.646 ha, 360 Mm³)
4	Mouhoun	Volta noire	Burkina Faso	Réserves forestières de Maro et de Tui, sur affluent	Barrage de Bon (en projet, 2.000 Mm³, 7,8 MW); Système d'irrigation de la rivière Dapola (1.362 ha); Barrage de Bontoli (en projet, 320 Mm³, 5,1 MW)
5	Volta noire	Volta noire	Burkina Faso/Ghana	En aval du sanctuaire d'hippopotames de Wechiau	Barrage de Koulbi (en projet, 2.950 Mm³, 68 MW); Barrage de Noubiel (en projet, 11.300 Mm³, 7.800 ha, 48 MW); Barrage de Ntereso (en projet, 1.370 Mm³, 64 MW)
6	Volta noire	Volta noire	Ghana	Parc National de Bui	Barrage de Bui (existant, 12.570 Mm³, 30.000 ha (en projet), 400 MW)
7	Volta noire	Volta noire	Ghana		Barrage de Jambito (en projet, 760 Mm³, 55 MW)
8	Nakambe	Volta blanche	Burkina Faso		Barrage de Kanonzoe et Système d'irrigation de Wayen
9	Nakambe	Volta blanche	Burkina Faso		Barrage de Ziga (utilisation domestique de l'eau pour Ouagadougou)
10	Nakambe	Volta blanche	Burkina Faso	Site Ramsar	Barrage de Bagré (1.700 Mm³, 4.695 ha (30.000 ha en projet), 10 MW)
11	Volta rouge	Volta blanche	Ghana		Système d'irrigation de la rivière Nangodi (184 hectares)

(Suite page suivante)

TABLEAU 5.2. Vue d'ensemble des points nodaux et caractéristiques principales des sous-bassins. (suite)

ID	Nom local de la rivière	Sous-bassin	Pays	Infrastructures hydrauliques naturelles	Infrastructure hydrauliques construites
12	Volta blanche	Volta blanche	Ghana		Barrage de Pwalugu (en projet, 3.260 Mm ³ , 20.000 ha, 50 MW)
13	Kulpawn, Sissilli	Volta blanche	Ghana	Élevage de gibier de Gbele, Réserve forestière de Sissili	Système d'irrigation de Kulpawn-Sissilli
14	Volta blanche	Volta blanche	Ghana	Réserve forestière de Nanzinga	Barrage de Daboya (en projet, 3.430 Mm ³ , 43 MW)
15	Nasia	Volta blanche	Ghana		Irrigation à petite échelle de la vallée
16	Volta blanche	Volta blanche	Ghana	Parc National de Mole	
17	Kompienga	Oti	Burkina Faso	Site Ramsar	Barrage de Kompienga (existant, 2.025 Mm ³ , 14 MW)
18	Oti	Oti	Ghana	Plusieurs réserves forestières, notamment de la Pendjari, au Bénin	Barrage de Juale (en projet, 87 MW)
19	Akosombo	Basse-Volta	Ghana	Lac Volta & services écosystémiques associés, zones inondables autour du Lac Volta (y compris le Parc national de Digya)	Barrage d'Akosombo (existant, 144.000 Mm ³ , 1.020 MW)
20	Kpong	Basse-Volta	Ghana	Estuaire, production de palourdes et pêche	Kpong (existant, 150.000 ha (en projet), 160 MW)

6. CONCLUSIONS

Le bassin de la Volta fournit une large gamme de bénéfices aux populations des pays riverains. Ces bénéfices proviennent des écosystèmes d'eau douce naturels, et sont renforcés par des infrastructures hydrauliques construites. Les bénéfices provenant des écosystèmes d'eau douce naturels utilisés par les communautés riveraines incluent des aliments (pêche, agriculture de décrue), de l'eau (à usage domestique et pour l'élevage), du combustible (bois de chauffage), et des matériaux de construction (poutres, bois), entre autres. À plus grande échelle, les écosystèmes d'eau douce fournissent de l'eau en quantité et qualité suffisantes, réduisent les inondations, et maintiennent les débits de base. Les infrastructures hydrauliques construites peuvent fournir des services similaires (tels que l'approvisionnement en eau et la protection contre les crues), mais génèrent aussi des bénéfices additionnels, en conjonction avec les infrastructures naturelles, telles que l'hydroélectricité et l'approvisionnement en eau d'irrigation.

En raison de tous ces avantages, le développement d'infrastructures hydrauliques supplémentaires est souvent envisagé dans le bassin de la Volta. Il existe actuellement six barrages hydroélectriques dans le bassin, d'une capacité totale installée de 1.610 MW. Dix-neuf emplacements de barrages supplémentaires ont été identifiés, ajoutant une capacité installée estimée de 550 MW à la puissance hydroélectrique existante. L'irrigation dans le bassin regroupe principalement de petits exploitants privés, utilisant de petites pompes individuelles reliées à de petits réservoirs. Seulement 30.000 ha environ font actuellement partie de systèmes publics d'irrigation. Le potentiel d'irrigation dans le bassin (basé sur la qualité des sols) est très élevé, avec environ 1,5 Mha non développés. Cependant, l'eau nécessaire à l'irrigation d'une telle surface n'est vraisemblablement pas disponible. Toutefois, un développement accru de l'irrigation est prévu.

L'analyse transfrontalière de diagnostic commandée par l'ABV identifie cinq préoccupations majeures dans le bassin de la Volta: la variation de la quantité d'eau et les débits saisonniers, la dégradation des écosystèmes, les préoccupations liées à la qualité de l'eau, la gouvernance, et le changement climatique. Le développement d'infrastructures hydrauliques a contribué à ces préoccupations, en réduisant les débits du fait des captages d'eau, et en modifiant les régimes naturels d'écoulement du fait d'une exploitation des barrages favorisant la production hydroélectrique.

Les infrastructures hydrauliques construites et naturelles sont interdépendantes, et la dégradation des infrastructures naturelles, du fait d'une altération de l'utilisation des terres, peut affecter le fonctionnement des infrastructures construites. Par exemple, l'érosion des terrains dégradés peut obstruer les réservoirs situés en aval et réduire leur capacité directe de stockage. D'autre part, les infrastructures naturelles peuvent se voir affectées par la construction et la gestion d'infrastructures construites, du fait de l'endiguement des zones situées en amont, de la modification des régimes d'écoulement, et de la réduction des débits. Le développement et la gestion à venir d'infrastructures hydrauliques construites apporteront des bénéfices, mais peuvent aussi, potentiellement, dégrader davantage les infrastructures naturelles. Le développement du bassin devrait donc adopter une approche holistique et inclure les infrastructures naturelles dans les plans de développement du bassin.

RÉFÉRENCES

- Abubakari, A.H.; Nyarko, G.; Yidana, J.A.; Mahunu, G.K.; Abagale, F.K.; Quainoo, A.; Chimsah, F.; Avornyo, V. 2012. Comparative studies of soil characteristics in Shea parklands of Ghana. *Journal of Soil Science and Environmental Management* 3(4): 84-90.
- Acheampong, S.Y. 1996. *Geochemical evolution of the shallow groundwater system in the Southern Voltaian Sedimentary Basin of Ghana*. PhD thesis, University of Nevada, Reno, USA.
- Akrasi, S.A. 2011. Sediment discharges from Ghanaian rivers into the sea. *West African Journal of Applied Ecology* 18: 1-13.
- Amikuzuno, J.; Hathie, I. 2013. Climate change implications for smallholder agriculture and adaptation in the White Volta Basin of the upper east region of Ghana. In: *Proceedings of Impacts World 2013: International Conference on Climate Change Effects, Potsdam, Germany, May 27-30, 2013*. Pp. 198-205.
- Amisigo, B.A.; McCluskey, A.; Swanson, R. 2014. *Modeling impact of climate change on water resources and agriculture demand in the Volta Basin and other basin systems in Ghana*. WIDER Working Paper, No. 2014/033. Helsinki, Finland: United Nations University World Institute for Development Economics Research.
- Andah, E.I.; van de Giesen, N.; Biney, C.A. 2003. *Water, climate, food, and environment in the Volta Basin*. Contribution to the project ADAPT. Adaptation strategies to changing environments. Available at <http://www.weap21.org/downloads/ADAPTVolta.pdf> (accessed on February 20, 2015).
- Andah, W.; Gichuki, F. 2003. *Volta Basin profile: Strategic research for enhancing agricultural water productivity*. CGIAR Challenge Program on Water and Food (CPWF). Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI).
- Andreini, M.; Schuetz, T.; Harrington, L. (Eds.). 2009. *Small reservoirs toolkit*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI).
- Andreini, M.; van de Giesen, N.; van Edig, A.; Fosu, M.; Andah, W. 2000. *Volta Basin water balance*. ZEF Discussion Papers on Development Policy, No. 21. Bonn, Germany: Zentrum für Entwicklungsforschung.
- Anyadike, R.N.C. 1993. Seasonal and annual rainfall variations over Nigeria. *International Journal of Climatology* 13: 567-580.
- Apambire, W.B. 1996. Groundwater geochemistry and the genesis and distribution of groundwater fluoride in the Bolgatanga and Bongo districts, Ghana. MSc thesis. Carleton University, Ottawa, Ontario, Canada.
- Apambire, W.B.; Boyle, D.R.; Michel, F.A. 1997. Geochemistry, genesis and health implications of fluoriferous groundwaters in the upper regions of Ghana. *Environmental Geology* 33(1): 13-24.
- Appeaning-Addo, K. 2009. Detection of coastal erosion hotspots in Accra, Ghana. *Journal of Sustainable Development in Africa* 4(11): 253-258.
- Awotwi, A.; Kumi, M.; Jansson, P.E.; Yeboah, F.; Nti, I.K. 2015. Predicting hydrological response to climate change in the White Volta catchment, West Africa. *Journal of Earth Science & Climatic Change* 6(1): 1-7.
- Barry, B.; Obuobie, E.; Andreini, M.; Andah, W.; Pluquet M. 2005. *The Volta River Basin*. Comprehensive assessment of water management in agriculture - Comparative study of river basin development and management. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI).
- Benneh, G.; Agyepong, G.T.; Allotey, J.A. 1990. *Land degradation in Ghana*. Food production and rural development division. Pall Mall, London: Commonwealth Secretariat.
- BGS (British Geological Survey). 2002. Groundwater quality: Burkina Faso. Available at <http://www.unep.org/DEWA/water/groundwater/africa/English/reports.asp> (accessed on October 16, 2015).
- Bilan D'eau. 1993. Carte Hydrogéologique du Burkina Faso.
- Biney, C.A. 2010. Connectivities and linkages within the Volta Basin. Paper presented at the Conference of the Global Catchment Initiative (GCI), December 6-8, 2010, University Club, Bonn, Germany.
- Biney, C.A. 2013. The Volta Basin Authority. Available at: <http://www.inbonews.org/IMG/pdf/Volta-Basin-Authority.pdf> (accessed on January 07, 2015).
- Braimah, L.I. 1995. Recent developments in the fisheries of Volta Lake (Ghana). In: *Current status of fisheries and fish stocks of four largest African reservoirs: Kainji, Kariba, Nasser/Nubia and Volta*, eds., Crul, R.C.M.; Roest, F.C. CIFA Technical Paper 30. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Pp. 111-134.

- BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières). 2003. Notice explicative de la carte géologique du Burkina Faso au 1/200 000. Feuille de Pama.
- Burkina Faso Post-Disaster Needs Assessment. 2010. Inondations du 1erSeptembre 2009 au Burkina Faso, Evaluation des dommages, pertes et besoins de construction, de reconstruction et de relèvement.
- Carrier, M.-A.; Racicot, J.; Asare E.B.; Lefebvre, R.; Rivera, A. 2006. *A bibliographical review of selected papers - Hydrological Assessment Project of the Northern Regions of Ghana*. Lyon, France: CIDA, WRC, SNC-LAVALIN International. 53p.
- C&S COP (Climate and Society Community of Practice). 2013. Development of early warning climate information for flood and drought-prone districts in northern parts of Ghana (case studies of the Sissala East district of the Upper west region and Mamprusi West district of the Northern Region of Ghana. 25p.
- CSIR-WRI (Council for Scientific and Industrial Research - Water Research Institute). 2009. Inventory of existing water storage types, their characteristics and their distribution in the Volta basin. Unpublished report prepared for the International Water Management Institute (IWMI), Accra, Ghana.
- Dapaah-Siakwan, S.; Gyau-Boakye, P. 2000. Hydrogeologic framework and borehole yields in Ghana. *Hydrogeology Journal* 8: 405-416.
- de Condappa, D.; Chaponnière, A.; Lemoalle, J. 2009. A decision-support tool for water allocation in the Volta Basin. *Water International* 34(1): 71-87.
- Dickson, K.B.; Benneh, G. 1988. *A new geography of Ghana*. London, UK: Longman.
- Droogers, P.; Kauffman, J.H.; Dijkshoorn, J.A.; Immerzeel, W.; Huting, J.R.M. 2006. *Green water credits: Basin identification*. Green Water Credits Report 1, ISRIC Report 2006/4. Wageningen, the Netherlands: International Soil Reference and Information Centre (ISRIC).
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2010. *Global resources assessment 2010*. Country Report, Ghana. FRA 2010/077. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- FAO; IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis); ISRIC (ISRIC-World Soil Information); ISS-CAS (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences); JRC (Joint Research Centre, European Commission). 2012. Harmonized world soil database (version 1.2). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Available at <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en/> (accessed on November 17, 2015).
- FAO-UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 1974. *FAO-UNESCO soil map of the World*. Vol. I, Legend. Paris: UNESCO. 59p.
- Garané, A. 2009. *Le cadre juridique international du bassin de la Volta*. Gland, Suisse: IUCN.
- Gordon, C.; Nukpezah, D.; Tweneboah-Lawson, E.; Ofori, B.D.; Yirenya-Tawiah, D.; Pabi, O.; Ayivor, J.S.; Koranteng, S.; Darko, D.; Mensah, A.M. 2013. West Africa – Water resources vulnerability using a multidimensional approach: Case study of Volta Basin. In: *Climate vulnerability: Understanding and addressing threats to essential resources*, ed., Pielke, R.A. Sr. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier Inc., Academic Press. Pp. 283-309.
- Groen, J.; Schuchmann, J.B.; Geirnaert, W. 1988. The occurrence of high nitrate concentration in groundwater in villages in northwestern Burkina Faso. *Journal of African Earth Sciences* 7: 999-1009.
- GSS (Ghana Statistical Service). 2012. *2010 Population and housing census*. Final results.
- Gyau-Boakye, P.; Tumbulto, J.W. 2000. The Volta Lake and declining rainfall and stream flow in the Volta River Basin, *Environment, Development and Sustainability* 2(1): 1-11.
- IIED (International Institute for Environment and Development). 2014. Monitoring of natural resources governance – assessment of changes in policy and practices as a result of the multi-stakeholder Ghana Dams Dialogue – Final report. 31p.
- Johnston, R.; McCartney, M. 2010. *Inventory of water storage types in the Blue Nile and Volta river basins*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). 40p. (IWMI Working Paper 40).
- Jung, G. 2006. Regional climate change and the impact on hydrology in the Volta Basin of West Africa. PhD thesis. Available at www.glowa-volta.de (16 October 2015)
- Kasei, R.A. 2010. Modelling impacts of climate change on water resources in the Volta Basin, West Africa. *Ecology and Development Series* No. 69. 183p.

- Kasei, R.; Diekkruiger, B.; Leemhuis, C. 2010. Drought frequency in the Volta Basin of West Africa. *Sustainability Science* 5(1): 89-97.
- Kranjac-Berisavljevic, G.; Bayorbor, T.B.; Abdulai, A.S.; Obeng, F.; Blench, R.M.; Turton, C.N.; Boyd, C.; Drake, E. 1999. *Rethinking natural resource degradation in semi-arid Sub-Saharan Africa: The case of semi-arid Ghana*. Tamale, Ghana: Faculty of Agriculture, University for Development Studies; and London, UK: Overseas Development Institute (ODI).
- Key, R.M. 1992. An introduction to the crystalline basement of Africa. In: The hydrogeology of crystalline basement aquifers in Africa, ed., Wright, E.P.; Burgess, W.G. *Geological Society Special Publication* 66(1): 29-57.
- Kunstmann, H.; Jung, G. 2005. Impact of regional climate change on water availability in the Volta basin of West Africa. In: Regional hydrological impacts of climatic variability and change. *IAHS Publication* 295: 75-85.
- Lacombe, G.; McCartney, M.; Forkuor, G. 2012. Drying climate in Ghana over the period 1960-2005: Evidence from the resampling-based Mann-Kendall test at local and regional levels. *Hydrological Sciences Journal* 57(8): 1-16.
- Landmann, T.; Herty, C.; Dech, S.; Schmidt, M.; Vlek, P.L.G. 2007. Land cover change analysis within the GLOWA Volta Basin in West Africa using 30-meter Landsat data snapshots. In: *Proceedings of the Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007: IGARSS 2007, IEEE International Conference, July 31, 2007-August 4, 2007, Barcelona, Spain*. Pp. c24-c26.
- Laube, W.; van de Giesen, N. 2005. Ghanaian water law and policy: Institutional and hydrological perspectives. In: *Hydrological information in water law and policy: Current practices and future potential*, eds., Wallace, J.S.; Wouters, P.; Pazvakavambwa, S. London, UK: IWA Publishing.
- Laux, P. 2009. *Statistical modeling of precipitation for agricultural planning in the Volta Basin of West Africa*. PhD thesis, 250 p. University of Stuttgart, Germany.
- Leemhuis, C.; Jung, G.; Kasei, R.; Liebe, J. 2009. The Volta Basin water allocation system: Assessing the impact of small-scale reservoir development on the water resources of the Volta Basin, West Africa. *Advances in Geosciences* 21: 57-62.
- Lemoalle, J.; de Condappa, D. 2009. *Water atlas of the Volta Basin*. Colombo, Sri Lanka: CGIAR Challenge Program on Water and Food; Marseille, France: Institut de recherche pour le développement (IRD). 96p.
- Liebe, J.; van de Giesen, N.; Andreini, M. 2005. Estimation of small reservoir storage capacities in a semi-arid environment: A case study in the Upper East Region of Ghana *Physics and Chemistry of the Earth* 30(6-7): 448-454.
- MA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. *Millennium ecosystem assessment: Ecosystems and human well-being: Summary for decision makers*. Washington, DC, USA: Island Press.
- MacDonald, A.M.; Davies, J. 2000. A brief review of groundwater for rural water supply in sub-Saharan Africa. *British Geological Survey Technical Report* WC/00/33.
- MAHRH (Ministère de L'Agriculture de L'Hydraulique et des Ressources Halieutiques). 2003. *Action plan for integrated resources management of Burkina Faso*. Government of Burkina Faso.
- Mando, A. 1997. The impact of termites and mulch on the water balance of crusted Sahelian soil. *Soil Technology* 11: 121-138.
- Martin, N. 2006. *Development of a water balance for the Atankwidi catchment, West Africa – A case study of groundwater recharge in a semi-arid climate*. Ecology and Development Series, No. 41. Goettingen, Germany: Cuvillier Verlag. 168p.
- Martin, N.; van de Giesen, N. 2005. Spatial distribution of groundwater use and groundwater potential in the Volta River basin of Ghana and Burkina Faso. *Water International* 30(2): 239-249.
- McCartney, M.; Forkuor, G.; Sood, A.; Amisigo, B.; Hattermann, F.; Muthuwatta, L. 2012. *The water resource implications of changing climate in the Volta River Basin*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). 33p. (IWMI Research Report 146).
- MEE (Ministère de L'Environnement et de L'Eau). 1998. Politique et Strategies en matiere d'eau. Ouagadougou. 126p.
- MEE. 2001. Etat des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion, Burkina Faso. Cited in Opoku-Ankomah et al. 2006.
- Mensah, K. 1999. *Water law, water rights and water supply: Ghana*. Silsoe, UK: Department for International Development.

- MLNR (Ministry of Land and Natural Resources). 2012. *The state of the world's forest genetic resources. Country Report – Ghana*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 59p.
- MOFA (Ministry of Food and Agriculture). 2011. Policy for the development of the perennial crops sub-sector in Ghana, Final Report. 46p.
- MOFA. 2013. Ghana Commercial Agriculture Project, Resettlement Policy Framework (RPF), Final Report.
- Moniod, F.; Pouyaud, B.; Sechet, P. 1977. Le Bassin du Fleuve Volta. Monographies.
- MoP (Ministry of Power). 2015. Government regrets Dumsor. Press conference given by Minister on state of electricity power generation in Ghana on February 2, 2015. Daily Graphic February 3, 2015. Available at <http://graphic.com.gh/news/general-news/38076-full-speech-govt-regrets-dumsor-dr-donkor.html> (accessed on October 16, 2015).
- MWH (Ministry of Works and Housing). 1998a. *Water resources management study, information building block study*. Part II, Vol. 2. Volta Basin System, Groundwater Resources. Report for the Ministry of Works and Housing (MWH). Accra: Nii Consulting Ltd.
- MWH. 1998b. *Institutions and participation*. Accra: Environmental Management Associates Ltd.
- Namara, R.E.; Horowitz, L.; Nyamadi, B.; Barry, B. 2011. Irrigation development in Ghana: Past experiences, emerging opportunities, and future directions. Ghana Strategy Support Program (GSSP) Working Paper No. 0027, 43p. Accra, Ghana: International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Nicholson, S. 2005. On the question of the “recovery” of the rains in the West African Sahel. *Journal of Arid Environments* 63: 615-641.
- Obuobie, E.; Diekkrüger, B. 2008. Using SWAT to evaluate climate change impact on water resources in the White Volta River Basin, West Africa. In: *Conference on International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development, University of Hohenheim, October 7-9, 2008*.
- Obuobie, E.; Barry, B. 2010. Groundwater in sub-Saharan Africa: Implications for food security and livelihoods. Ghana country status on groundwater. Final Report.
- Obuobie, E.; Barry, B. 2012. Burkina Faso. In: Chapter 2 of *Groundwater availability and use in Sub-Saharan Africa: A review of 15 countries*, eds., Pavelic, P.; Giordano, M.; Keraita, B.; Rao, T.; Ramesh, V. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). Pp. 7-23p.
- Ofosu, E.A. 2011. *Sustainable irrigation development in the White Volta*. PhD thesis. UNESCO-IHE Institute for Water Education and Delft University of Technology. Leiden, the Netherlands: CRC Press/Balkema.
- Oguntunde, P.G. 2004. *Evapotranspiration and complementarity relations in the water balance of the Volta basin: Field measurements and GIS-based regional estimates*. Ecology and Development Series No. 22. Göttingen, Germany: Cuvillier Verlag. 169p.
- Opoku, K.; Nketiah, K.; Arthus, E. 2005. *Reconciling policy reforms with forest legislation*. Proceedings of a workshop held in Elmina, Ghana, July 4-5, 2005. Wageningen, the Netherlands: Tropenbos International.
- Opoku-Ankomah, Y. 2000. Impacts of potential climate change on river discharge. In: *Climate change vulnerability and adaptation assessment on water resources of Ghana*. Accra, Ghana: Council for Scientific and Industrial Research - Water Research Institute (CSIR-WRI).
- Opoku-Ankomah, Y.; Dembélé, Y.; Ampomah, B.Y.; Somé, L. 2006. *Hydro-political assessment of water governance from the top-down and review of literature on local level institutions and practices in the Volta Basin*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). 36p. (IWMI Working Paper 111).
- Oszwald, J. 2005. Dynamique des formations agroforestières en Côte d'Ivoire (depuis les années 1980 aux années 2000): Suivi par télédétection et développement d'une approche cartographique. PhD thesis. Université de Lille, France.
- Owusu, K.; Waylen, P.; Qiu, Y. 2008. Changing rainfall inputs in the Volta Basin: Implications for water sharing in Ghana. *GeoJournal* 71: 201-210.
- Palacky, G.J.; Ritsema, I.L.; De Jong, S.J. 1981. Electromagnetic prospecting for groundwater in Precambrian terrains in the Republic of Upper Volta. *Geophysical Prospecting* 29: 932-955.
- Petr, T. 2000. *Interactions between fish and aquatic macrophytes in inland waters: A review*. FAO Fisheries Technical Paper. No. 396. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 185p.
- Poudyal, M. 2009. Tree tenure in agroforestry parklands: Implications for the management, utilisation and ecology of Shea and Locust bean trees in northern Ghana. PhD thesis, University of York, UK.

- Ramsar. 1971. *Convention on wetlands of international importance especially as waterfowl habitat*. Available at: http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current_convention_text_e.pdf (accessed on May 21, 2015).
- Reuters. 2007. More than 130,000 hit by floods in West Africa - UN, September 1, 2007. Available at <http://www.reuters.com/article/africaCrisis/idUSL01118339> (accessed on November 15, 2014).
- Rodgers, C.; van de Giesen, N.; Laube, W.; Vlek, P.L.G.; Youkhana, E. 2007. The GLOWA Volta Project: A framework for water resources decision-making and scientific capacity building in a transnational West African basin. In: *Integrated assessment of water resources and global change*, eds., Craswell, E.; Bonnell, M.; Bossio, D.; Demuth, S.; van de Giesen, N. Pp. 295-313.
- Roudier, P.; Durcharne, A.; Feyen, L. 2014. Climate change impacts on river discharge in West Africa: A review. *Hydrology and Earth System Sciences* 18: 2789-2801.
- Sally, H.; Léville, H.; Cour, J. 2011. Local water management of small reservoirs: Lessons from two case studies in Burkina Faso. *Water Alternatives* 4(3): 365-382.
- Sandwidi, W.J.P. 2007. Groundwater potential to supply population demand within the Kompienga dam basin in Burkina Faso. PhD thesis. Ecology and Development Series, No. 54. Göttingen, Germany: Cuvillier Verlag, 160p.
- Siaw, D. 2001. *State of forest genetic resources in Ghana*. Sub-regional Workshop AO/IPGRI/ICRAF on the conservation, management, sustainable utilization and enhancement of forest genetic resources in Sahelian and North-Sudanian Africa (Ouagadougou, Burkina Faso, September 22-24, 1998). Forest Genetic Resources Working Papers, Working Paper FGR/17E. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Tsikata, D. 2006. *Living in the shadow of the large dams, long term responses of downstream and lakeside communities of Ghana's Volta River Project*. African Social Studies Series (Brill, Leiden & Boston), Leiden, the Netherlands: Brill Academic Publishers. 439p.
- UN (United Nations). 1984. *Treaties concerning the utilization of international water courses for other purposes than navigation, Africa* 56. Natural Resources/Water Series No. 13. New York, USA: United Nations.
- UNDP (United Nations Development Programme). 2000. *World energy assessment. Energy and the challenge of sustainability*. New York, USA: UNDP. 508p.
- UNDP. 2006. *Human development report 2006*. Available at <http://hdr.undp.org/sites/default/files/reports/267/hdr06-complete.pdf> (accessed on March 19, 2015).
- UNDP. 2009. *Recovery programming support for northern Ghana*. Project document. 31p. Available at http://www.undp.org/content/dam/undp/documents/projects/GHA/00057556_Ghana%20-%20Recovery%20Project%20in%20Northern%20Ghana_prodoc_Final_April21.2009.doc (October 16, 2015).
- UNDP. 2014. *Human development report 2014*. Available at <http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr14-report-en-1.pdf> (October 16, 2015).
- UNEP (United Nations Environment Programme)-GEF (Global Environment Facility) Volta Project. 2002. *Volta River Basin preliminary transboundary diagnostic analysis*. Final Report. Accra, Ghana: United Nations Environment Programme (UNEP). 137p.
- UNEP-GEF Volta Project. 2010. *Volta basin transboundary diagnostic analysis: National report Ghana*. UNEP/GEF/Volta/NR GHANA 1/2010. Accra, Ghana: United Nations Environment Programme (UNEP).
- UNEP-GEF Volta Project. 2011. *Analyse diagnostique transfrontalière du bassin versant de la Volta: Rapport thématique sur les écosystèmes du bassin*. UNEP/GEF/Volta/RR7/2011. Accra, Ghana: United Nations Environment Programme (UNEP).
- UNEP-GEF Volta Project. 2013. *Volta Basin transboundary diagnostic analysis*. UNEP/GEF/Volta/RR 4/2013. Accra, Ghana: United Nations Environment Programme (UNEP).
- UNEP-GEF Volta Project. 2014. *Volta Basin strategic action programme*. UNEP/GEF/Volta/RR. 1/2014. Accra, Ghana: United Nations Environment Programme (UNEP).
- Van de Giesen, N.; Andreini, M.; van Edig, A.; Vlek, P. 2001. Competition for water resources of the Volta Basin. In: *Regional management of water resources, proceedings of a symposium held during the sixth IAHS scientific assembly at Maastricht, the Netherlands, July 2001*. Wallingford, UK: IAHS Publication 268: 199-205.
- Venot, J.P. 2011. What commons? Rethinking participation in the sub-Saharan African water sector. Paper presented at the 13th Biennial Conference of the International Association for the Study of the Commons (IASC). Hyderabad, India, January 10-14, 2011.

- Venot, J.P.; Andreini, M.; Pinkstaff, C.B. 2011. Planning and corrupting water resources development: The case of small reservoirs in Ghana. *Water Alternatives* 4(3): 399-423.
- Venot, J.-P.; de Fraiture, C.; Nti Acheampong, E.; 2012. *Revisiting dominant notions: A review of costs, performance and institutions of small reservoirs in sub-Saharan Africa*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). 39p. (IWMI Research Report 144).
- WARM (Water Resources Management). 1998. *Water resources management study: Ghana's water resources, management challenges and opportunities*. Accra, Ghana: Ministry of Works and Housing. 78p.
- WLE (CGIAR Research Program on Water, Land and Ecosystems). 2011. *Improved natural resources management for food security and livelihoods*. 243p. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI).
- World Bank. 2011. *Burkina Faso: Disaster risk management country note*. Washington, DC, USA: World Bank. Available at <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2752> (accessed on October 16, 2015).
- World Bank. 2014. *World development indicators database*. Washington, DC: World Bank.

ANNEXES

Annexe 1. Réseaux d'irrigation existants dans le bassin de la Volta.

Nom	Sous-bassin	Couverture (ha)			Capacité de stockage (Mm³)
		Potentielle	Existante	Irriguée	
Ghana					
Golinga	Volta blanche	100	40	20	1,23
Libga	Volta blanche	40	16	16	0,76
Botanga	Volta blanche	570	570	570	25
Tono	Volta blanche	3.840	2.490	2.490	92,6
Vea	Volta blanche	1.197	852	468	17
Subinja	Volta noire	121	60	18	Rivière Subin
Afife	Basse-Volta	950	880	880	31,4
Aveyime	Basse-Volta	150	63	59	Basse-Volta
Kpando-Torkor	Basse-Volta	356	40	10	Basse-Volta
Amate	Basse-Volta	202	101	101	Lac Volta
Dedeso	Basse-Volta	400	20	20	Lac Volta
Kpong	Basse-Volta	3.028	2.786	616	Basse-Volta
Tanoso	Basse-Volta	116	64	47	0,04
Akumadan	Basse-Volta	1.000	65	40	5,2
Sata	Basse-Volta	56	34	34	Ruisseau Sata
Burkina Faso					
Bagré	Volta blanche	30.000	2.140		Barrage de Bagré
Sourou	Volta blanche	30.000	2.000		
Loumbila	Volta blanche	1.000	60		42
Savili	Volta blanche	700	42		
Tensobenenga	Volta blanche	200	100		
Yako Kanozoe	Volta blanche			5.319	75
Nangodi	Volta blanche			184	Rivière Nangodi
Nwokuy	Volta noire			3.291	Rivière Nwokuy
Noumbiel	Volta noire			230	Rivière Noumbiel
Dapola	Volta noire			1.362	Rivière Dapola
Lerinord-Seourou	Volta noire			9.646	360

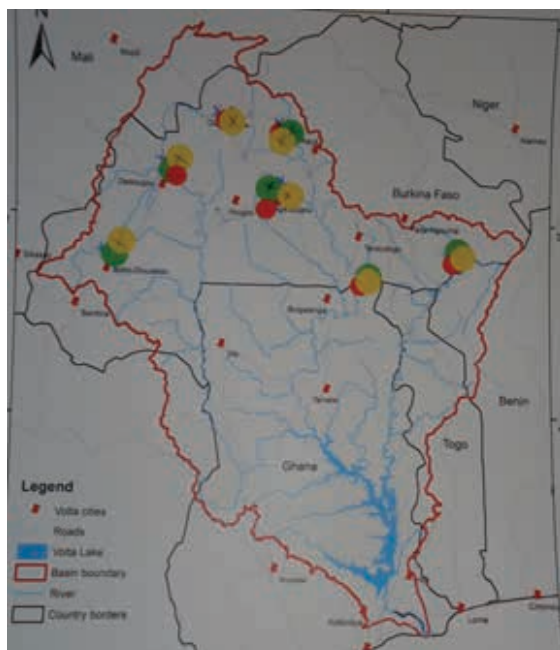
Source: McCartney et al. 2012; Namara et al. 2011; Ofosu, 2011.

Annexe 2. Projets d'irrigation dans le bassin de la Volta.

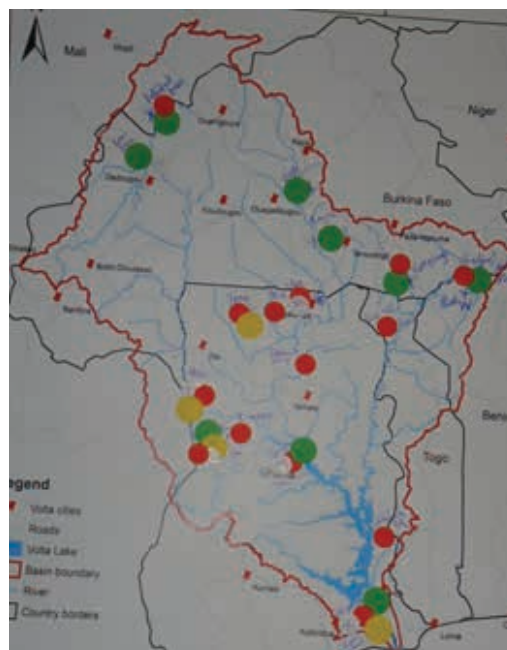
Nom	Sous-bassin	Zone de couverture potentielle (ha)	Capacité de stockage (Mm ³)
<i>Ghana</i>			
Bagri	Volta noire	100	
Duuli	Volta noire	150	
Gbari	Volta noire	100	
Bui	Volta noire	30.000	12.570
Asantekwaa	Basse-Volta	200	
New Longoro	Basse-Volta	200	
Buipe	Volta blanche	200	Volta blanche
Yapei	Volta noire	200	Volta noire
Pwalugu	Volta blanche	-	Volta blanche
Dipala	Volta blanche	100	
Sogo	Volta blanche	100	
Tiego Yarigu	Volta blanche	200	
Sambolekuliga	Volta blanche	200	
Daboya	Volta blanche	50	
Plaines d'Accra (y compris Kpong)	Basse-Volta	11.000	Basse-Volta
<i>Burkina Faso</i>			
Noumbiel	Volta noire	7.800	11.300
Samendeni	Volta noire	5.000	610
<i>Togo</i>			
Namiele	Oti	1.250	
Wakuti	Oti	1.350	

Source: McCartney et al. 2012.

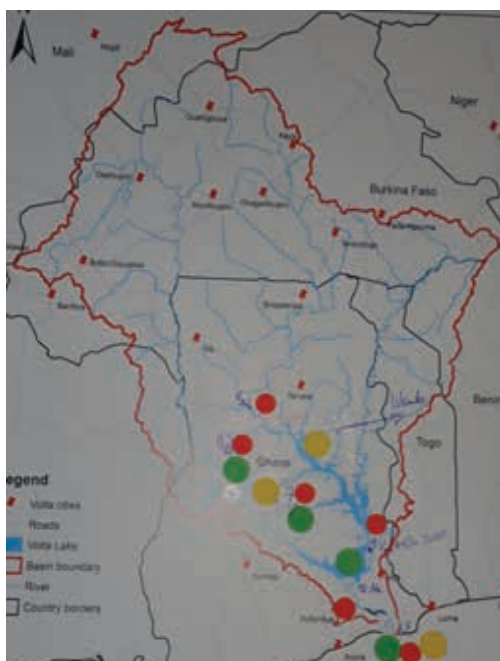
Annexe 3. Cartes des services écosystémiques produites par les huit groupes.



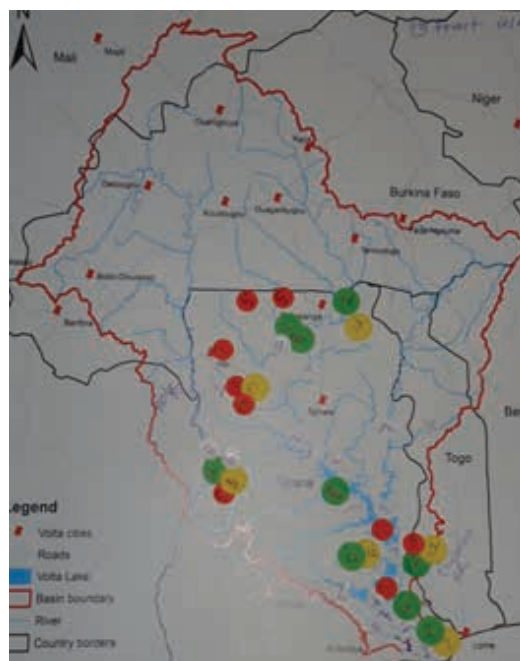
Ouedraogo A. Vincent - DGRE
Sawadogo Hawa - GCBF
Compaore Emmanuel - INERA
Konditamde P. Yolande – APIPAC



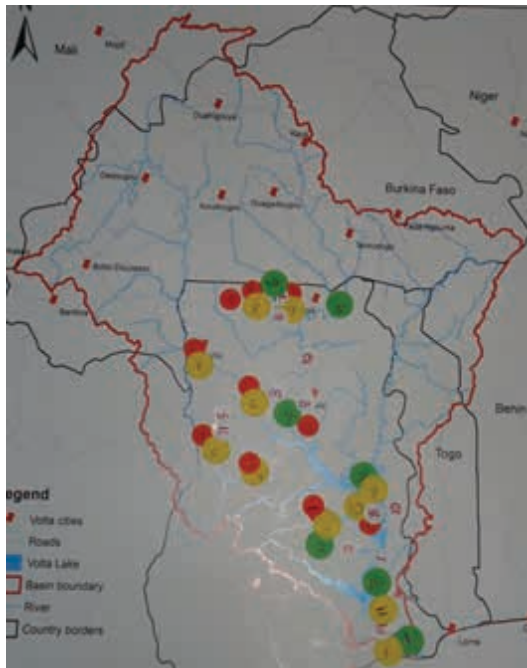
Tumbulto Jacob - ABV
Richard Twum Barimah – Ghana Dams Dialogue
(Dialogue sur les barrages, Ghana)
Michael Appiah-Arthur – Minerals Commission
(Commission des minéraux)



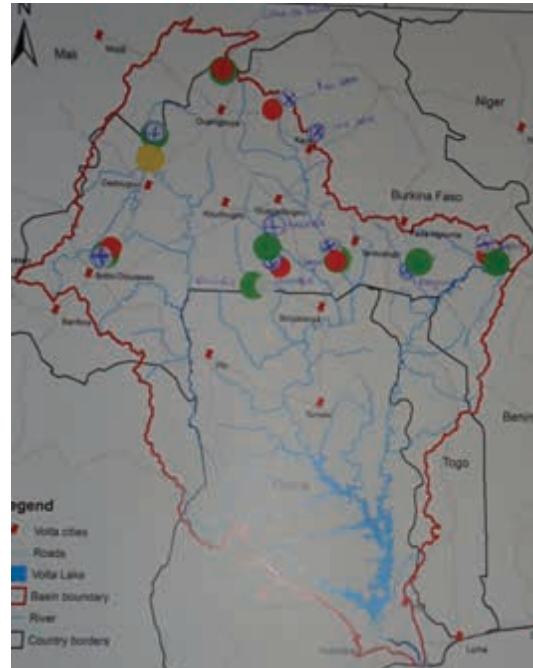
Kwame Awuah- NDPC
Nancy Akwen – RIPS-UG
Samuel Adoboe – GIZ



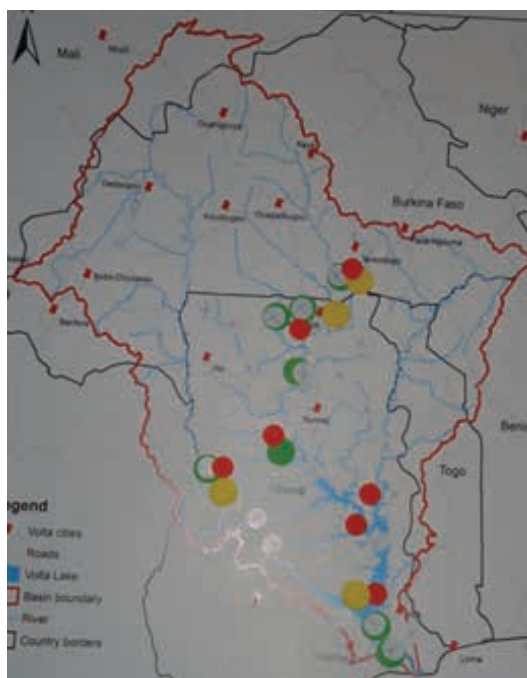
Eliane T. Lawson – IESS - UG
Ayilari-NaaJuati - GMet
Emmanuel Tabie Obeng - EPA
Jewel Kudjawu – EPA



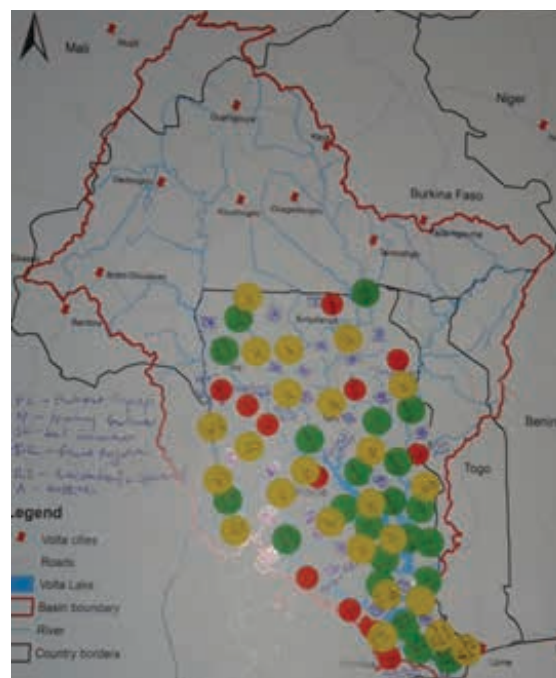
Felix Addo - Yobo - NDPC
Jonos Quartey – CAW UG
Samuel Kofi Nyame – UICN – Ghana



Millogo Founeme – Sonabel - BF
Kabore Colette – DGRH- BF
KY-Zerbo Alain – PANA - BF



Evans Y. Balaara - GWCL
Gyimah Mohammed - MESTI
Francis D. Ohemeng - GIDA
Zachary A. Gbireh - GIDA
Ahunu Eric - HSD
Benjamin Arthur - CONIWAS



Seth Mahu MoEN (Ministère de l'environnement)
Diana Gakpetor - ABANTU
Ama Kudom -Agyemang - KlamateAware
Emmanuel Bekoe - WRI

Documents de travail de l'IWMI

- 166 *Évaluation des ressources en eau du bassin de la Volta*. Marloes Mul, Emmanuel Obuobie, Richard Appoh, Kwabena Kankam-Yeboah, Emmanuel Bekoe-Obeng, Barnabas Amisigo, Frederick Yaw Logah, Benjamin Ghansah and Matthew McCartney. 2015. (Existe aussi en version anglaise).
- 165 *Baseline Review and Ecosystem Services Assessment of the Tana River Basin, Kenya*. Tracy Baker, Jeremiah Kiptala, Lydia Olaka, Naomi Oates, Asghar Hussain and Matthew McCartney. 2015.
- 164 *Consumer Perceptions of Fruit and Vegetable Quality: Certification and Other Options for Safeguarding Public Health in West Africa*. Bernard Keraita and Pay Drechsel. 2015.
- 163 *Characteristics of Urban and Peri-urban Agriculture in West Africa: Results of an Exploratory Survey Conducted in Tamale (Ghana) and Ouagadougou (Burkina Faso)*. Imogen Bellwood-Howard, Volker Häring, Hanna Karg, Regina Roessler, Johannes Schlesinger and Martina Shakya. 2015.
- 162 *Review Paper on 'Garden Kits' in Africa: Lessons Learned and the Potential of Improved Water Management*. Douglas J. Merrey and Simon Langan. 2014.
- 161 *Extent of Arsenic Contamination and Its Impact on the Food Chain and Human Health in the Eastern Ganges Basin: A Review*. N. Rajmohan and S. A. Prathapar. 2014.
- 160 *Revitalizing Canal Irrigation: Towards Improving Cost Recovery*. Ravinder P. S. Malik, S. A. Prathapar and Madhavi Marwah. 2014.
- 159 *A Framework to Understand Gender and Structural Vulnerability to Climate Change in the Ganges River Basin: Lessons from Bangladesh, India and Nepal*. Fraser Sugden, Sanjiv de Silva, Floriane Clement, Niki Maskey-Amatya, Vidya Ramesh, Anil Philip and Luna Bharati. 2014.
- 158 *Review of Literature on Chronic Kidney Disease of Unknown Etiology (CKDu) in Sri Lanka*. Andrew Noble, Priyanie Amerasinghe, Herath Manthrithilake and Sutharsiny Arasalingam. 2014.
- 157 *Hydrogeology of the Eastern Ganges Basin: An Overview*. N. Rajmohan and S. A. Prathapar. 2013.
- 156 *Évaluation rapide de la disponibilité en eau et des technologies appropriées pour la petite agriculture: directives pour les acteurs de terrain*. Andrew Keller, Elizabeth Weight and Stuart Taylor. 2013. (Existe aussi en version anglaise).

L'IWMI offre un accès libre à toutes ses publications.

Consulter

www.iwmi.org/publications/index.aspx

Adresse postale

P O Box 2075
Colombo
Sri Lanka

Adresse physique

127 Sunil Mawatha
Pelawatta
Battaramulla
Sri Lanka

Téléphone

+94-11-2880000

Télécopie

+94-11-2786854

Courriel

iwmi@cgiar.org

Site web

www.iwmi.org