

Les systèmes hydriques se trouvent de l'échelle locale à l'échelle mondiale et sont en fin de compte tous liés. Bien qu'il soit important de comprendre ces liens à toutes les échelles, il est souvent plus utile d'examiner l'eau de surface à l'échelle du bassin. Les bassins hydrologiques sont une unité de gestion importante pour la plupart des services des écosystèmes dont les humains et les systèmes naturels dépendent. L'eau de surface coule au travers de plusieurs bassins et les sous-bassins unissent des zones en fournissant des sources d'eau communes, des habitats aquatiques, des réseaux de transport, de l'eau de qualité, un potentiel hydroélectrique et d'autres biens et services partagés. Ceci est le fruit de la création de nombreuses organisations multinationales de gestion des bassins à travers le monde, avec plusieurs exemples notables en Afrique. Le continent possède également de nombreux systèmes aquifères transfrontaliers, au sujet desquels très peu est connu. Alors que leurs connections sont moins évidentes que celles des fleuves et des bassins lacustres, la gestion de ces systèmes aquifères est tout aussi bien assurée par une gestion à l'échelle du bassin, et comme pour les bassins d'eau de surface, la création émergente d'organisations multi-nationales de gestion de bassin d'eau souterraine témoigne de cette réalité.

Nombreux sont les individus en Afrique qui vivent dans les zones rurales et qui dépendent fortement de l'agriculture pour vivre. Ceci fait de l'eau une denrée économique et sociale particulièrement vitale. Parallèlement à l'accroissement de la population, l'extrême variabilité des précipitations dans les paysages d'Afrique—du Nord et Sud arides à la ceinture des forêts tropicales, représentent un défi pour l'approvisionnement en eau potable et en assainissement, pour des millions d'individus. Par conséquent, la gestion des ressources hydriques transfrontalières requiert un environnement favorable et encourageant la coopération à plusieurs niveaux. Un volet important de cet environnement

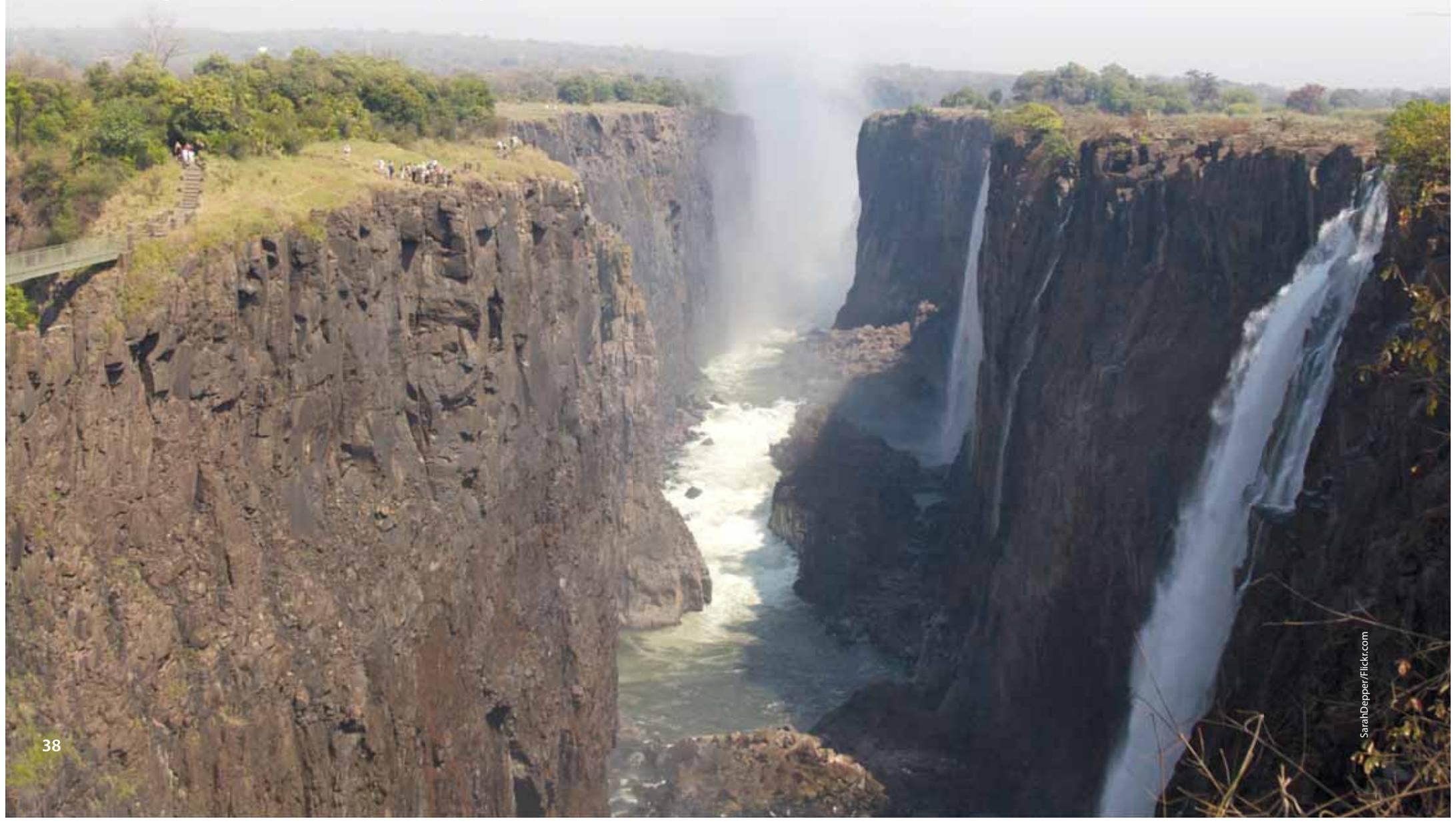
favorable est la disponibilité d'informations adéquates sur l'eau de surface et souterraine, auxquelles les décideurs peuvent se fier pour prendre des décisions de gestion informées. Les données sur les ressources hydriques en Afrique demeurent incomplètes et incohérentes, surtout en ce qui concerne les ressources souterraines. Se baser sur des données détaillées, cohérentes, précises et disponibles est un des défis principaux auquel le futur de l'eau en Afrique fait face. L'émergence d'organisations oeuvrant pour de nombreux grands bassins transfrontaliers pourrait être une opportunité pour entamer la construction d'une telle base.

Bassins Transfrontaliers d'Eau de Surface

Il existe 263 bassins hydriques transfrontaliers au monde, lesquels peuvent être définis comme des bassins partagés par deux ou plusieurs États riverains. Environ 60 pour cent de la population mondiale dépend de ces systèmes hydriques internationaux (UNU 2006). Les bassins fluviaux transfrontaliers sont également importants de par la complexité des écosystèmes naturels qu'ils soutiennent. L'augmentation potentielle des conflits au sujet des ressources hydriques partagées, de même que les effets du changement climatique représentent des menaces sociales, économiques et environnementales significatives. De plus, les réserves hydriques

inappropriées ou malsaines, représentent un danger croissant pour la santé humaine (UNEP 2006a).

Les 63 bassins fluviaux transfrontaliers d'Afrique couvrent environ 64 pour cent de la surface terrestre du continent et contiennent 93 pour cent de ses ressources totales en eau de surface (Figure 2.1). Ils sont aussi le foyer de 77 pour cent de la population du continent. Le bassin du Nil est le plus peuplé d'Afrique, avec plus de 220 millions d'individus—presque un quart de la population totale (SEDAC 2010). Quinze lacs principaux et 24 principaux bassins versants traversent ou empiètent les frontières politiques de



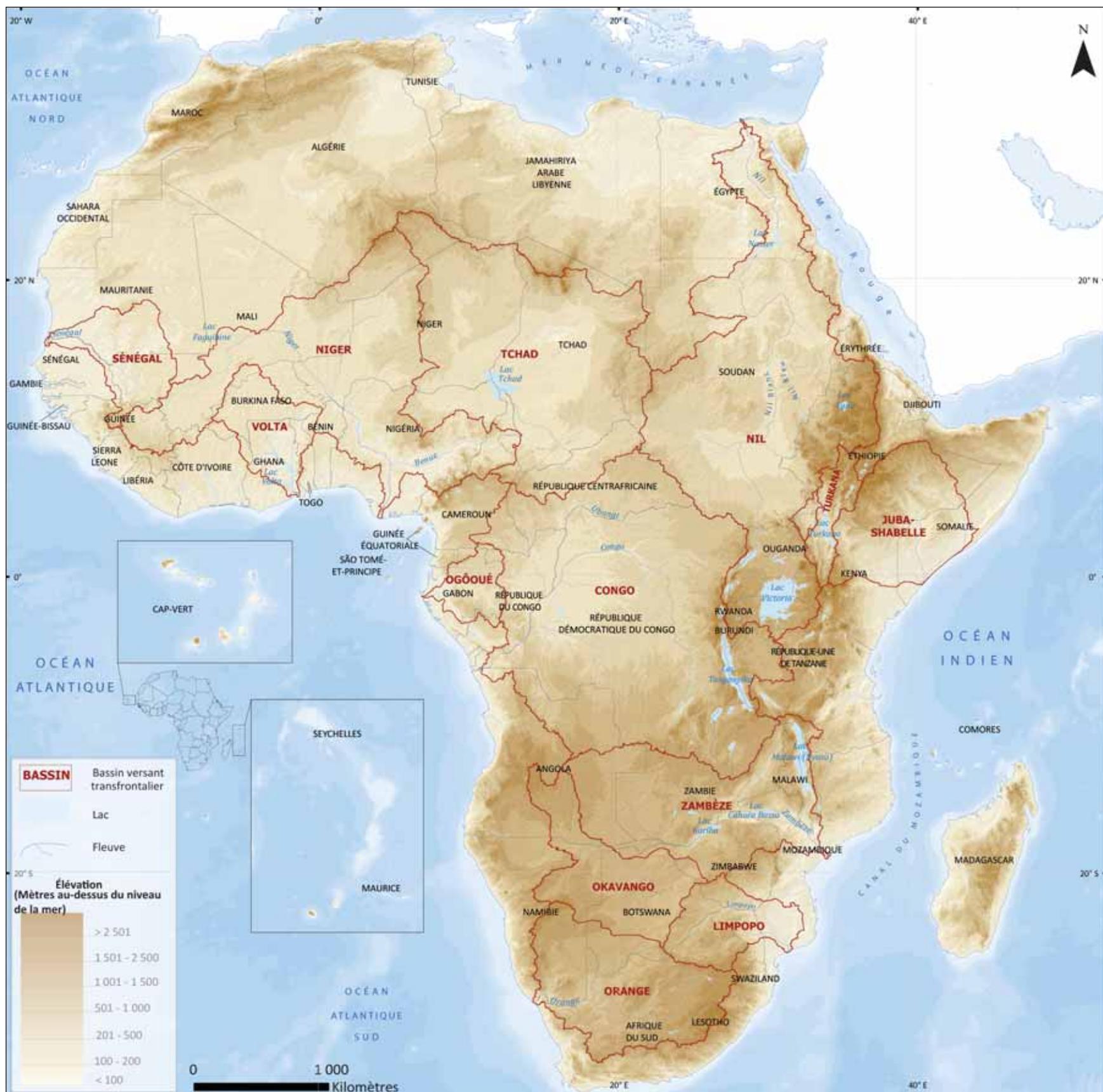


Figure 2.1 : Les bassins fluviaux transfrontaliers importants d'Afrique

deux ou plusieurs pays en Afrique (UNEP 2006b). Les zones de captage des 17 plus grands fleuves et bassins lacustres du continent dépassent 100 000 km² en surface et sont donc classés en tant que « grands bassins » (UNU 2006).

La complexité des interactions physiques, politiques et humaines au sein des bassins hydriques transfrontaliers peut rendre la gestion équitable des risques, coûts et bénéfices y afférents, particulièrement difficile. Bien souvent, les ressources ne sont pas également réparties par zone ou parmi la population. Ceci place souvent les zones ou nations en amont en position avantagée par rapport à leurs voisines en aval. Des exemples de ceci peuvent être vus dans le bassin du Niger, de Juba-Shabelle, de l'Okavango et autres. Le degré et type de dépendance envers les ressources communes

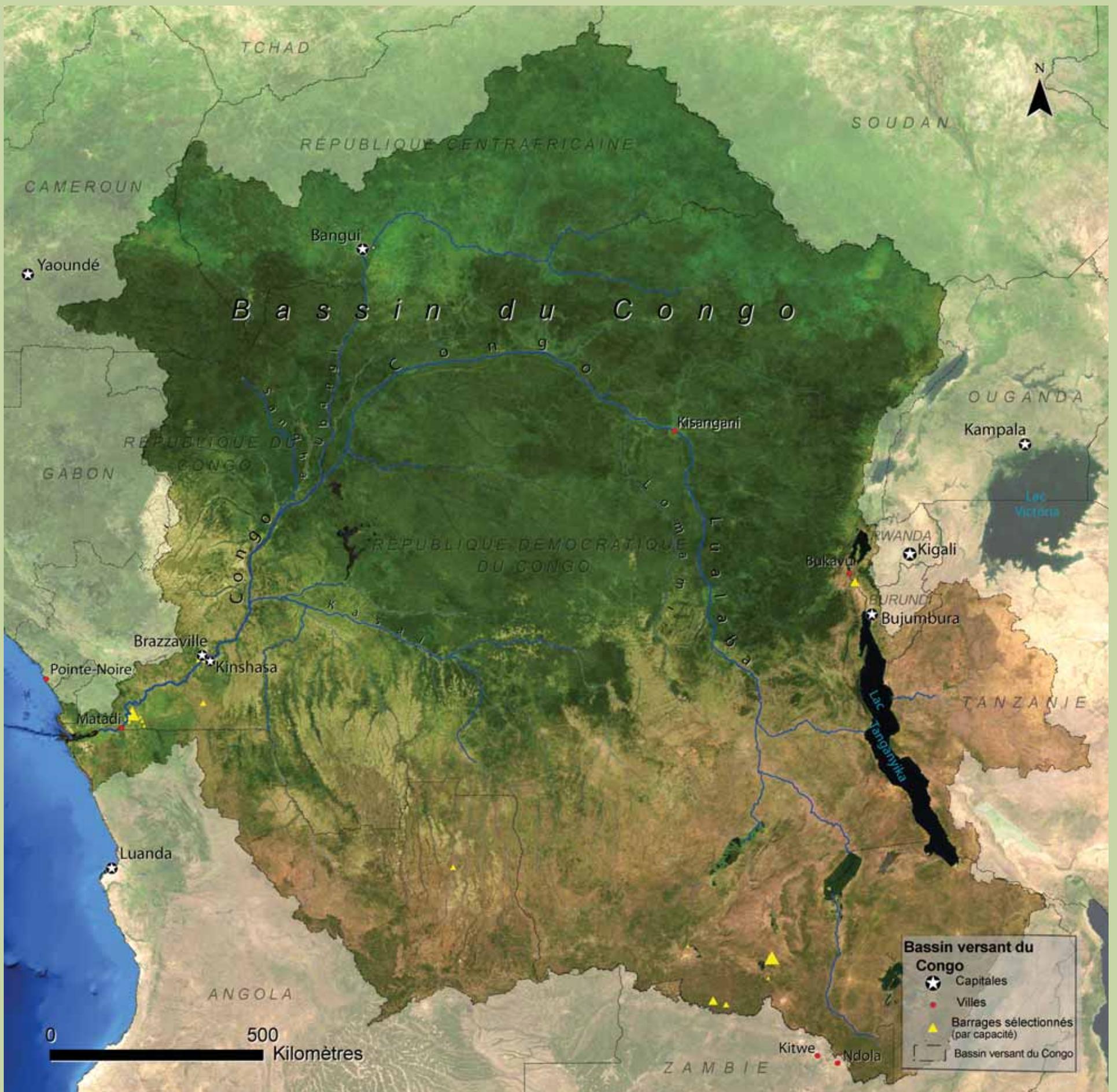
peuvent également varier considérablement au sein d'un bassin. Sur le Nil, par exemple, l'Ouganda dépend fortement du fleuve pour l'hydroélectricité et le gère en conséquence ; en aval, l'Égypte compte plutôt sur l'eau du Nil à des fins agricoles.

Les principaux bassins transfrontaliers d'Afrique posent une variété de défis et offrent des opportunités aux individus et pays qui les partagent. Chaque bassin diffère de plusieurs manières des autres, mais tous partagent néanmoins des attributs communs. Les profils échelle-bassin suivants présentent une partie de cette diversité et ses aspects communs, à travers des éléments de mesures communes, telles que la population et les précipitations, et illustrent certains des défis et opportunités liés à la gestion, à travers des études de cas spécifiques au sein des bassins.

Bassin Fluvial du Congo



Le Bassin du Congo est une vaste dépression de 3 700 000 km², s'étendant sur presque 2 000 km du nord au sud de l'est vers ouest. Il chevauche l'Équateur, rassemblant d'intenses précipitations qui retombent sur les forêts tropicales humides couvrant la majeure partie de sa superficie.



Le fleuve Congo coule sur 4 670 km en arc dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, autour de l'est et du nord de la République Démocratique du Congo, pour finalement se tourner vers l'Est en direction de l'Océan Atlantique, dans lequel il déverse 40 000 m³ d'eau par seconde (Laraque et al. 2001). Son volume équivaut à 32 pour cent des ressources renouvelables totales en eau d'Afrique. On pense qu'il est le fleuve le plus profond au monde, des mesures récentes montrant un point plus profond que 200 m (USGS 2009). Le fleuve et ses affluents sont une caractéristique prédominante dans les systèmes naturels du bassin et dans les modes de vie de sa population.

Les systèmes du Bassin fluvial du Congo représentent d'importantes ressources pour le transport et la production d'énergie. Ils abritent des industries de pêche productives et offrent un potentiel pour l'irrigation ; ils sont cependant largement perçus comme étant sous-développés et mal gérés. Une mise en valeur durable du vaste potentiel du bassin requerra une coopération transfrontalière efficace entre les onze pays chevauchant le bassin fluvial du Congo. Quatre des pays (la République Centrafricaine, le Cameroun, la République Démocratique du Congo et la République du Congo) coopèrent déjà à travers la Commission Internationale du bassin Congo-Oubangui-Sangha (CICOS), pour développer davantage le potentiel du bassin. Une des clés du succès pour parvenir à son objectif d'utilisation durable réussie sera d'améliorer la collecte, le traitement et la gestion des données, pour fournir une base scientifique à la prise de décision.

Population

Environ cent millions de personnes vivent dans le bassin du Congo, trois quarts d'entre eux vivant en République Démocratique du Congo (RDC) (SEDAC 2010) (Figure 2.2.1). Les régions les plus densément peuplées du bassin se trouvent le long de la frontière entre la RDC, le Burundi et le Rwanda, sur le flanc Est du bassin et dans la zone entre Kinshasa et Mbuji-Mayi. La densité de population du Rwanda au sein du bassin est d'environ 400 habitants au km² et celle du Burundi est juste au-dessus de 300 habitants au km². Environ sept millions de tanzaniens vivent dans le bassin, sur environ cinq pour cent de la superficie terrestre du bassin. L'Angola, la République Centrafricaine et le Congo représentent entre sept et dix pour cent de la superficie du bassin, bien que tous aient des populations éparses dans leurs zones au sein du bassin, variant entre huit et onze habitants au km².

Précipitations

Avec environ 1 100 mm/an, la partie tanzanienne du bassin a la moyenne annuelle de précipitations la plus faible de tous les pays du bassin. Le Congo a la plus élevée avec presque 1 700 mm/an. Certaines parties de la République du Congo et de la RDC reçoivent une moyenne de plus de 2 000 mm/an (Figure 2.2.2). Du fait de sa grande superficie et de ses précipitations abondantes, la RDC reçoit environ deux tiers de toute la pluie du bassin et contribue à environ la même proportion de l'écoulement total du bassin

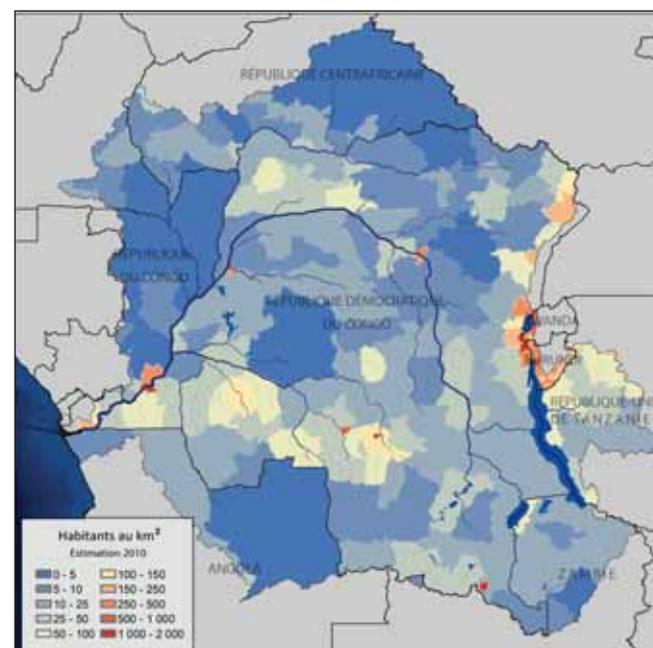


Figure 2.2.1 : Densité de population dans le bassin du Congo, 2010

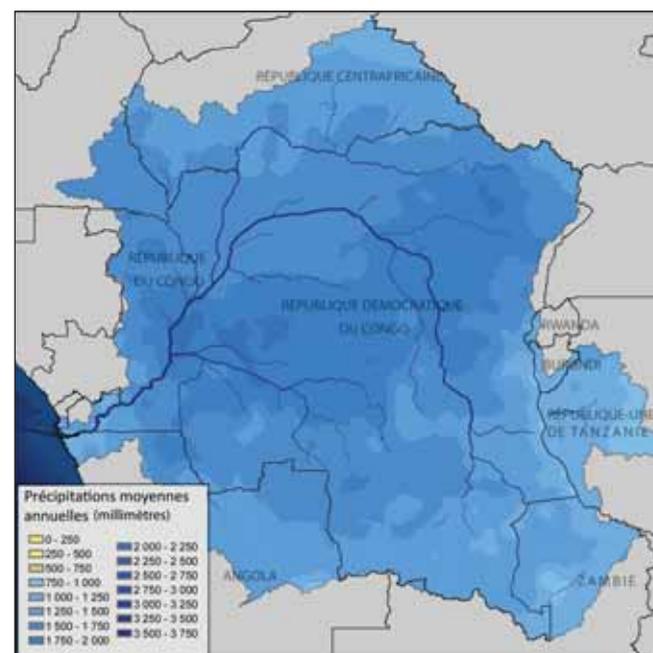


Figure 2.2.2 : Précipitation moyennes annuelles dans le bassin du Congo

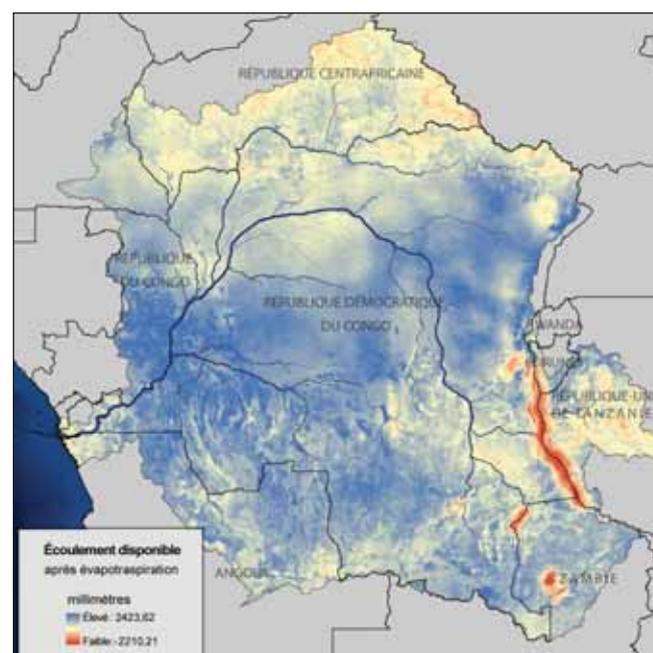


Figure 2.2.3 : Écoulement disponible modélisé dans le bassin du Congo

(Figure 2.2.3). Les précipitations sont saisonnières dans certaines parties du bassin, bien que la taille de ce dernier garantisse que des pluies abondantes tombent toujours sur une partie du bassin versant. À l'embouchure du fleuve, ces variations sont établies en moyenne pour produire un flux régulier, avec des petits pics en novembre et en mai (Laraque et al. 2001, Dai et Trenberth 2002).

Transport

Plus de 1 000 km du fleuve Congo sont navigables par de larges vaisseaux commerciaux (UNEP 2008). La majeure partie des activités économiques du bassin repose sur ces voies d'eau pour le transport de bois, de produits agricoles, de pétrole et de minéraux. Les trois voies principales convergent à Kinshasa de Kisangani, Bangui (sur l'Oubangui) et Ilebo (sur le Kasai) (Figure 2.2.4). L'absence de routes dans plusieurs parties du bassin rend ces voies d'eau cruciales pour le transport et la communication. Des problèmes de bas niveaux d'eau, en particulier sur l'Oubangui, ont davantage interrompus la navigation depuis les années soixante-dix (Ndala 2009). Ceci est cohérent avec les tendances des précipitations durant la même période, lesquelles montrent une diminution de la moyenne annuelle entre 1970 et 2000 (NASA 2010) (Figure 2.2.5). Ironiquement, une des réponses proposées est un transfert interbassin de l'eau, du bassin du Congo au bassin du lac Tchad. Les proposants de ce projet citent « la navigabilité permanente du fleuve Oubangui » comme l'un des bénéfices apportés par un projet qui inclurait un barrage sur l'Oubangui (près de Palambo, République Centrafricaine). Il est attendu de ce barrage qu'il équilibre le flux du fleuve, et réduirait le nombre de jours de niveau d'eau trop faible pour permettre aux vaisseaux de naviguer (Musa 2008).

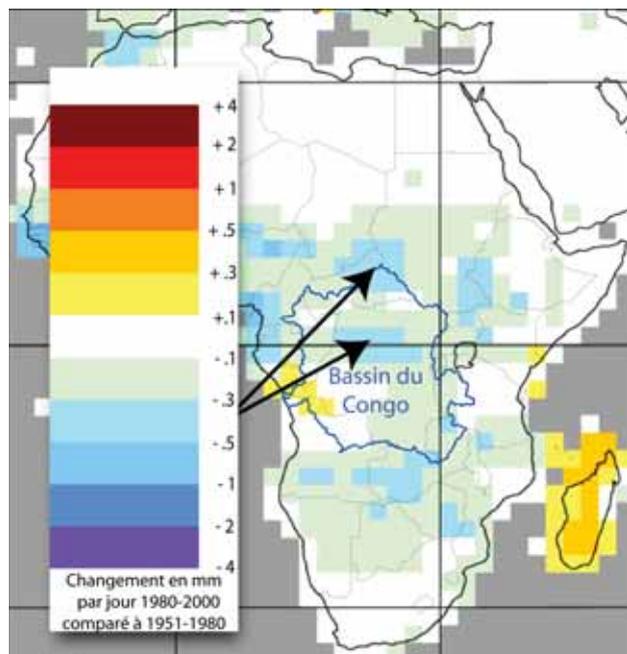


Figure 2.2.5 : Les données sur les précipitations provenant de l'Institut Goddard pour les Études Spatiales de la NASA montrent une diminution des précipitations sur certaines parties du bassin du Congo entre 1951 et 1980, comparée à la période 1980-2000

Industrie de la pêche

Le fleuve Congo abrite presque 800 espèces de poissons, plusieurs étant endémiques au fleuve, y compris le poisson salamandre exotique et le poisson éléphant (National Geographic 2010). Les 33 000 km de ruisseaux du système de pêcheries du fleuve Congo fournissent des protéines de haute qualité à des millions d'individus (Upper Congo Fishes Project sans date). Pour la plupart, c'est également une source de revenus (Bene et al. 2009). Les méthodes traditionnelles de pêche sont généralement utilisées, y compris les filets maillants, sennes, lignes à main et les barques non-motorisées. Cependant, l'utilisation d'une technique d'empoisonnement faisant usage de plantes toxiques, ainsi que la pêche à la dynamite ont été également rapportées (FAO 2001, Kashema 2006).



Figure 2.2.4 : L'absence de routes dans plusieurs régions du bassin du Congo rend le transport sur les voies d'eau navigables du fleuve crucial pour l'activité économique

Qualité de l'Eau

La qualité de l'eau est une préoccupation dans certaines villes longeant le fleuve, de même que le long de certaines parties du fleuve navigable, et sur la côte où se trouvent des infrastructures de raffinement de pétrole. Une partie de cette pollution est liée aux activités de transport et aux infrastructures industrielles (FAO sans date). En République Démocratique du Congo, les études d'impact environnemental ne sont pas requises pour les activités autres que l'exploitation minière. La loi de la RDC requiert une Etude d'Impact Environnemental, un Plan de Mitigation et de Réhabilitation et un Plan de Gestion Environnementale pour les activités minières (SADC 2007) ; néanmoins, des rapports de la Banque Mondiale rapportent que « les impacts environnementaux des opérations minières en RDC sont considérables et s'aggravent » (World Bank 2008). La province de Katanga est la zone des sources du fleuve Congo, et également l'endroit où une grande partie du cuivre et du cobalt sont extraits. La plupart des zones minières en RDC ont des connections hydrologiques avec le fleuve Congo (Kirongozi 2008). Les préoccupations sur la qualité de l'eau associée aux mines de cuivre incluent la diffusion de produits chimiques de traitement, de métaux lourds et d'acides provenant de résidus, de même que l'érosion et la sédimentation causées par les perturbations du sol et des rochers, lesquelles sont causées par l'exploitation minière et les infrastructures qui y sont associées.

Agriculture

Les infrastructures de transport représentent un facteur limitant plus important que l'eau pour le développement de l'agriculture dans le bassin du Congo ; néanmoins, la proportion de terre irriguée au sein du bassin n'est qu'une infime fraction du potentiel total d'irrigation, vu la disponibilité en eau (FAO 1997). Le potentiel pour la culture étendue de riz dans les bas-fonds au sein du bassin est significatif, mais limité, entre autres, par le peu d'infrastructures d'irrigation et le manque d'entretien (FAO 2002).

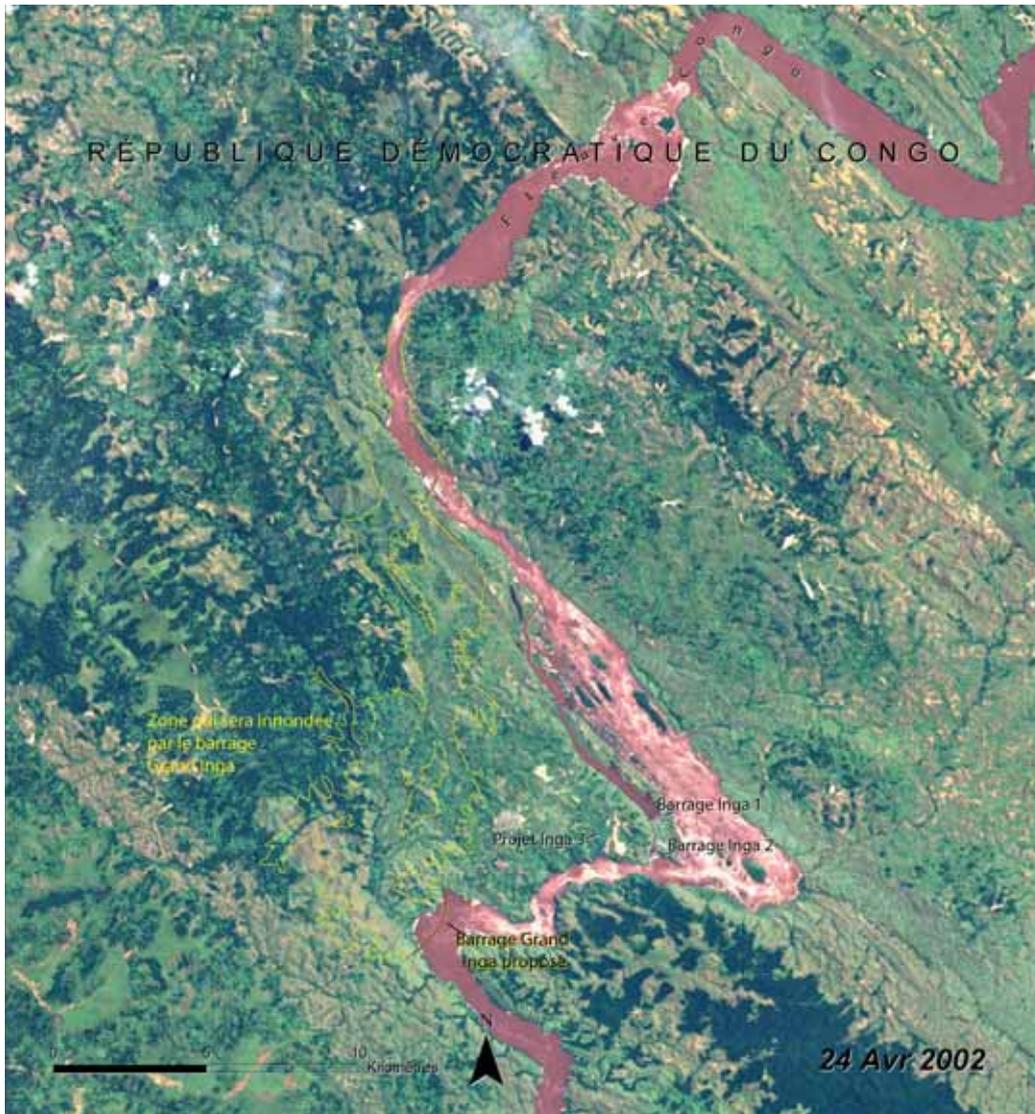


Figure 2.2.6 : Le réservoir du barrage proposé de Grand Inga submergerait environ 55 km² de terres si le projet venait à voir le jour comme prévu

Figure 2.2.7 : Système de transmission proposé (Source : IR 2008)



Barrage d'Inga et le Projet Grand Inga

L'intérêt pour le développement de l'énergie hydroélectrique aux Chutes Inga en République Démocratique du Congo, date du début du XXI^{ème} siècle, lorsque que le fort potentiel pour la production d'électricité a été reconnu pour la première fois (Showers 2009). Le potentiel est créé par une chute de 102 m dans le lit du fleuve, le long de 15 km seulement de sa longueur. Le barrage d'Inga (accrédité en 1972) et le barrage d'Inga 2 (accrédité en 1983) ont matérialisé une partie de ce potentiel mais se sont délabrés au fil des ans. Un projet pour réhabiliter Inga 1 et 2 est en cours, pour un coût supérieur à US\$500 millions (IR sans date a).

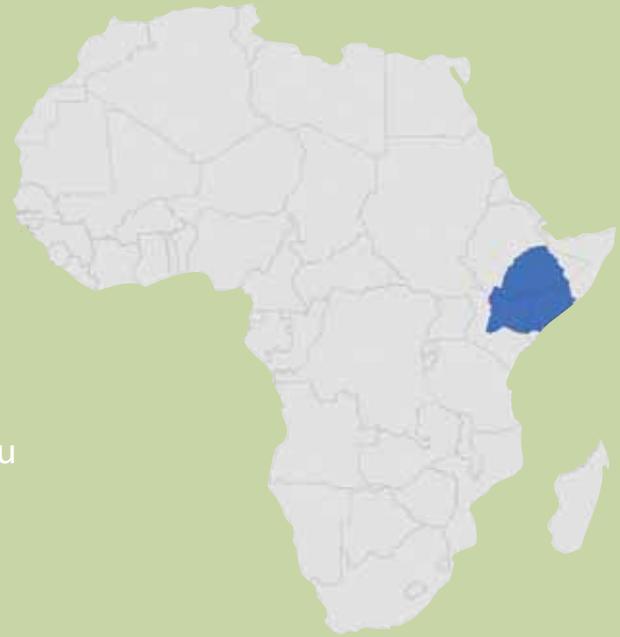
Il existe d'autres plans de développement sur le site des Chutes Inga (Figure 2.2.6). Inga 3 extrairait de l'eau du réservoir utilisé par les barrages d'Inga 1 et 2 à travers huit tunnels de 6770 m, chaque tunnel alimentant deux turbines hydroélectriques (IR sans date b). Le coût probable de cette phase est de US\$5 000 millions. Inga 3, en revanche, serait réduit en coût et en ampleur si le barrage de Grand Inga proposé, et l'infrastructure y afférente sont construits à un coût estimé à US\$50 000 millions (IR sans date c). Le Grand Inga produirait 44 000 MW d'électricité, suffisants pour alimenter le continent africain tout entier.

La valeur de l'énergie peu coûteuse pour le développement est indéniable. Cependant, alors que le projet Inga 3 est éligible pour les crédits de compensation de carbone dans le cadre du Protocole de Kyoto (selon certaines personnes impliquées dans le projet), et que l'hydroélectricité est relativement « verte » d'un point de vue environnemental, les projets Inga et celui du Grand Inga en particulier, ne sont pas dépourvus de questions non-résolues, relatives à leur impact environnemental et à leur durabilité (Showers 2009, Counter Balance 2009). Des études environnementales ainsi que des études de faisabilité sérieuses et approfondies pour Inga 3 et Grand Inga seront nécessaires, pour éviter les conséquences négatives non-intentionnelles qui ont frappé d'autres projets de grands barrages en Afrique (Davies et al. 2000, DeGeorges et Reilly 2006).

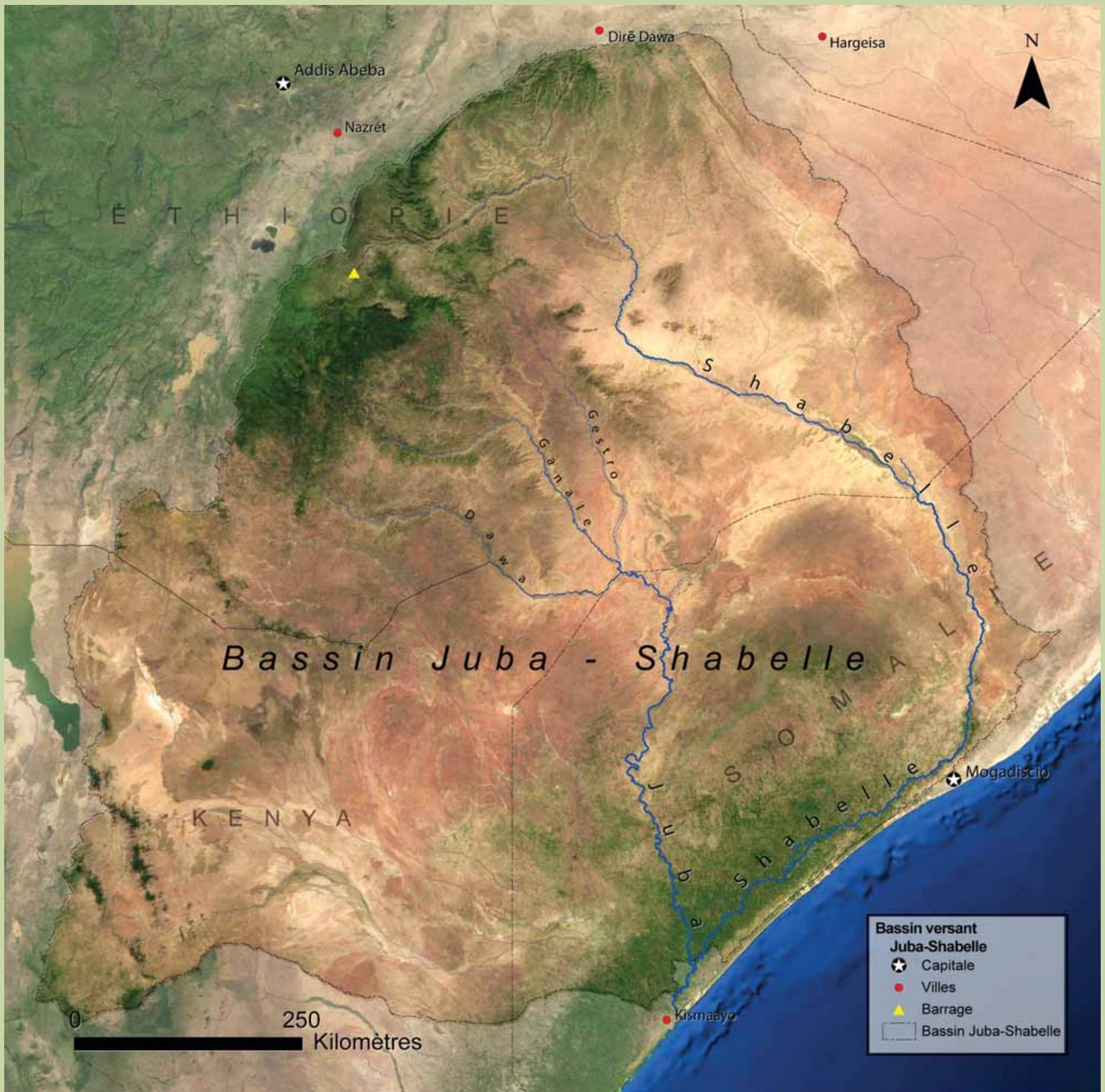
Un des aspects controversés du projet est le système de transmission proposé, lequel fournirait de l'énergie à de nombreux pays aux pays d'accueil sur le continent, et éventuellement en Europe (EIA 2002) (Figure 2.2.7). Les critiques ont ouvertement exprimé leurs préoccupations au sujet de l'empreinte environnementale de la ligne de transmission, et souligné que malgré son coût projeté de US\$40 000 millions, le projet ne fournira pas d'électricité à la majorité des populations locales qui sont déjà exclues du réseau électrique actuel (IR sans date a).

Bassin

Juba-Shabelle



Les fleuves Juba et Shabelle ont pour source la portion sud-est des Hauts-Plateaux éthiopiens, élevés à plus de 3 000 m au-dessus du niveau de la mer. Le Juba a une zone de captage plus petite, mais reçoit des pluies plus abondantes, et est caractérisé par des écoulements plus élevés près de ses sources.



La plupart du temps, le débit Shabelle se termine par des zones humides, en amont de sa confluence avec le Juba

Les deux fleuves perdent de leur déversement en aval, du fait d'une insuffisance de pluie dans les zones en aval, d'une forte évaporation, d'infiltrations et de retraits significatifs (Thiemig 2009). La plupart du temps, le débit du Shabelle se termine dans des zones humides, en amont de sa confluence avec le Juba (FAO 2000).

Précipitations

Il existe deux saisons de pluies dans le bassin ; les saisons sèches sont moins prononcées dans les hauteurs de l'Éthiopie que dans les zones basses à travers le reste du bassin. Les premières pluies tombent d'avril à juin, fournissant environ 60 pour cent des précipitations annuelles. Les pluies moindres d'octobre et novembre contribuent à environ un quart des précipitations annuelles (Artan et al. 2007). Les précipitations annuelles totales dans certaines zones des sources de Juba dépassent 1 400 mm. La majeure partie restante du bassin est aride ou semi-aride : la partie à faible altitude reçoit moins de 500 mm de pluie par an, d'autres parties reçoivent aussi peu que 200 mm (Figure 2.3.1, Figure 2.3.2). Les températures élevées et les précipitations limitées réduisent davantage la contribution de la plupart du bassin au Système Fluvial de Shabelle-Juba. L'Éthiopie contribue en grande partie au flux des deux fleuves, le Kenya a peu d'influence et la partie somalienne du bassin a un impact net négatif sur le budget hydrique des deux fleuves.

L'agriculture est de loin la plus grande utilisatrice d'eau dans la plupart des zones en aval, mais celle-ci dépend essentiellement de l'eau de surface (FAO 2005). Les précipitations varient brutalement d'une année à l'autre à travers le bassin, causant des sécheresses sévères tous les sept à dix ans (FAO 2005). Ceci est catastrophique pour l'agriculture pluviale, laquelle a augmenté en Somalie au cours des récentes décennies, alors que les infrastructures d'irrigation se sont délabrées ou ont été détruites (FAO 2005). La forte dépendance de la Somalie envers les fleuves Juba et Shabelle fait de la mise en valeur de l'eau en Éthiopie (à travers le barrage de Melka Wak sur le Shabelle par exemple) une grande préoccupation pour la Somalie.

Population

Environ 13 des 20 millions d'individus du bassin vivent dans sa partie éthiopienne. Le quart kenyan du bassin a une population d'environ 2,5 millions. La partie somalienne du bassin a une population estimée entre 3,5 et 5,5 millions (Figure 2.3.3).

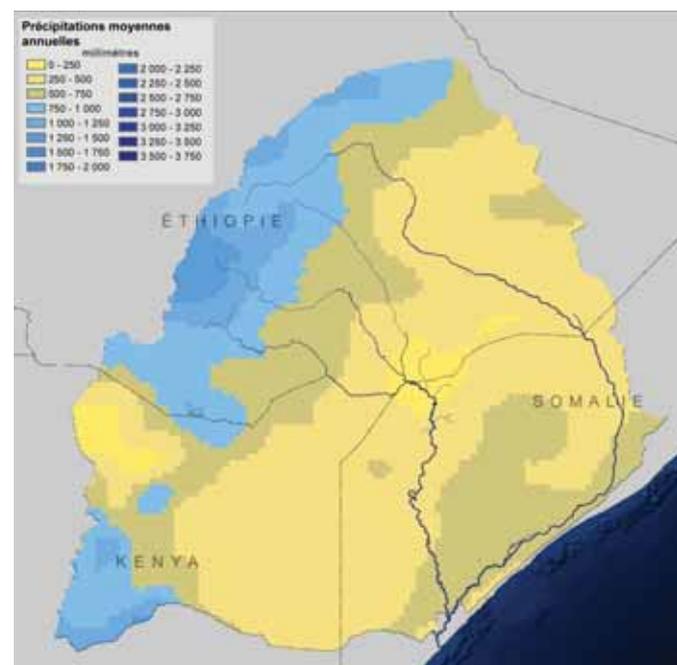


Figure 2.3.1: Précipitations moyennes annuelles du bassin fluvial Juba-Shabelle

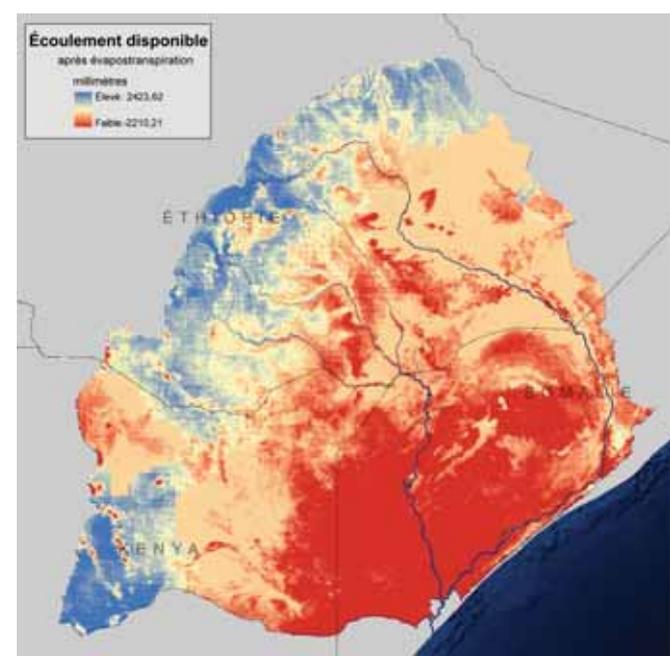


Figure 2.3.2 : L'écoulement disponible modélisé du bassin fluvial de Juba-Shabelle

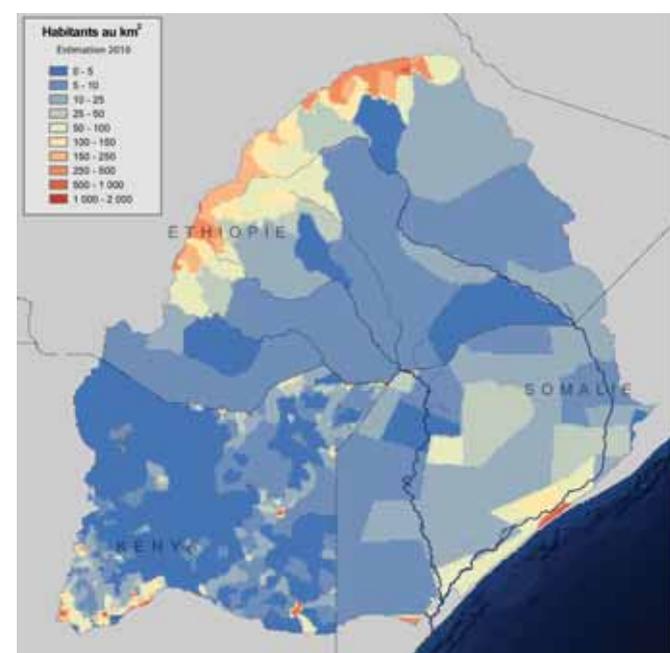
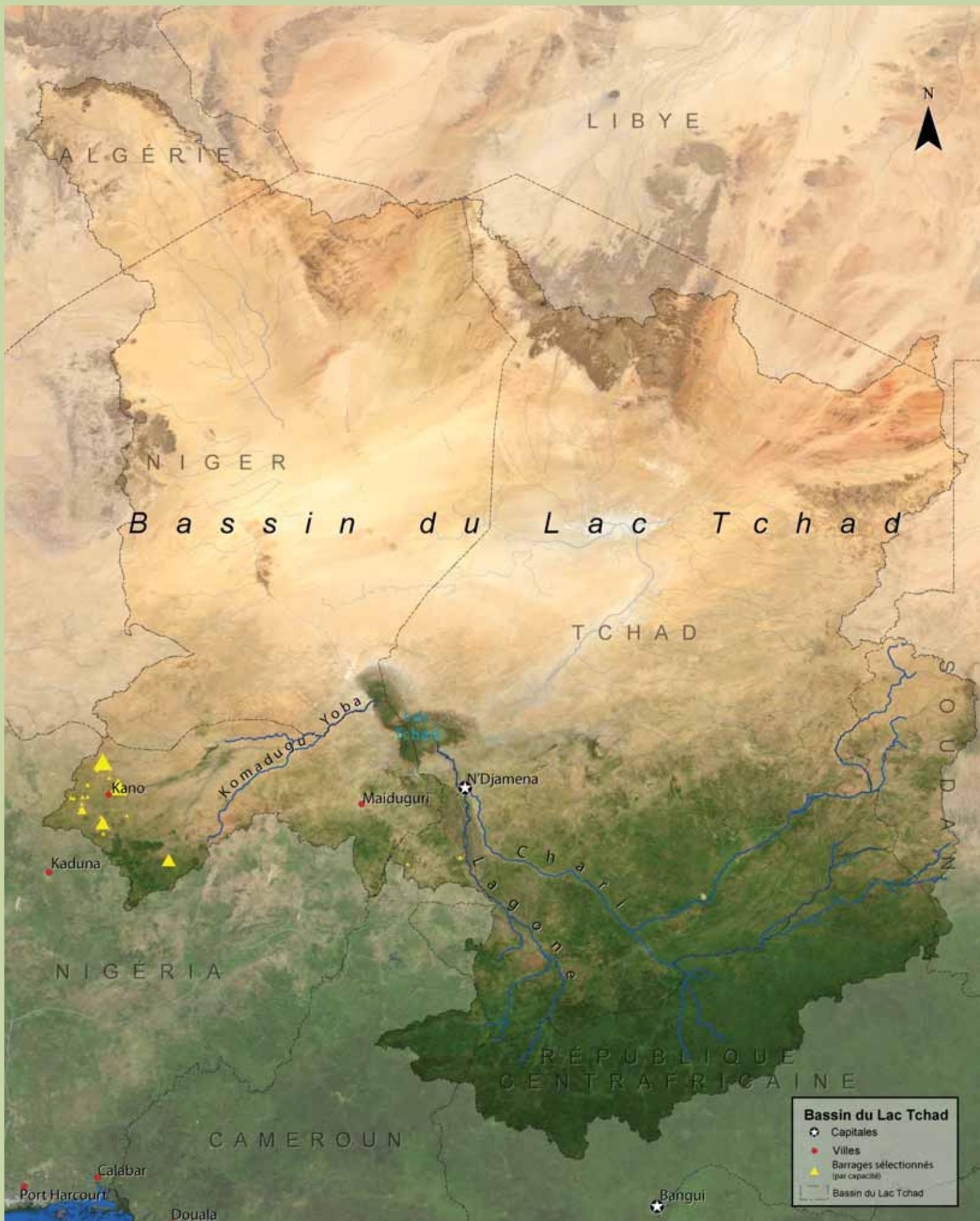


Figure 2.3.3 : Densité de population du bassin fluvial de Juba-Shabelle, 2010

Bassin du Lac Tchad



Le bassin versant du lac Tchad équivaut à un peu plus de huit pourcent de la superficie de l'Afrique et s'étend au-delà des frontières de huit pays : l'Algérie, le Cameroun, La République Centrafricaine, le Tchad, la Jamahiriya arabe libyenne, le Niger, le Nigéria et le Soudan.



Le lac Tchad figure parmi les plus grands réservoirs d'eau douce du Sahel

Il traverse une variété de paysages du nord au sud : du cœur aride du Désert du Sahara au nord, aux savanes fortement boisées du nord du Cameroun et de la République Centrafricaine au sud. La pluie, la végétation, la population et l'activité économique sont toutes concentrées dans la moitié sud du bassin, le lac lui-même coulant le long de la ligne de transition entre la savane et le désert au cœur du Sahel. La quasi totalité de l'eau du bassin est fournie par les fleuves Chari, Logone et Komadougou Yobé. Cependant, même sans débouché sur la mer, la salinité du bassin demeure faible. La recherche a montré que les sels sont contrôlés par l'infiltration dans l'eau souterraine et à un degré moindre, par la sédimentation (Roche 1977, Isiorho et al. 1996). Le Lac est l'un des plus grands réservoirs d'eau douce du Sahel, faisant de lui un point focal des activités humaines (Musa 2008). Ceci est particulièrement le cas pour les plus de trois millions de personnes (SEDAC 2010) vivant 200 km aux abords du lac, dont la plupart vivent d'agriculture, de pêche et d'élevage (Musa 2008).

Population

Des estimations de la population en 2010 (SEDAC 2010) ont établi qu'environ 46 millions d'individus vivent au sein du bassin étendu du lac Tchad, la plupart étant concentrés dans la partie sud-ouest du bassin versant (SEDAC 2010) (Figure 2.4.1). Le Nigéria, lequel constitue 7,5 pour cent de la surface du bassin, il abrite 26 millions des habitants de tout le bassin, soit plus de la moitié. Le Tchad est le deuxième pays le plus peuplé ; dix millions de ses habitants vivent dans le bassin. Le Niger se place en troisième position, avec un peu moins de trois millions (SEDAC 2010). Les taux estimés de croissance démographique de ces trois pays ont été très élevés au cours des cinq dernières années, variant de 2,3 pour cent annuellement pour le Nigéria, à 3,5 pour cent pour le Niger (UN-WPP 2006). Le Soudan et le Cameroun ont chacun environ 2,5 millions d'habitants au sein du bassin du lac Tchad (SEDAC 2010).

Précipitations

Malgré la grande taille du Tchad (46 pour cent de la superficie du bassin) et le fait qu'il reçoit environ 43 pour cent des précipitations du bassin (Figure 2.4.2), il contribue à bien moins d'un tiers de l'équilibre hydrique de ce dernier, du fait des forts taux d'évapotranspiration. Le Nigéria, lequel ne constitue que 7,5 pour cent de la superficie du bassin, contribue lui aussi à environ 30 pour cent de l'équilibre hydrique du bassin (Senay et al. 2010). Approximativement un quart de l'écoulement total du bassin provient de la portion de la République Centrafricaine (Figure 2.4.3). Bien que le Niger constitue un quart du bassin, il ne reçoit que 5,5 pour cent des précipitations de ce dernier et en perd davantage en évapotranspiration, créant ainsi un impact négatif sur l'équilibre hydrique du bassin.

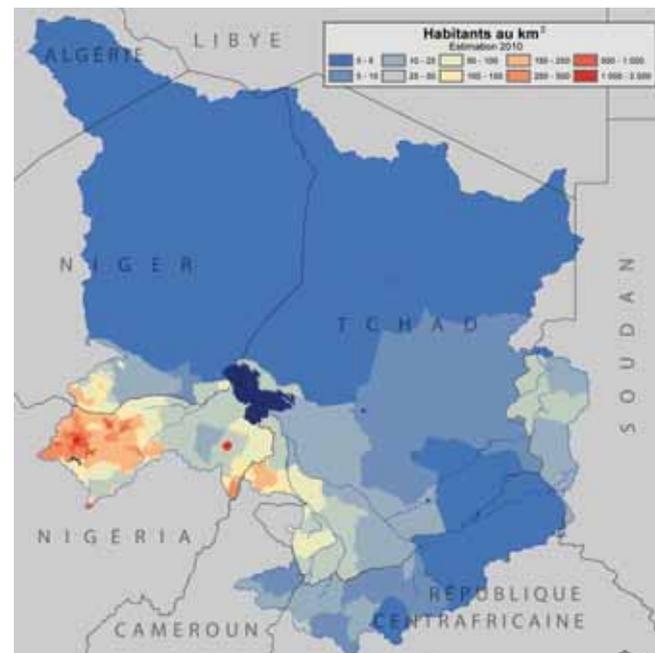


Figure 2.4.1 : Densité de population du bassin du lac Tchad 2010

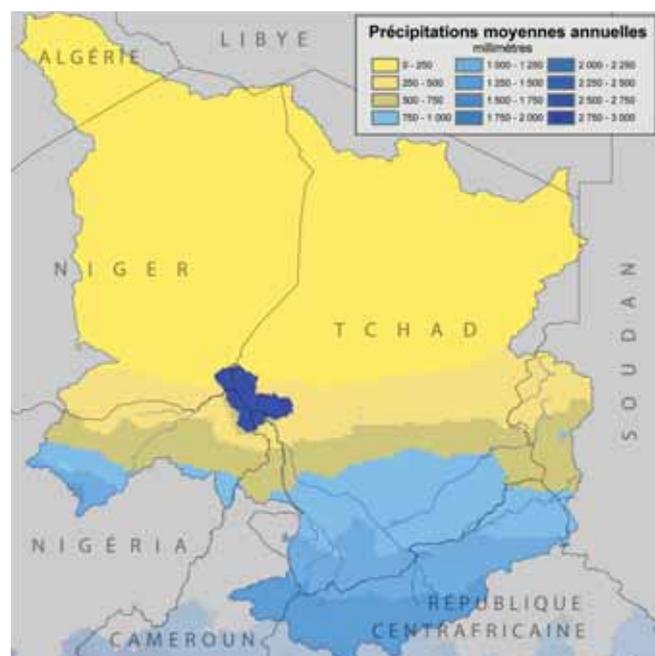


Figure 2.4.2 : Précipitations moyennes annuelles du bassin du lac Tchad

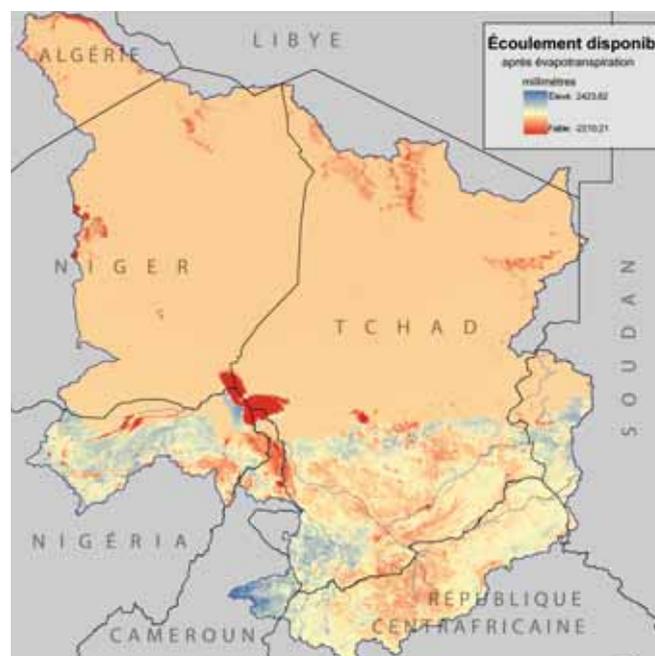


Figure 2.4.3 : Écoulement annuel moyen du bassin du lac Tchad

Variabilité du Lac Tchad

Les précipitations varient saisonnièrement à travers le bassin versant du lac Tchad, d'une année à l'autre, et sur plusieurs décennies. Cette variabilité, associée au peu de profondeur du lac, rend son étendue de surface presque tout autant variable. Une série d'images de télédétection couvrant les 50 dernières années montre l'étendue et la vitesse des changements qui se sont produits (Figure 2.4.7, page 50-51). Entre le début des années soixante et le milieu des années quatre-vingt, la superficie a rétréci d'une taille maximale de plus de 25 000 km² à 1 350 km². Etant donné ce contexte de changement constant, il a été difficile de déterminer les tendances de la superficie de surface ou des niveaux du lac à long-terme (Figure 2.4.4 et 2.4.5) et d'en déterminer les causes. Néanmoins, une compréhension des tendances et de leurs causes se développe au sein de la communauté scientifique étudiant le lac.

Il est reconnu que la vaste proportion d'eau du lac (85 à 90 pour cent) vient du système fluvial de Chari-Logone (Figure 2.4.8, voir page 52) ; presque tout le reste provient du fleuve Komadougou Yobé et directement des précipitations (Coe et Foley 2001, Nihoul et al. 2003). Le rejet du système de Chari-Logone a réduit de presque 75 pour cent depuis le milieu des années soixante, à cause de la sécheresse et de la dérivation des eaux (GIWA 2004). Tandis que des études ont montré que l'irrigation, tirant son eau du système hydrique de Chari-Logone, a joué

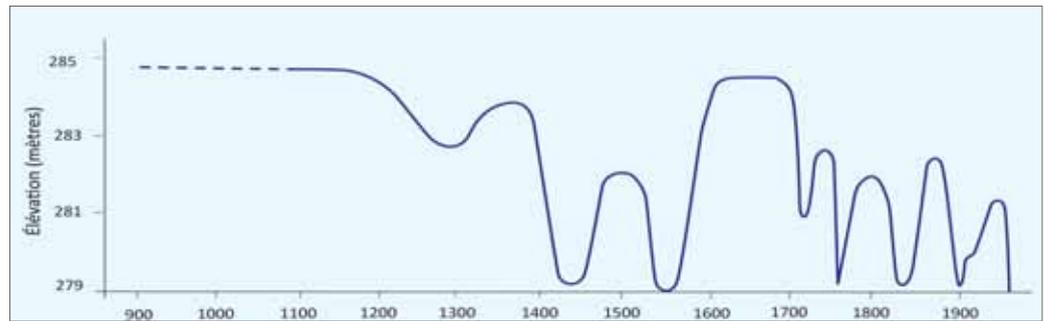


Figure 2.4.4 : Niveaux historiques à long-terme des niveaux d'eau du lac Tchad (Source : Olivry et al. 1996)

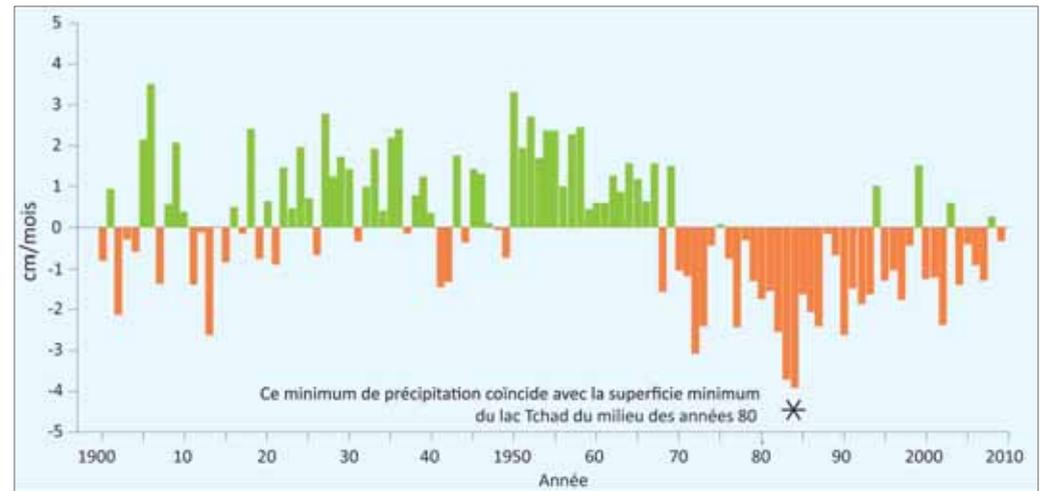


Figure 2.4.5 : juin à octobre, moyenne des anomalies de précipitations du Sahel, 1900-2009 (Source : University of Washington 2009)



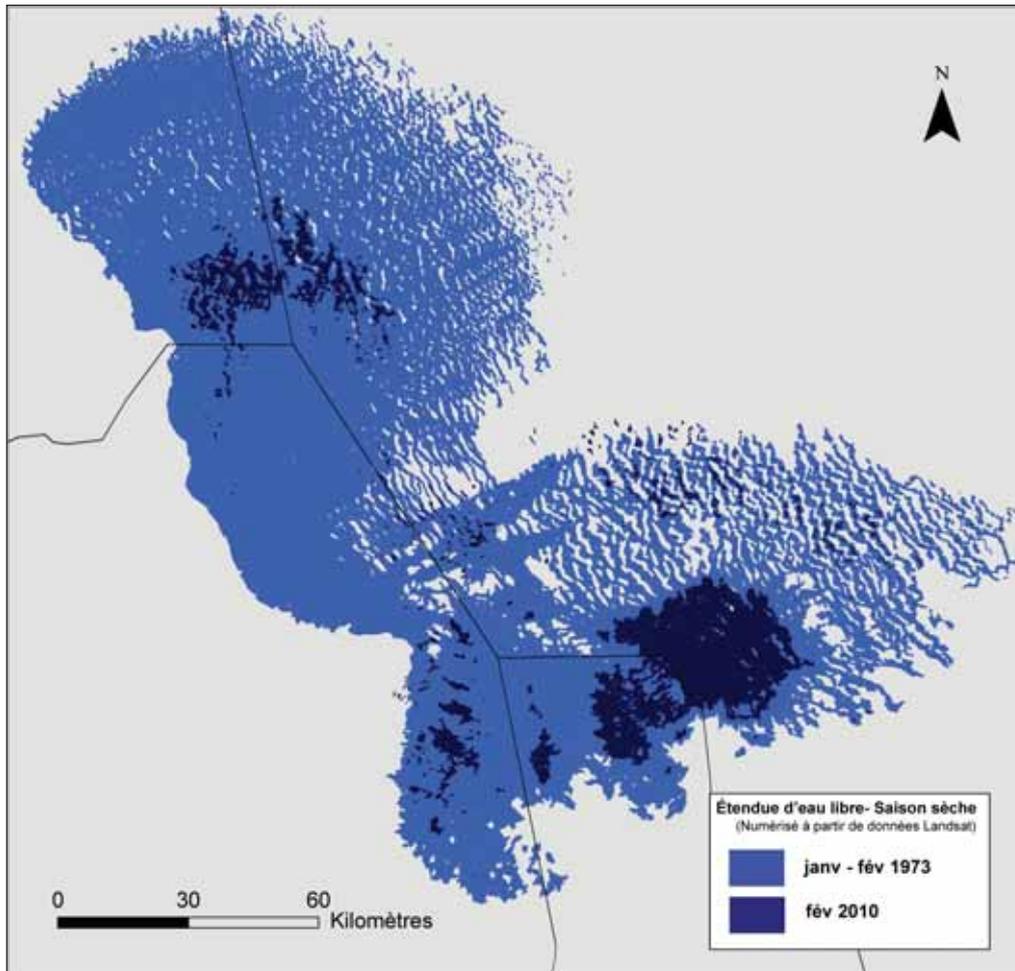


Figure 2.4.6 : Étendue approximative d'eau libre dans le lac Tchad; digitalisée à partir d'images Landsat, 1973-2010

un rôle important dans la réduction de la taille du lac depuis les années soixante-dix (Coe et Foley 2001), l'importance relative de l'irrigation est contestée (Lemoalle 2008, Nihoul et al. 2003). Néanmoins, la population augmente au sein du bassin de Chari-Logone et par conséquent, la demande en eau également (GIWA 2004) ; ceci augmentera sûrement l'importance de la déviation dans le budget hydrique du lac Tchad.

Il est cependant clair que la réduction de la moyenne des précipitations après 1970 a été une cause principale de la perte de niveau d'eau et de la réduction de la superficie du lac durant la même période (Lemoalle et al. 2008) (Figure 2.4.6). Les sécheresses des années soixante-dix et quatre-vingt ont à leur tour été liées à la variation naturelle des températures de la surface de l'Océan Atlantique (Shanahan et al. 2009, Zhang et Delworth 2006, Giannini et al. 2003). Une recherche récente suggère que les tendances actuelles de la sécheresse façonnées par ces variations ne sont pas anormales ; des preuves de sécheresses beaucoup plus extrêmes à travers le Sahel 200 à 300 ans plus tôt, et des périodes de sécheresses similaires datant d'au moins des mille ans plus tôt attestent de cette théorie. La Figure 2.4.5 émet la possibilité qu'une sécheresse plus sévère que celles des années soixante-dix et quatre-vingt pourrait se produire dans un avenir prévisible. De plus, il est suggéré que le réchauffement planétaire aggraverait la sévérité de ces sécheresses (Shanahan et al. 2009).

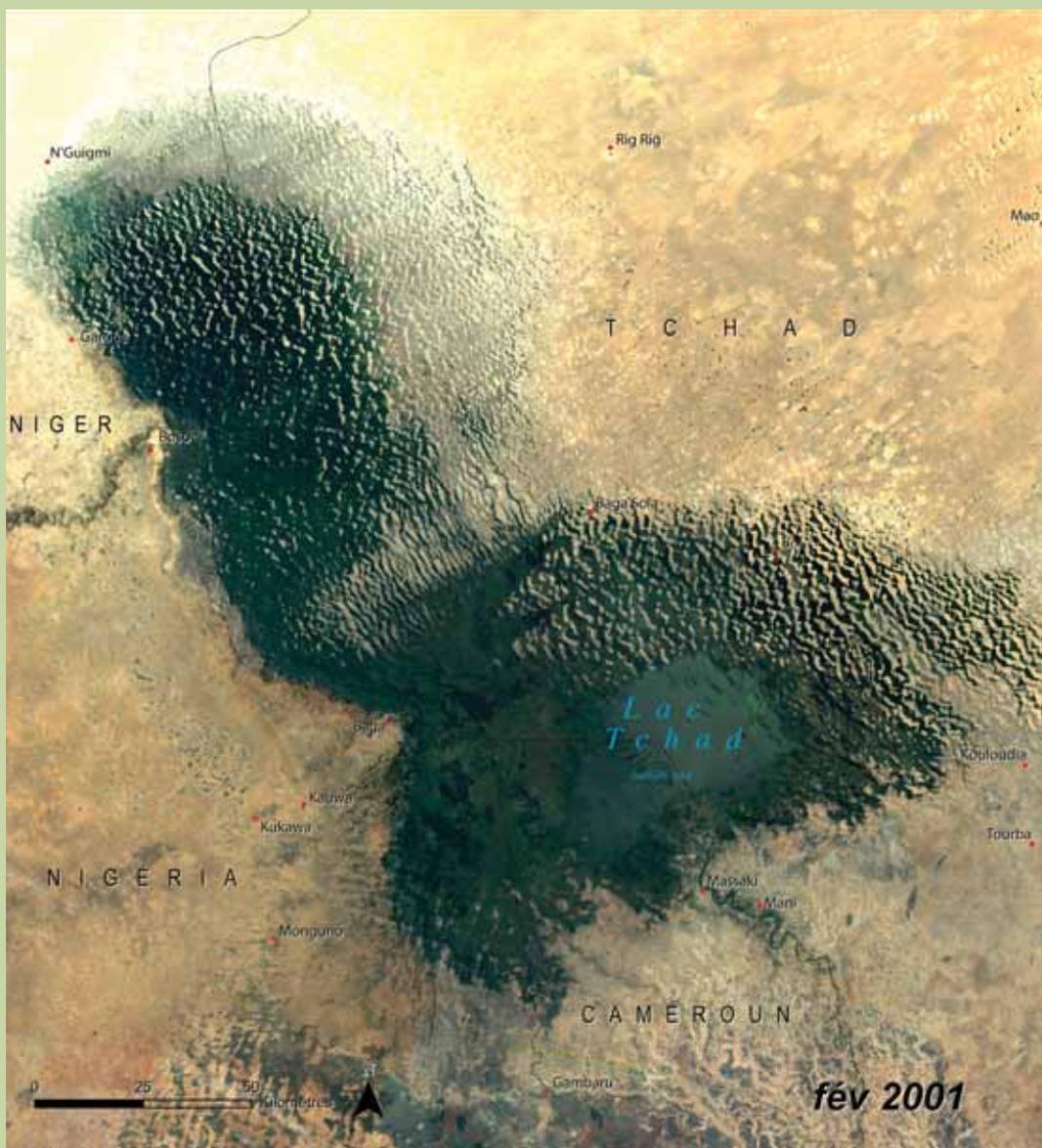
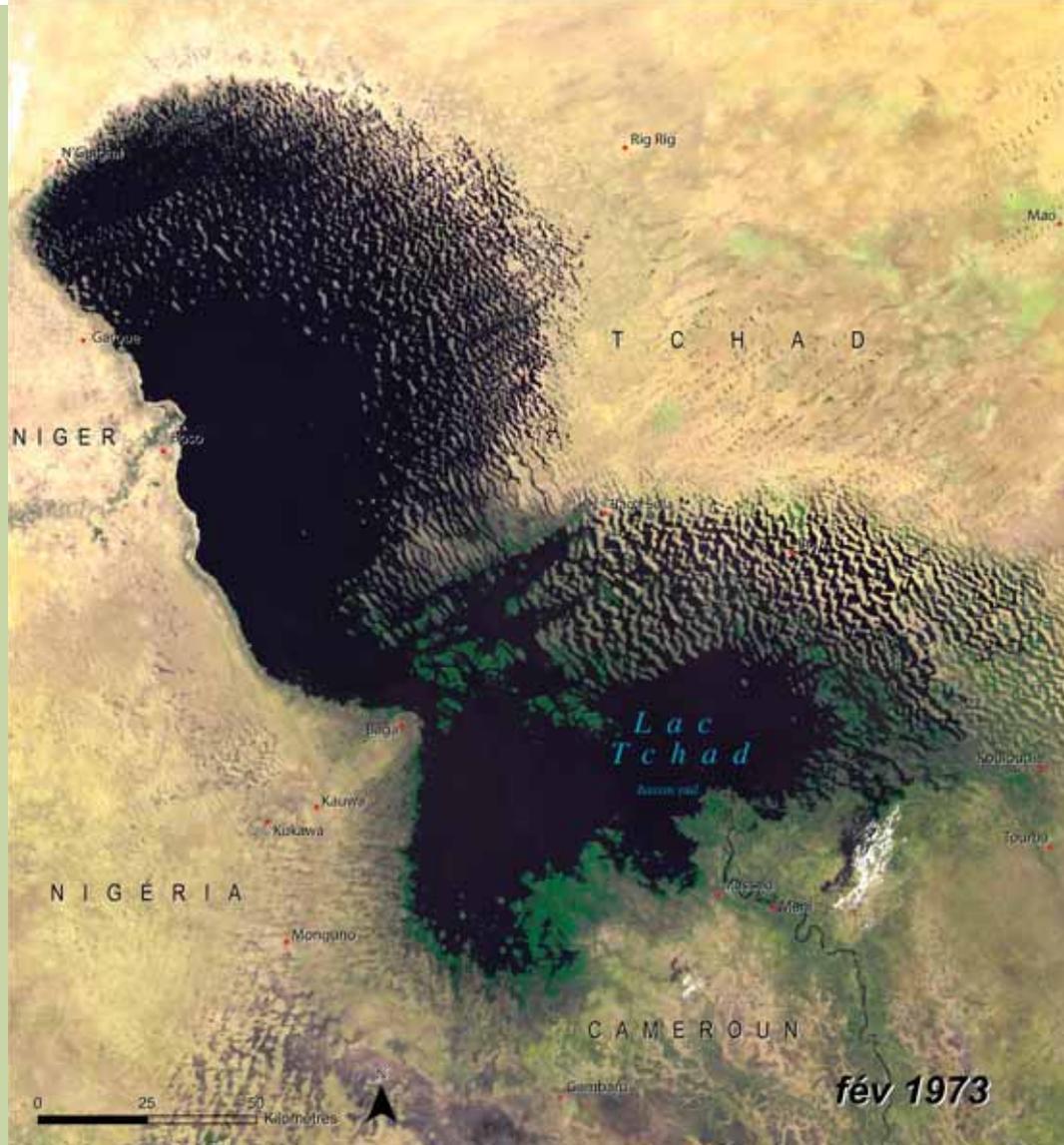
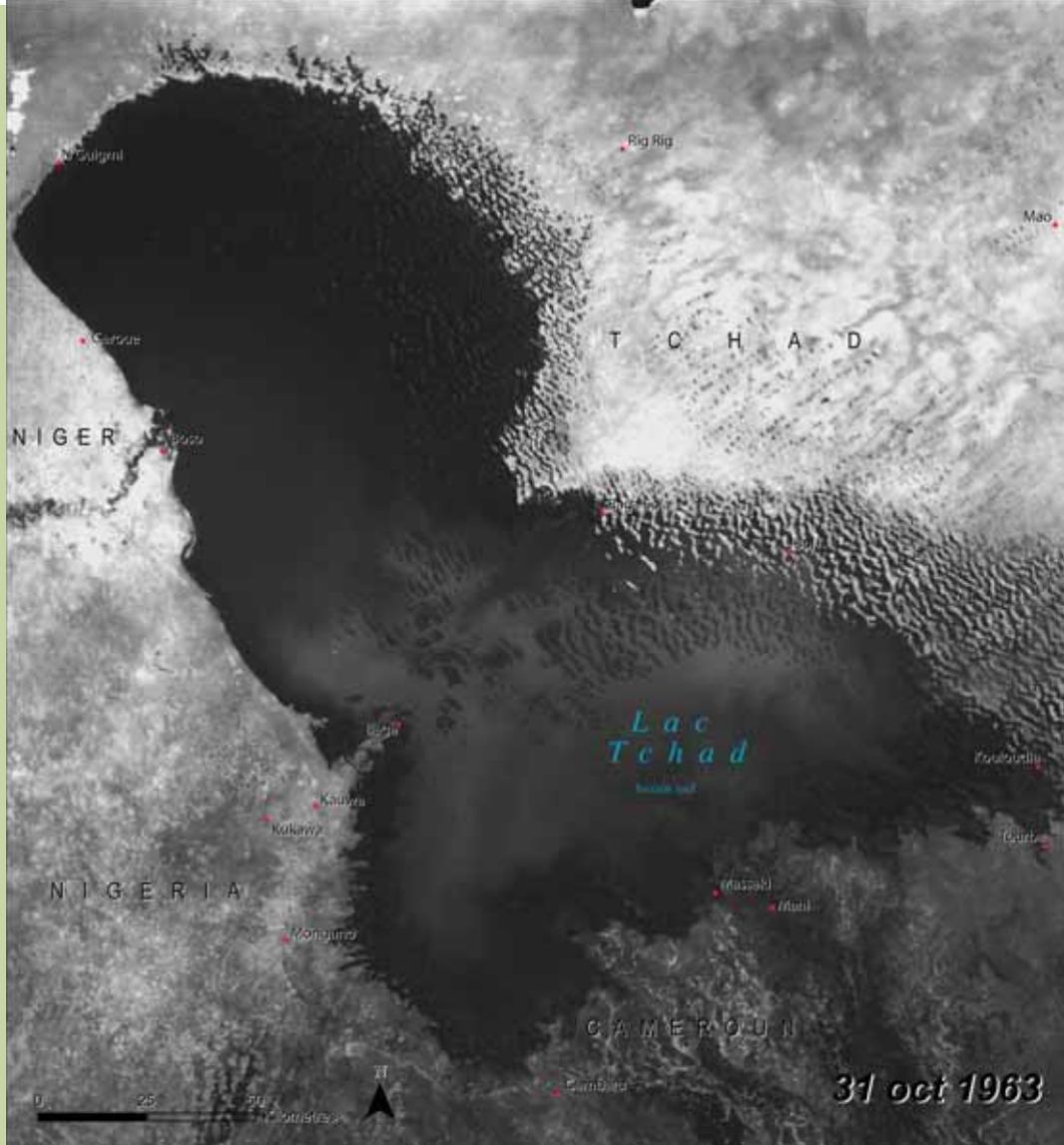
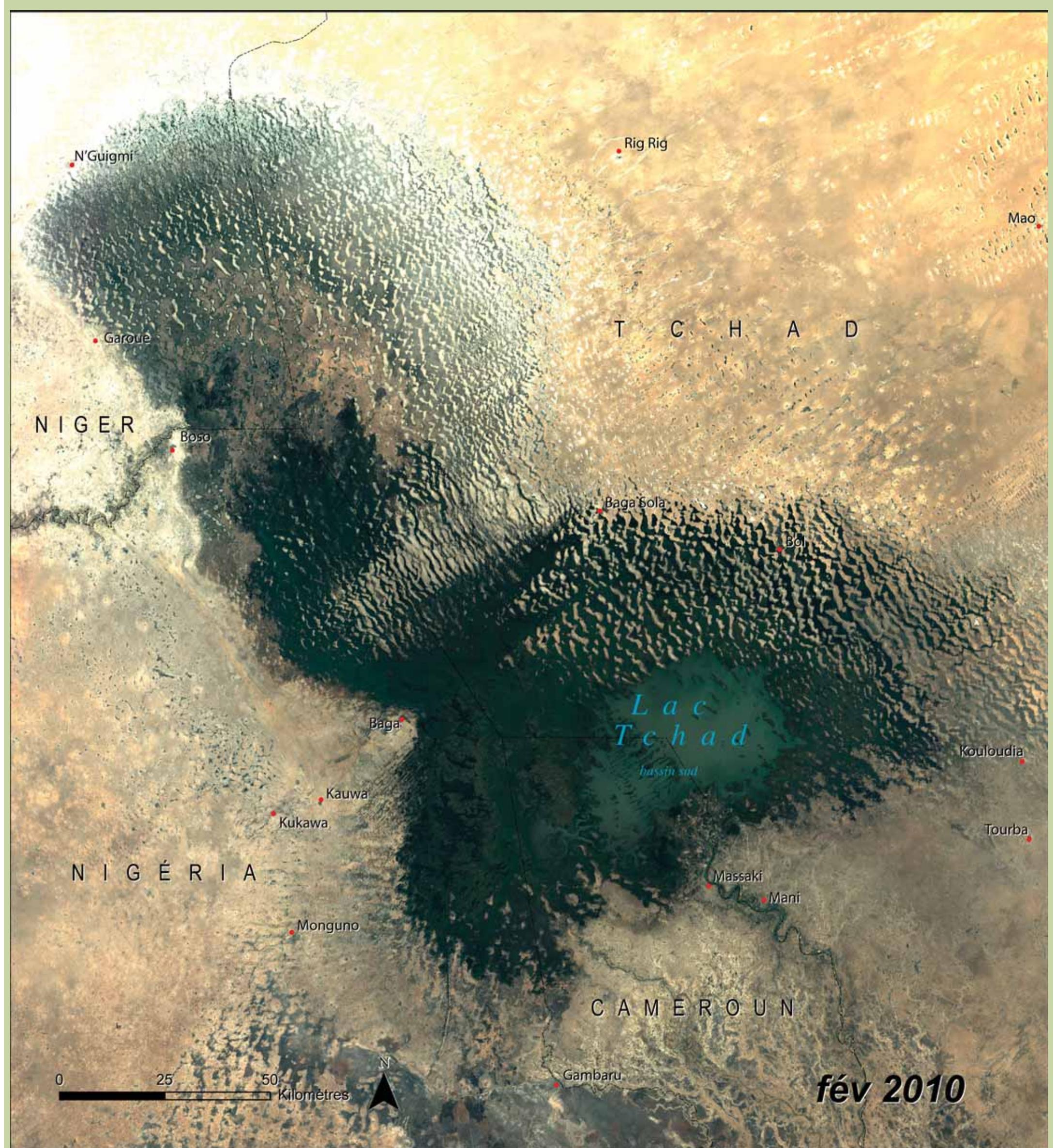


Figure 2.4.7 : Tandis que la superficie de surface du lac Tchad fluctue considérablement en fonction des pluies saisonnières, ces images de la saison sèche du lac montrent la tendance à long-terme depuis les années soixante. Les changements de précipitations durant cette période (Figure 2.4.5) ont été un facteur important, de même que la dérivation pour l'irrigation (Coe et Foley 2001)



L'écoulement réduit provenant du système de Chari-Logone a brutalement réduit l'approvisionnement en eau des individus et des systèmes naturels en aval (FAO 2009). Le taux de changement subi par l'écosystème a dépassé la vitesse à laquelle la flore et la faune naturelle sont capables d'y répondre et de s'adapter (FAO 2009). Le déclin du lac Tchad a forcé les communautés de pêcheurs à migrer pour suivre les eaux fuyantes du lac (GIWA 2004). L'inondation réduite des plaines inondables de Yaéré et de Waza-Logone a eu un impact négatif sur l'agriculture (GIWA 2004), et a réduit la qualité et la superficie des pâturages de saison sèche (IUCN 2003b). Les puits doivent être creusés plus profondément pour atteindre la nappe phréatique plus basse (GIWA 2004). L'impact de la sécheresse et de la superficie réduite du lac a été profond pour les individus vivant à proximité du lac, et les impacts s'étendent, à un degré moindre, à plus de 35 millions d'individus vivant dans le grand bassin du Tchad (GIWA 2004).

Une réponse à la pénurie d'eau de surface a été d'augmenter l'utilisation de l'eau souterraine. L'aquifère quaternaire sous-jacent au bassin du lac Tchad est la principale source d'eau souterraine pour la région (Ngatcha et al. 2008). Il existe un manque d'ensembles de données hydrogéologiques pour la zone, lesquelles seraient nécessaires pour une utilisation durable des atouts en eau souterraine (Ngatcha et al. 2008). Une étude récente suggère que les niveaux d'eau dans l'aquifère quaternaire ont baissé, suite à la réduction des précipitations de la seconde moitié du siècle dernier (Boromina 2008). Cette probabilité souligne le besoin pour une disponibilité et une intégralité améliorées des ensembles de données hydrogéologiques pour les décideurs cherchant des réponses appropriées à la diminution des ressources hydriques du bassin du lac Tchad.

Une autre réponse proposée qui porterait directement sur la réduction des niveaux du lac est le transfert d'eau de l'extérieur du bassin (voir aussi page 42). Un projet de pompage d'eau du fleuve Oubangui pour restaurer le lac Tchad et le système du fleuve Chari, a été développé à la fin des années quatre-vingt-dix (FAO 2009) (Figure 2.4.9). Un barrage serait construit sur l'Oubangui à Palambo (République Centrafricaine), à partir duquel de l'eau serait alors pompée et injectée dans les fleuves Fafa et Ouham. De là, elle coulerait à travers un tunnel artificiel de 1 350 km pour parvenir au fleuve Chari, et finalement dans le lac Tchad (FAO 2009). En novembre 2009, une étude de faisabilité de US\$6 millions a été lancée par une société d'ingénierie au nom de la Commission du bassin du lac Tchad. Elle devrait se terminer fin 2011 (CIMA sans date).

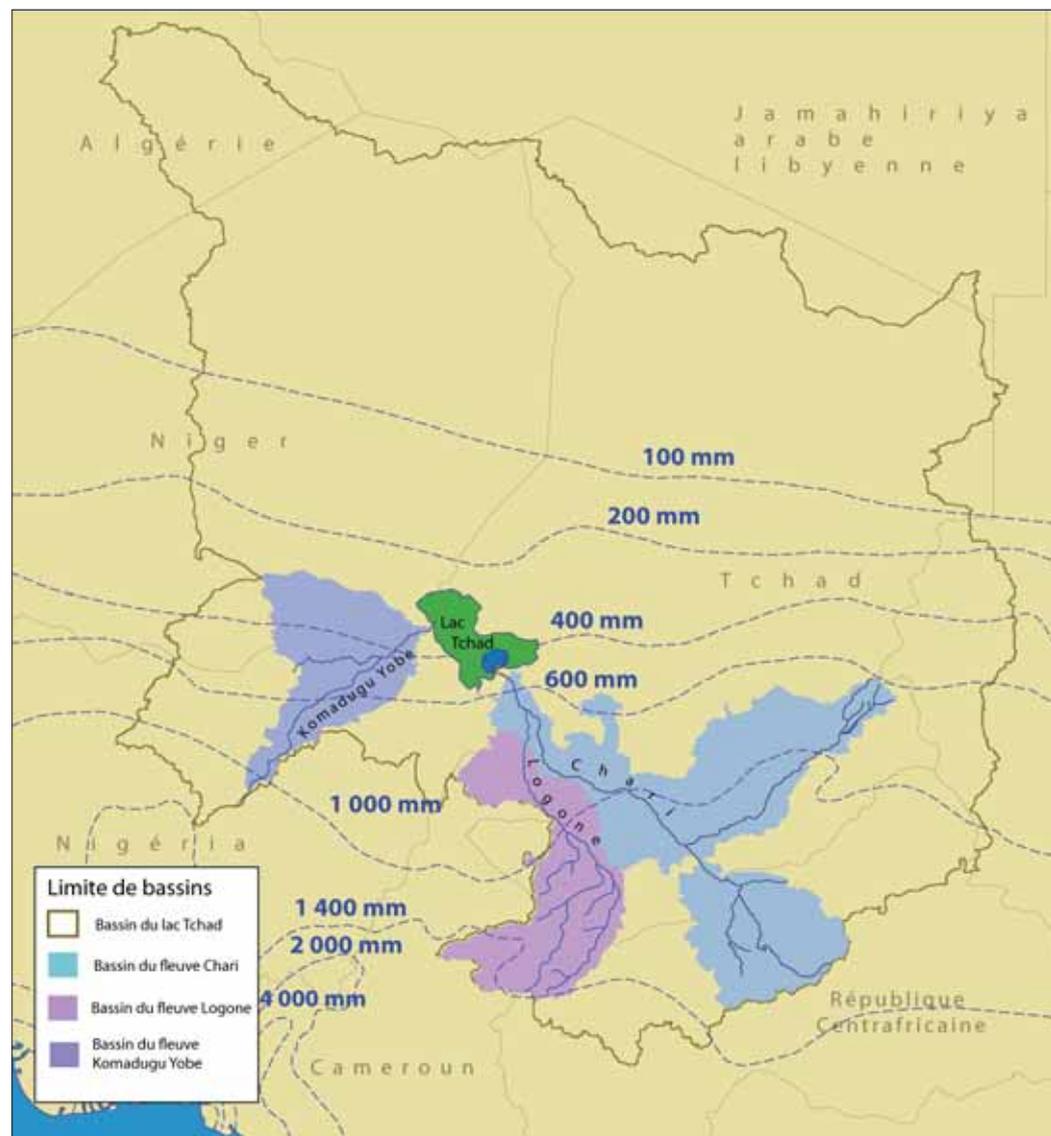


Figure 2.4.8 : Les moyennes de précipitations sont de seulement environ 400 mm/an au lac Tchad, mais elles augmentent vers le Sud où la plupart des apports d'eau proviennent principalement des bassins de Chari, de Logone et de Komadougou-Yobé

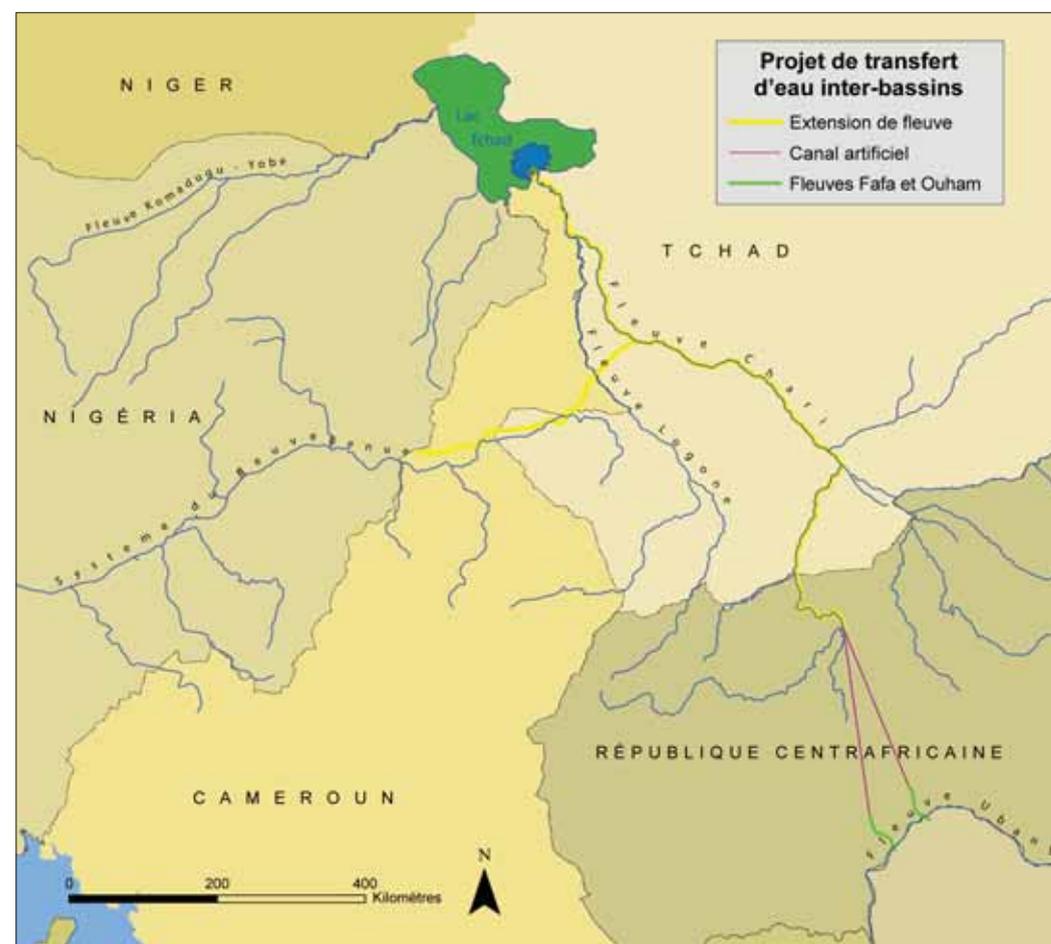


Figure 2.4.9 : Un projet de transfert inter-bassins souterrain de l'eau du fleuve Oubangui dans le bassin du Congo pour le transférer au bassin du lac Tchad

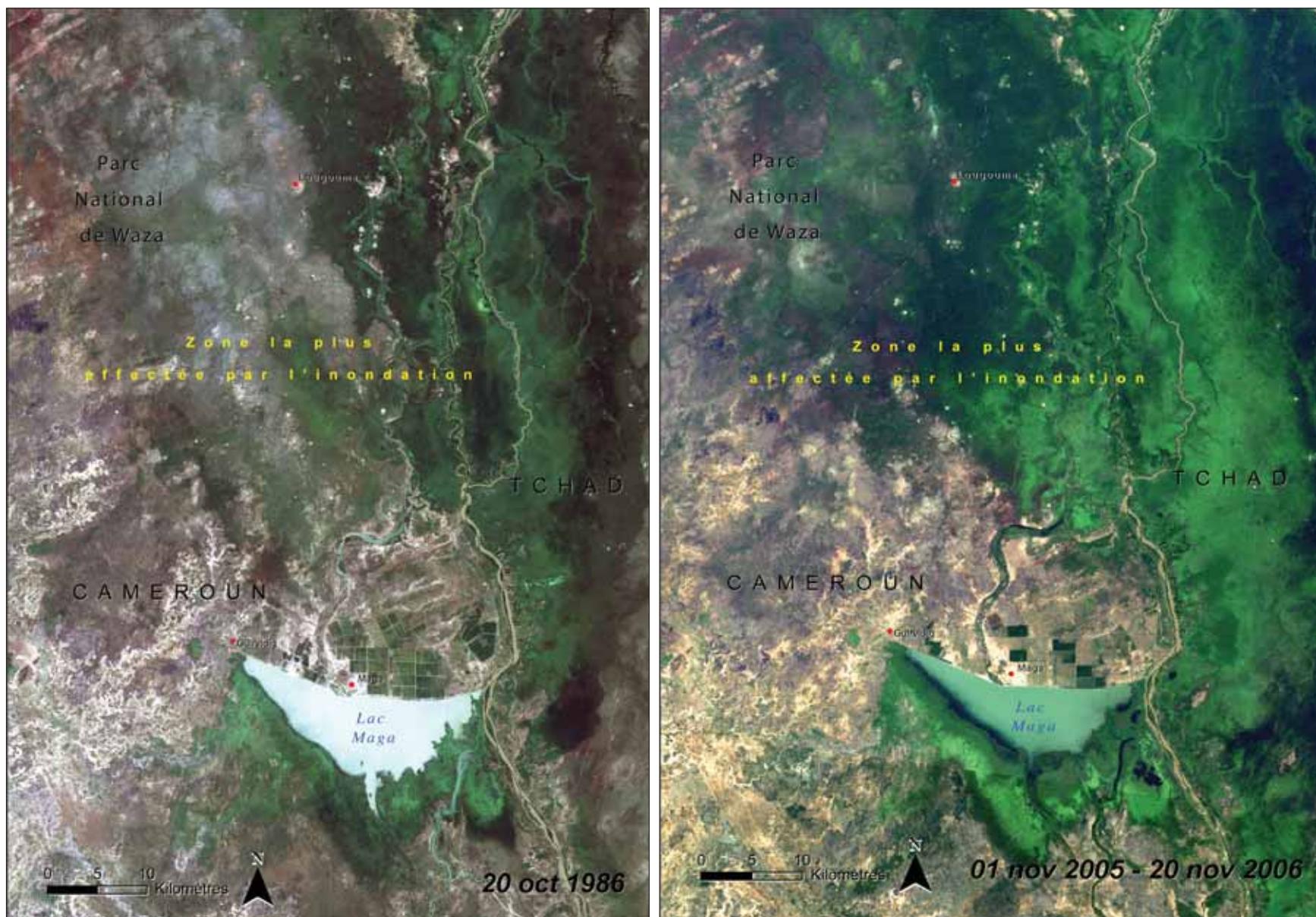


Figure 2.4.10 : La mise en barrage du fleuve Logone dans les années soixante-dix, au moment de la sécheresse, a réduit des rives et a perturbé les modes de vie locaux dans la plaine inondable de Waza Logone. Des libérations d'eau contrôlées, provenant du barrage au début des années quatre-vingt-dix, ont restauré une partie de l'inondation naturelle, améliorant les pâturages et restaurant d'autres fonctions précieuses de l'écosystème

La Plaine Inondable de Waza Logone

La Plaine Inondable de Waza Logone dans le nord du Cameroun est une zone humide saisonnière fortement productive, dont l'importance en biodiversité est grande (IUCN 2004). Elle soutient également des modes de vie d'environ 135 000 personnes à travers l'agriculture de décrue, la pêche, l'élevage, et la production de produits et services naturels tels que le miel, les médicaments et les matériaux de construction (IUCN 2004). Cette forte productivité et une grande partie des biens et services de l'écosystème dépendent de l'inondation des rives des fleuves qui alimentent la zone humide—principalement le fleuve Logone mais également les Fleuves saisonniers Tsanaga, Boula et Vrick. Beaucoup de ces services des écosystèmes ont été perdus sur d'importantes parties de la plaine inondable, suite à la construction du barrage de Maga et des projets d'irrigation rizicole des années cinquante et soixante-dix coïncidant avec une période de précipitations étaient en-dessous de la moyenne (Loth 2004).

L'image satellite de la saison d'inondation de la fin 1986 (Figure 2.4.10) montre peu d'eau stagnante et une végétation minimale de zone humide dans la zone au sud-ouest du Parc National de Waza. Dans les années quatre-vingt-dix, la stratégie de gestion



du flux du Logone a été élargie pour tenir compte de la variabilité des ressources en aval (Loth 2004). Certains canaux qui avaient été modifiés pour les projets rizicoles ont été ouverts, pour permettre à l'eau d'inonder environ 200 km² (IUCN 2004). La gestion intégrée des ressources naturelles de la plaine inondable a permis la repousse de certaines herbes qui avaient été perdues, une productivité améliorée, une augmentation du nombre d'oiseaux et de meilleurs pâturages (Scholte 2005). Figure 2.4.10 des périodes d'inondation de 2005 et 2006 montre une inondation adéquate dans la zone sud-est du Parc National de Waza, de même qu'une abondante végétation.

Bassin du Lac Turkana



Bien que le bassin du lac Turkana chevauche quatre pays, 98 pour cent de sa surface s'étend sur uniquement deux d'entre eux. Plus de la moitié (52 pour cent) se trouve en Éthiopie, où presque trois quarts de la pluie du bassin tombe.



Le lac Turkana est le plus grand lac désertique au monde

Un peu moins de la moitié du bassin s'étend au Kenya, où le lac lui-même se trouve. Les fleuves Turkwel et Kerio s'écoulent dans le lac à partir du sud, bien que leur contribution aux niveaux de l'eau soit minimale. Le lac reçoit presque tout son apport en eau du fleuve Omo-Gibe, lequel draine partiellement les hauts-plateaux éthiopiens. Le lac Turkana lui-même est le plus grand lac de bassin fermé du Rift Est africain (Haack 1996), et le plus vaste lac de désert au monde (Angelei 2009). Il est resté relativement isolé, étant donné sa localisation dans le nord aride du Kenya, où la température est de 30°C et les précipitations moyennes annuelles sont de moins de 200 mm (Nyamweru 1989). Entre les années 1885 et 2008, les niveaux d'eau du lac Turkana ont varié d'environ 20 m (ILEC sans date, Legos 2009), et des preuves existent pour démontrer que les fluctuations du XXIème siècle étaient moins importantes que celles précédant les années 1900 (Nicholson 2001).

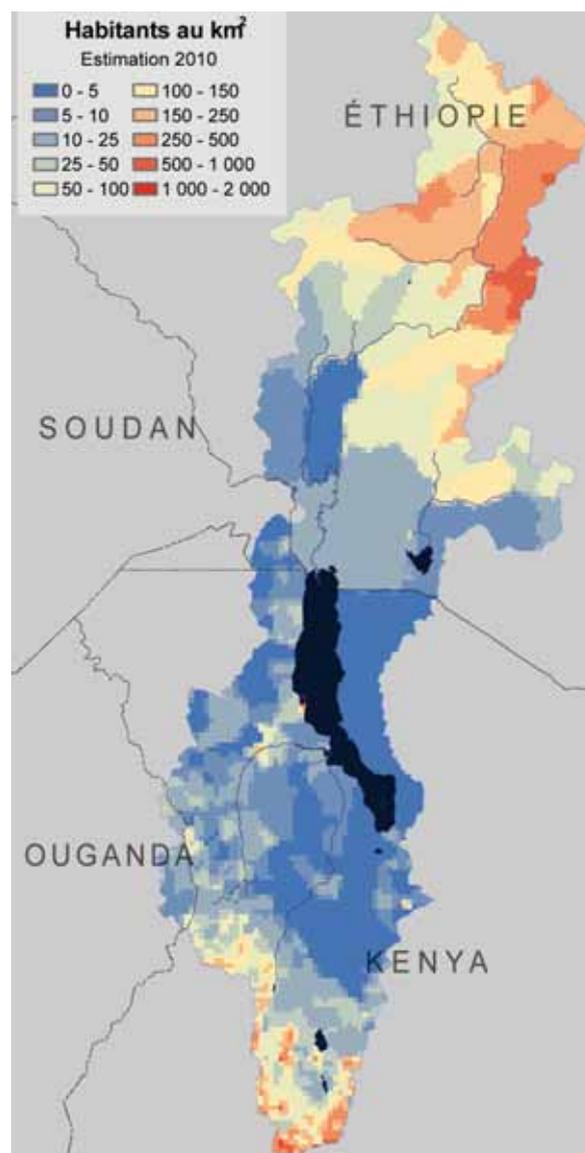


Figure 2.5.2 : Densité de population du bassin du lac Turkana

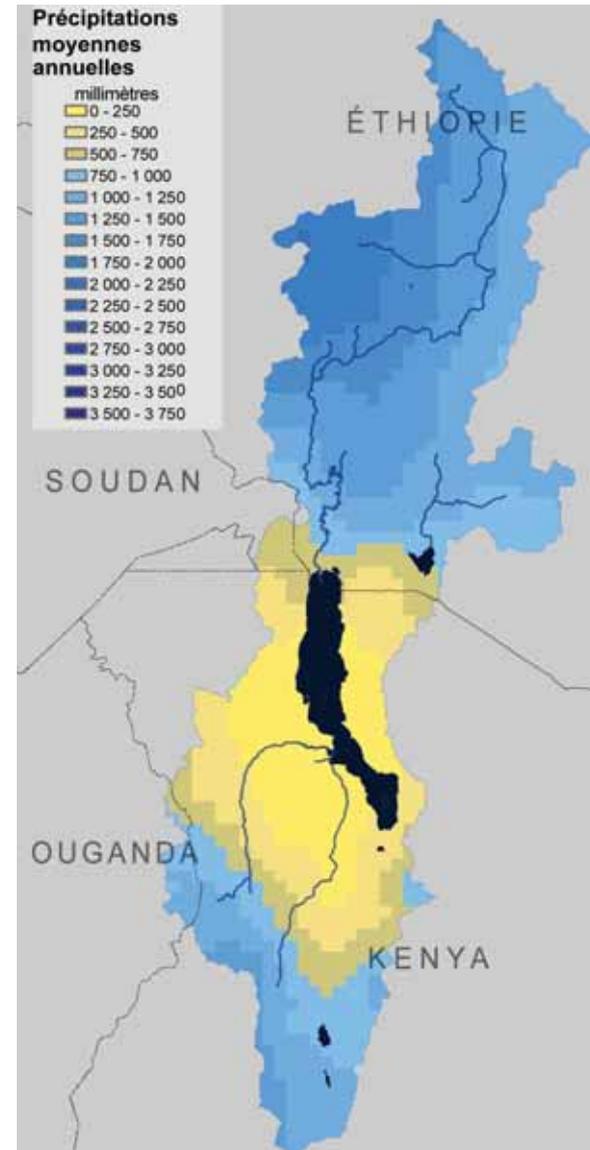


Figure 2.5.1 : Précipitations moyennes annuelles du bassin du lac Turkana

Précipitations

A travers le bassin entier du lac Turkana, les précipitations moyennes annuelles sont de plus de 900 mm (Figure 2.5.1). Cependant, la variation spatiale est assez extrême : certaines parties d'Éthiopie reçoivent presque 2 000 mm de pluie par an, tandis que certaines zones du nord du Kenya reçoivent moins de 100 mm. De plus, les températures élevées dans le nord du Kenya et les vents forts autour du lac évaporent rapidement la plupart des pluies irrégulières qui tombent (ILEC sans date). Le lac Turkana reçoit 80 pour cent de son apport en eau du fleuve Omo. Le cours inférieur du fleuve Omo, de même que le lac Turkana et les communautés qu'il alimente, dépendent de la pluie des hauts-plateaux éthiopiens, lesquels agissent comme un « château d'eau ». L'agriculture de décrue, l'inondation des pâturages, la pêche et la recharge des aquifères peu profonds le long du cours inférieur du fleuve, dépendent tous du volume et de la configuration de l'écoulement du fleuve Omo.



Population

La population éthiopienne totale du bassin est d'environ neuf millions, contre 1,7 millions pour la partie kenyane du bassin. Le nombre d'individus vivant 50 km autour du lac, est cependant estimé à seulement environ 215 000 (ORNL 2008). La population est concentrée dans le cinquième supérieur de la partie éthiopienne du bassin, et à l'extrême limite sud du Kenya (SEDAC 2010) (Figure 2.5.2).

Les Installations hydroélectriques

Une série de cinq installations hydroélectriques sont envisagées le long du fleuve Omo-Gibe. Le premier barrage, Gilgel-Gibe I a été achevé et rempli. La seconde installation hydroélectrique Gilgel-Gibe II est alimentée par un tunnel de 25 km allant vers l'est du Réservoir de Gilgel-Gibe I, à travers une montagne où le fleuve Omo se trouve à 700 m plus bas. Gibe III est en cours de construction depuis 2006, et lorsqu'il sera achevé, sera le deuxième plus grand réservoir d'Afrique. La construction de deux installations hydroélectriques supplémentaires, Gibe IV et V, n'a pas encore commencée.

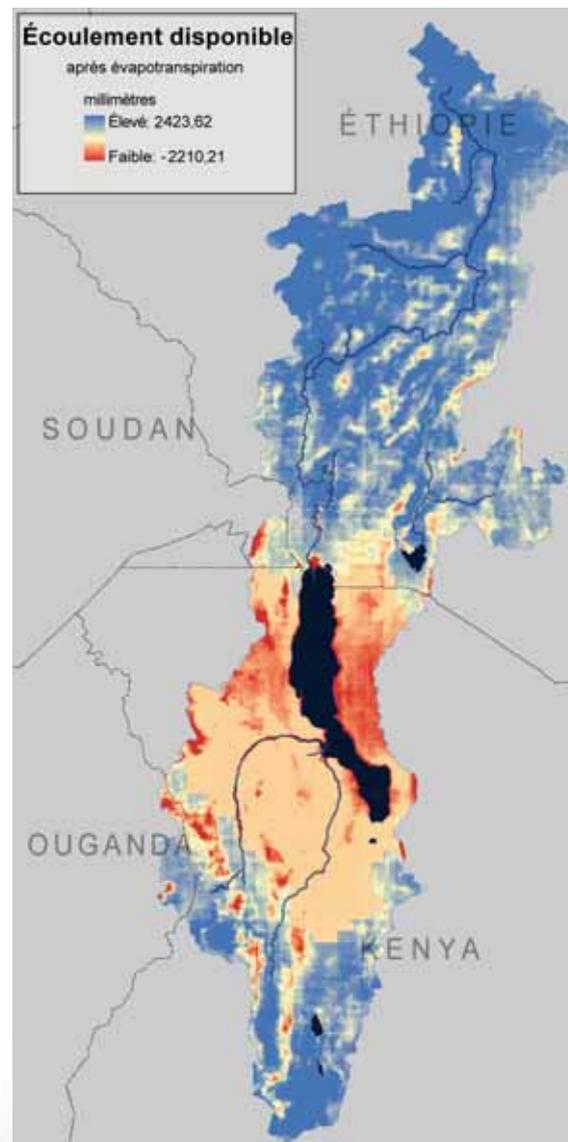


Figure 2.5.3 : Écoulement disponible du bassin du lac Turkana





Figure 2.5.4 : Un tiers du barrage de Gibe III restait à finir lorsque cette image de mars 2009 a été acquise. Il sera sans doute achevé vers la fin de l'année 2013

Discussion publique de l'impact potentiel du barrage de Gibe III

Les proposants du projet, y compris l'Electric Power Corporation (EPCo) d'Éthiopie et à un certain degré les organismes de financement tels que la Banque Africaine de Développement, ont soutenu le projet et son importance pour le développement de l'Éthiopie. Plusieurs opposants ont exprimé des préoccupations quant à l'impact du barrage sur l'environnement en général, et sur les communautés vivant en aval en particulier. Ces critiques que les évaluations d'impact environnemental et social ont produites pour justifier le projet étaient inappropriées, et omettaient plusieurs questions importantes (IR 2009). Ils citent plusieurs impacts probables, y compris l'apport réduit du lac Turkana, un risque de tremblement de

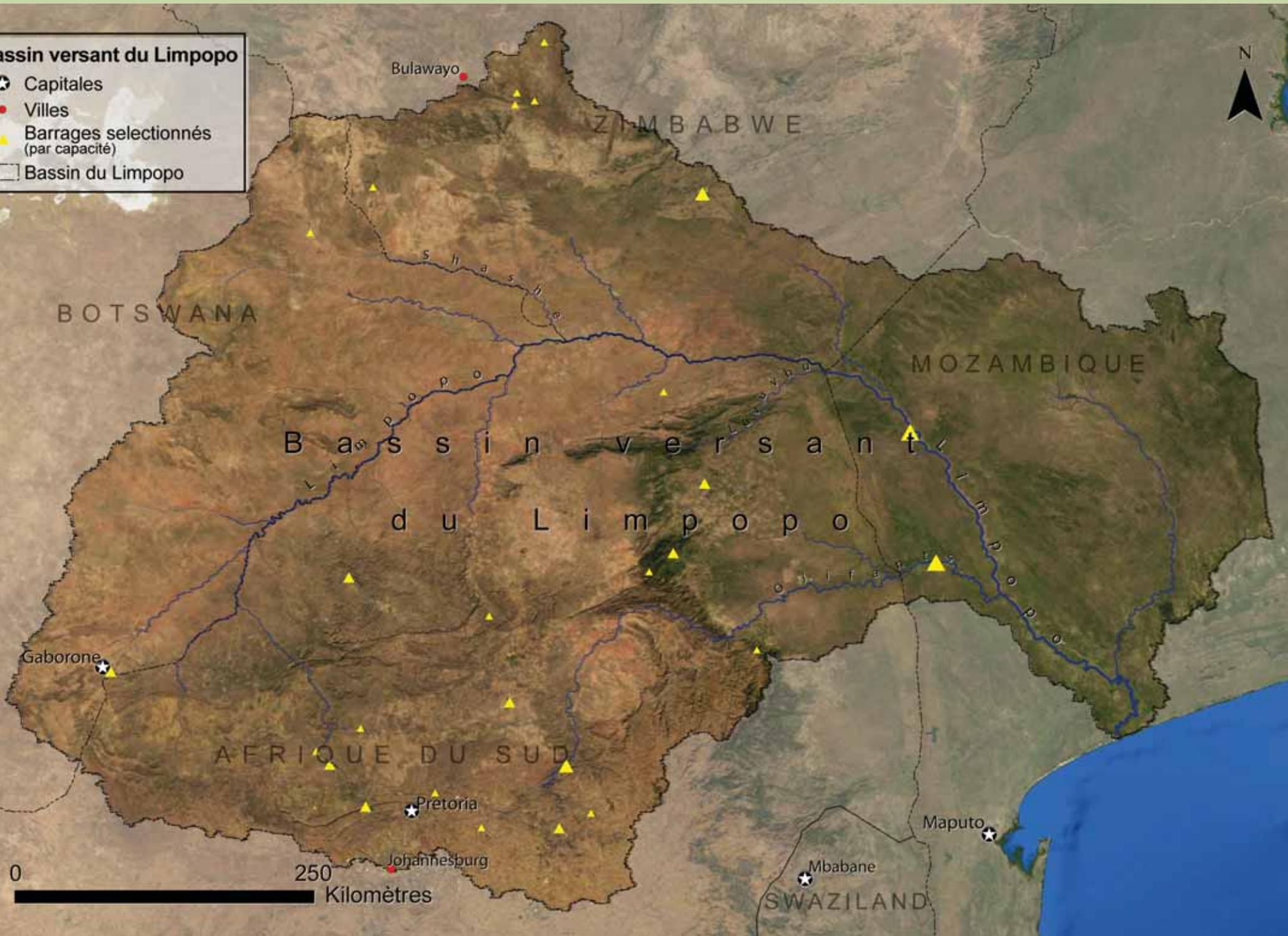
l'écoulement, lesquels empêcheraient l'agriculture de décrue traditionnelle, et détruiraient les forêts riveraines (ARWG 2009). Les défenseurs du projet défendent les études et soulignent l'importance de l'électricité pour le développement de l'Éthiopie. Ils affirment que gérer les configurations de l'inondation permettra de continuer la pratique de l'agriculture de décrue, et l'inondation maintiendra plusieurs des fonctions naturelles de l'écosystème (EPCo 2009). Les résultats préliminaires d'une étude sur l'équilibre hydrique du bassin montrent que le projet Barrage de Gibe III n'est pas susceptible d'avoir un impact significatif sur les niveaux du lac, une fois que la phase de remplissage initiale sera menée à terme. Ceci suppose que la production hydroélectrique demeure l'objectif principal (tel qu'actuellement prévu), avec une dérivation minimale des eaux pour l'irrigation.

Bassin du Fleuve Limpopo



Le bassin versant majoritairement semi-aride du fleuve Limpopo reçoit presque toute sa pluie durant une saison des pluies courte et intense de l'été austral (décembre-février). Les précipitations varient considérablement durant et entre les saisons, rendant le bassin vulnérable à des sécheresses sévères et aux inondations.

- Bassin versant du Limpopo**
- ★ Capitales
 - Villes
 - ▲ Barrages sélectionnés (par capacité)
 - Bassin du Limpopo



Le débit de l'eau du Limpopo est variable et rend l'irrigation peu fiable

L'écoulement du fleuve Limpopo est variable, rendant souvent l'irrigation directe à partir du débit d'eau (sans aucune forme d'endiguement) peu fiable (CGIAR 2003). Etant donné l'importance de la population rurale dans le bassin, laquelle pratique en grande partie une agriculture pluviale de subsistance, cette variabilité peut être désastreuse (Reasons et al. 2005). Plusieurs zones sont également chargées de sédiments, ce qui décourage la construction de barrages et les projets d'irrigation, lesquels pourraient se remplir rapidement de vase (CGIAR 2003).

Précipitations

Les précipitations moyennes annuelles à travers la plupart de la partie Nord-est du bassin est en-dessous de 500 mm par an. Les précipitations moyennes annuelles dans le cinquième du bassin, occupé par le Botswana, est de seulement 422 mm, tandis que les précipitations de la région du Zimbabwe est d'un peu plus de 469 mm. Alors que des parties de la moitié sud-est du bassin reçoivent également une précipitation quelque peu limitée, les précipitations moyennes annuelles de la partie occupée par l'Afrique du Sud est de presque 600 mm, et celle du Mozambique de 729 mm, marquant une pluie annuelle abondante (Figure 2.6.1). Les sources des principaux affluents du Limpopo, les fleuves Olifants et Crocodile, se trouvent en Afrique du Sud, le long du bord Sud du bassin, et reçoivent généralement 700 mm de pluie ou plus, annuellement.

L'écoulement des eaux dans la plupart du bassin est perdu à cause d'importants taux d'évapotranspiration, et contribue très peu au bilan hydrique du fleuve. Le Botswana reçoit presque 15 pour cent des pluies du bassin, mais du fait de son environnement aride, en perd entièrement la totalité en faveur de l'évapotranspiration (Figure 2.6.2). Le Mozambique reçoit plus d'un quart des précipitations du bassin, mais a également un impact négatif sur le bilan hydrique du fleuve du fait des pertes liées à l'évapotranspiration. Certains des taux les plus élevés de perte d'eau du Mozambique s'obtiennent par la transpiration s'opérant dans les zones humides, le long du cours du fleuve traversant le pays. La plus grande contribution au bilan hydrique du fleuve provient des bassins versants du Crocodile et de l'Olifants, dans les zones de pluviosité élevées, au nord-est et nord-ouest de Pretoria.

Population

Presque 80 pour cent des plus de 15 millions d'habitants du bassin vivent dans la partie

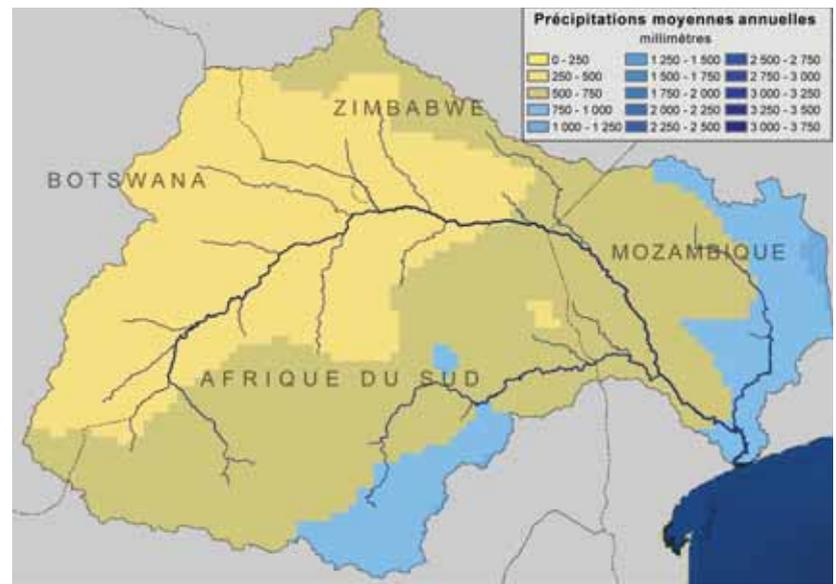


Figure 2.6.1 : Précipitations moyennes annuelles du bassin du fluvial Limpopo

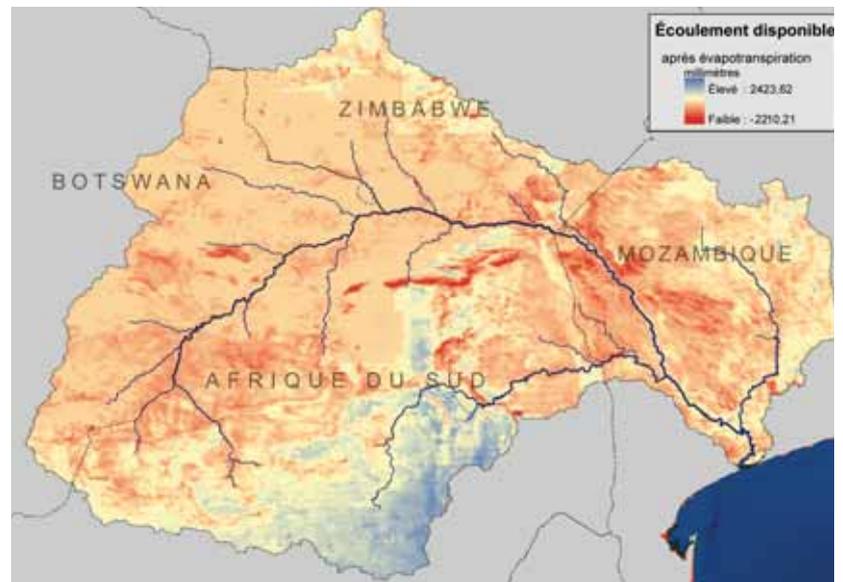


Figure 2.6.2 : Écoulement disponible modélisé du bassin du fluvial Limpopo

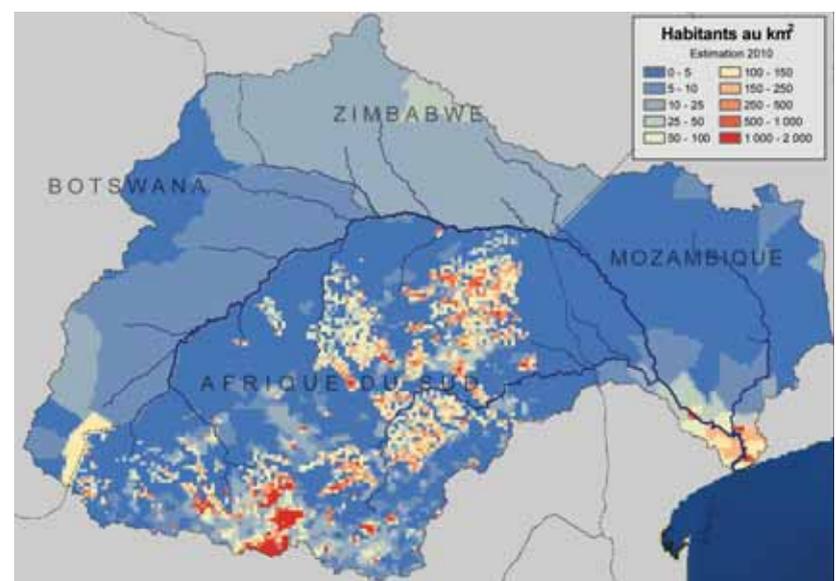


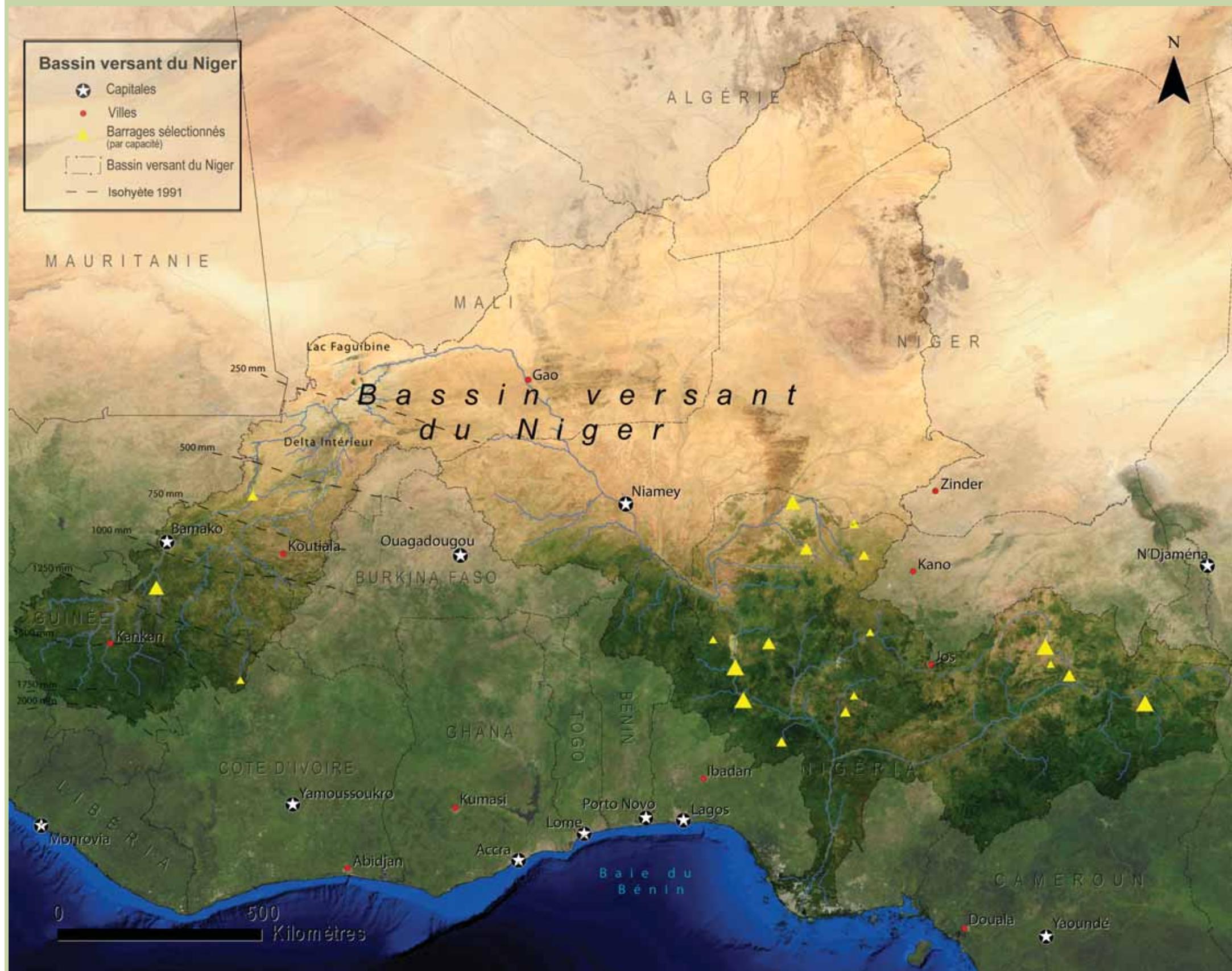
Figure 2.6.3 : Densité de population du bassin du fluvial Limpopo

sud-africaine du bassin versant, laquelle inclut Pretoria et la majeure partie de la Province de Gauteng. Le Botswana, le Mozambique et le Zimbabwe ont respectivement un million d'habitants vivant dans le bassin. Dans l'ensemble, la population du bassin est à 60 pour cent rurale (CGIAR 2003). Les taux de croissance de 2005 à 2010 étaient plus faibles que ceux de la décennie précédente pour tous les pays partageant le bassin (World Development Indicators 2010).

Bassin du Fleuve Niger



Le fleuve Niger prend sa source dans les hauts-plateaux de Fouta Djallon, en Guinée orientale et dans le coin extrême nord-ouest de la Côte d'Ivoire. Avec 1 635 mm/an en Guinée et 1 466 mm/an en Côte d'Ivoire, les précipitations moyennes annuelles sont les plus élevées du bassin (FAO 1997).



Le fleuve Niger sustente une île de verdure et de vie dans le rude Sahel

En s'écoulant vers le nord-est, le fleuve Niger traverse le Delta Intérieur du Niger au Mali, où, grâce à son eau vivifiante et son inondation saisonnière, il sustente une île de verdure et de vie dans le rude Sahel. Au cours de son écoulement encore plus au nord, il traverse ensuite les confins sud du Désert du Sahara. A environ 100 km au nord-est de Gao, au Mali, le fleuve se dirige vers le sud, vers le Niger, le Nigéria et éventuellement le Golfe de Guinée. Le Fleuve collecte le cours de dix affluents avant de parvenir au Nigéria, mais y arrive avec moins d'eau que lorsqu'il a quitté la Guinée, presque 2 000 en aval (FAO 1997). A travers le Nigéria, les précipitations augmentent du nord au sud, alors que le fleuve se rapproche du Delta du Niger où il se jette dans le Golfe de Guinée.

Population

La population totale du Bassin du Niger est d'environ 100 millions, avec un taux de croissance d'environ trois pour cent. De cette population, 67 millions vivent au Nigéria, un peu moins de huit millions au Mali et un peu plus de huit millions au Niger (Anderson et al. 2005) (Figure 2.7.1). Depuis les années cinquante, l'urbanisation s'est produite très rapidement à travers la plupart de l'Afrique Occidentale (AFD sans date). Plusieurs des agglomérations résultant de cette urbanisation rapide se trouvent dans le bassin du Niger ; certaines, telles que Niamey et Bamako, sont situées sur les rives du fleuve. L'accès à des sources améliorées d'eau reste un problème dans la quasi totalité du bassin, et la croissance démographique projetée pour les prochaines décennies augmentera davantage ce besoin.

Précipitations

En terme de superficie, la Guinée représente moins de cinq pour cent du bassin, mais contribue à presque un tiers de son équilibre hydrique, ainsi qu'à presque tout l'écoulement du cours supérieur et moyen du fleuve. Le Mali représente presque un quart du bassin, mais du fait de sa température moyenne élevée et de ses précipitations moyennes annuelles de seulement environ 400 mm, le pays utilise plus d'eau qu'il n'en fournit au fleuve ; il tire la majeure partie de cette eau de l'évapotranspiration du Delta Intérieur du Niger. Le Niger et le Nigéria représentent chacun un quart de la superficie du bassin. La partie nigérienne du bassin reçoit une

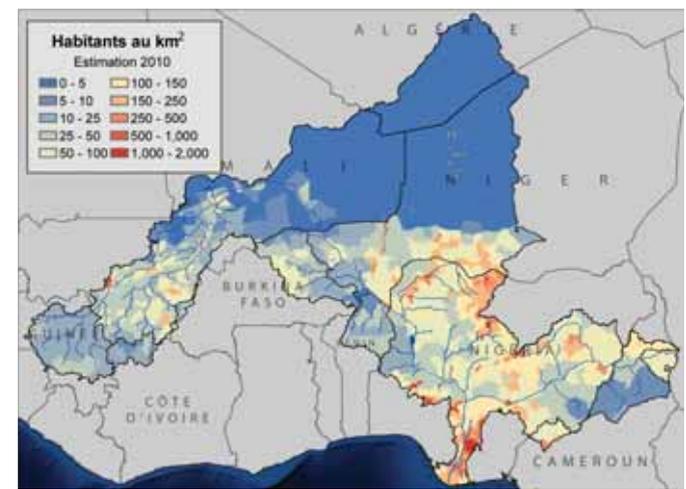


Figure 2.7.1 : Densité de population du bassin du Niger

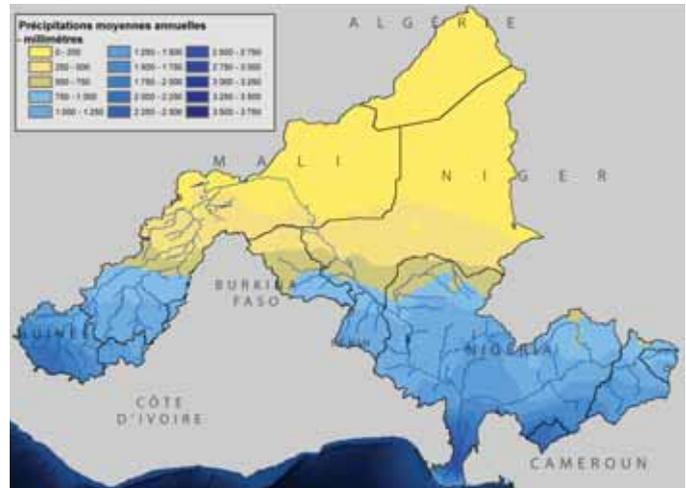


Figure 2.7.2 : Précipitations moyennes annuelles du bassin du Niger

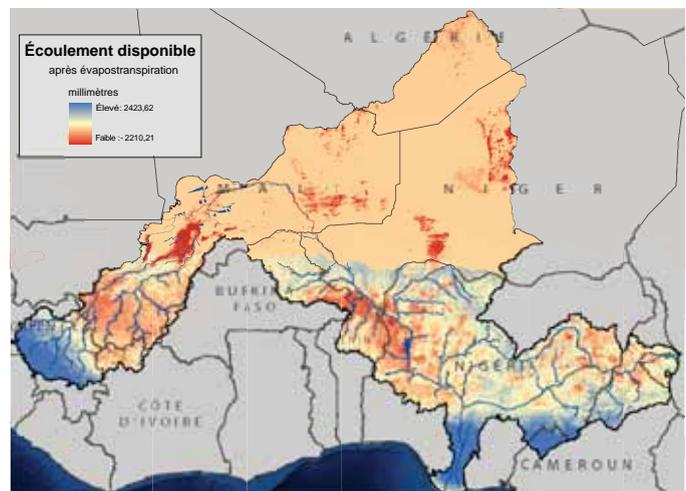
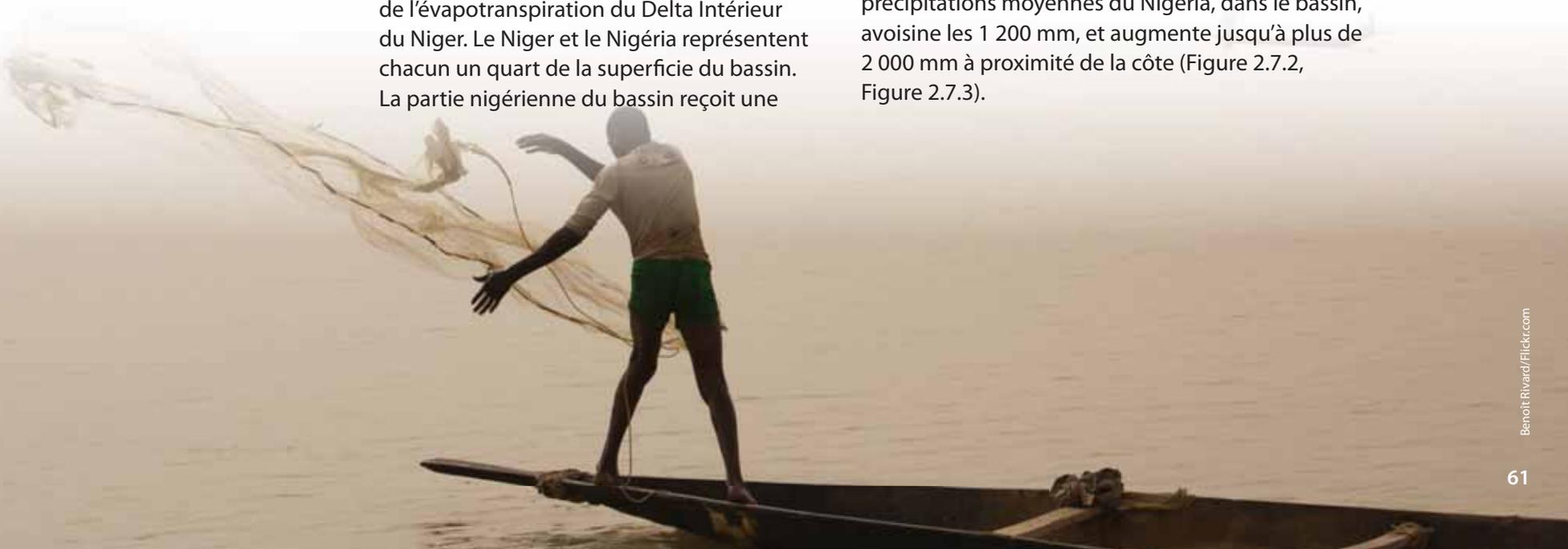


Figure 2.7.3 : Écoulement modélisé disponible du bassin du Niger

moyenne de précipitations de moins de 300 mm par an, et fournit peu de ruissellement au fleuve. Les précipitations moyennes du Nigéria, dans le bassin, avoisine les 1 200 mm, et augmente jusqu'à plus de 2 000 mm à proximité de la côte (Figure 2.7.2, Figure 2.7.3).



Qualité de l'eau

La plupart des villes situées le long du fleuve n'ont pas développé d'installations de collecte et de traitement des eaux usées, ni industrielles, ni ménagères. Outre les sources de pollution urbaine, un écoulement agricole, surtout d'engrais, a été trouvé à plusieurs endroits (Anderson et al. 2005). Dans le delta côtier, la production de pétrole a été la source d'une multitude de problèmes environnementaux, des millions de barils de pétrole y ayant été déversés.

Eau souterraine

Les cours moyen et inférieur du bassin abritent des aquifères de très bonne qualité, y compris le Système Aquifère lullemeden ; plusieurs autres se trouvent dans certaines parties du Nigéria (Anderson et al. 2005, Ludec et al. 2001, OSS 2008). Des études sur le taux de reconstitution et la cartographie des ressources ont été faites pour certaines zones, mais beaucoup font encore défaut (Lutz et al. 2009). L'évaluation et la mise en valeur durable des ressources hydriques souterraines demandent la mise en place de systèmes cartographique et de suivi des ressources, de même que la capacité institutionnelle pour gérer les ressources et renforcer les politiques (BGR sans date).



Sécheresse

Une période de précipitations réduites à travers le Sahel a commencé au début des années soixante-dix et a continué durant les années quatre-vingt-dix ; deux périodes marquées de sécheresse sévère se sont produites au début des années soixante-dix et quatre-vingt (L'Hôte et al. 2002). Au milieu des années quatre-vingt, sur trois années consécutives, les précipitations étaient inférieures à plus de 30 pour cent par rapport à la moyenne. Le débit moyen

annuel du fleuve Niger a chuté à moins d'un tiers de son écoulement moyen à certains marégraphes (Anderson et al. 2005), diminuant de deux fois le taux de perte de précipitations de la période 1970-2000 (Descroix et al. 2009).

Les sécheresses sahéliennes des années soixante-dix et quatre-vingt se sont répandues au bassin du Niger (Nicholson 1993), causant la famine, forçant la dislocation d'individus et détruisant des moyens de subsistance. Les sécheresses ne sont pas peu communes dans le Sahel, et, tel que précédemment discuté à la page 49, des preuves récentes suggèrent que des sécheresses encore plus sévères se sont produites il y a de cela 200 à 300 ans. Une tendance similaire de sécheresse remonterait même à au moins quelques millénaires (Shanahan et al. 2009). Il est de plus en plus accepté que des variations dans les températures de surface des mers dans l'Atlantique et l'Océan Indien, sont liées à ces changements de tendances pluviométriques en Afrique Occidentale (Shanahan et al. 2009, Zhang et Delworth 2006, Giannini et al. 2003).

Barrages et projets de développement

Plusieurs opportunités d'investissement et de développement du bassin du Niger dépendent de l'élaboration et de la gestion de projets hydriques durables, y compris l'hydroélectricité, l'irrigation et la gestion des inondations (Anderson et al. 2005). Les barrages existants dans le bassin du Niger, au Mali (Barrage de Sélingué) et au Nigéria (barrages de Kanji, de Jebba et de Shiroro) fournissent de l'hydroélectricité à grande échelle à leurs pays respectifs (Mbendi sans date). D'autres barrages sont prévus, y compris le barrage de Tossaye, au Mali (en construction) et le barrage de Kandadji, au Niger (financé mais non débuté) (Figure 2.7.4). L'irrigation est minime en Guinée où l'agriculture pluviale prédomine. Au Mali, le barrage de Sélingué et deux barrages de diversion, Sotuba et Markala, peuvent fournir de l'eau à 114 000 ha de cultures irriguées (FAO 1997). Seule une fraction de la zone équipée pour l'irrigation au Mali est cultivée (Zwart et Ledert 2009), et l'abondante disponibilité de l'eau au cours des dernières années a mené à la mauvaise maintenance des infrastructures (Vandersypen et al. 2009). La construction du barrage de Tossaye au Mali rapportera une capacité hydroélectrique de 150 GWh par an, ainsi que l'irrigation de 8 300 ha



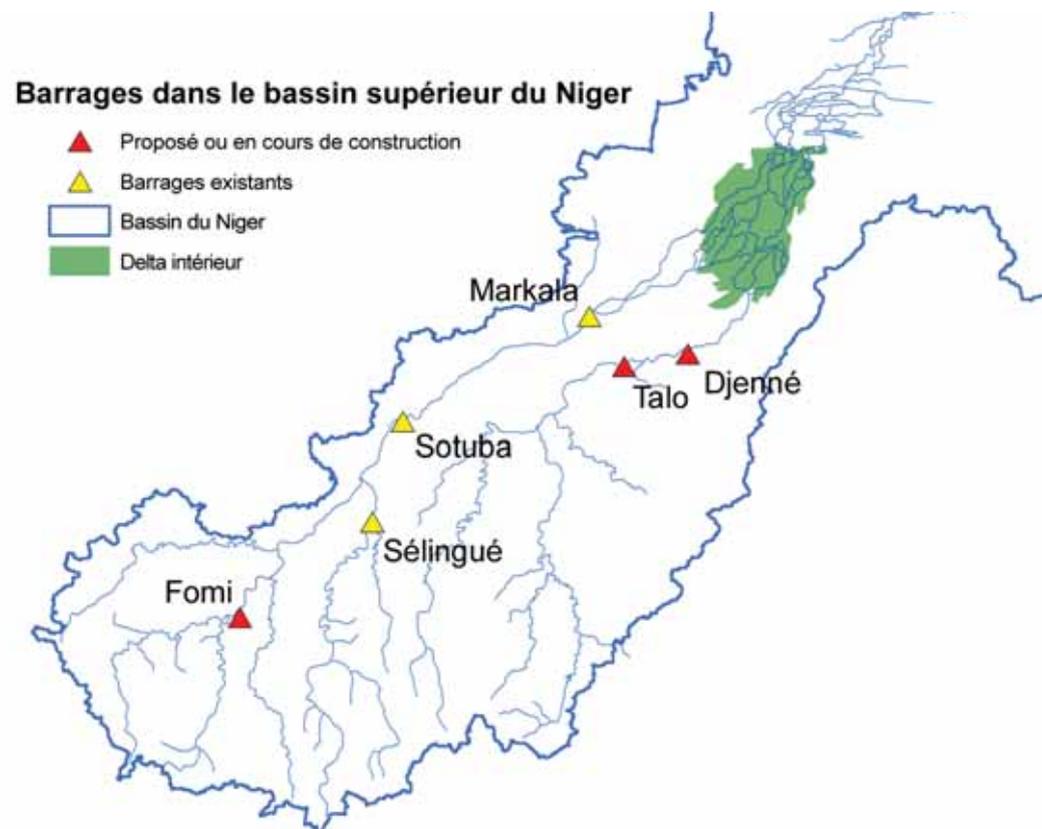


Figure 2.7.4 : Barrages dans le bassin supérieur du Niger (Source : Zwarts et al. 2005)

supplémentaires de terres (Zwarts et al. 2005) (Figure 2.7.4). Au Niger, le projet du barrage de Kandadji, qui a été à l'étude depuis trois décennies, est lancé. Il augmentera l'apport hydroélectrique du pays de 50 pour cent, fournira de l'eau potable à la ville de Niamey et permettra l'irrigation de 6 000 ha de terrain (AfDB 2008). Les impacts négatifs du barrage incluent la relocalisation d'environ 35 000 personnes vivant dans la zone du projet, et la perte approximative de 7 000 ha de terres agricoles que le réservoir inonderait (UNEP 2007). Les effets probables du barrages ont cependant été identifiés tôt au cours de la planification du projet, permettant d'identifier des mesures d'atténuation pour les phases ultérieures du processus de planification (UNEP 2007).

Barrage de Fomi

La construction d'autres barrages est à l'étude pour le bassin du Niger, y compris un barrage dans le nord-est de la Guinée, sur le fleuve Niandan, un affluent important du fleuve Niger. Le barrage de Fomi proposé (Figure 2.7.4) aurait 2,9 fois le volume de stockage du barrage de Sélingué, actuellement

le plus grand barrage au-dessus du delta intérieur du Niger. Une analyse coût-bénéfice du barrage de Sélingué existant révèle que les coûts considérables (comprenant la perte de terrains de pâturage et agricoles, ainsi qu'un changement du flux d'eau en aval), étaient équilibrés par de nombreux bénéfices. Parmi eux, une industrie de pêche productive, de l'eau pour l'irrigation, un nouvel habitat aviaire et une production électrique stable. La même analyse a montré que le barrage de Fomi était susceptible d'avoir des impacts négatifs plus importants en aval, et que si le Fomi venait à être exploité de façon similaire au Sélingué, son impact sur le flux serait proportionnel à son volume de stockage supérieur, soit trois fois plus. Il est estimé que cette perte de flux réduirait la production de riz dans le delta Intérieur de 34 500 tonnes, soit 40 pour cent de la production moyenne actuelle (Zwarts et al. 2005). L'analyse a révélé qu'en plus d'un rapport coût-bénéfice généralement défavorable, les bénéfices profiteraient disproportionnellement aux parties prenantes en amont, tandis que davantage de coûts retomberaient sur celles en aval (Zwarts 2005b).



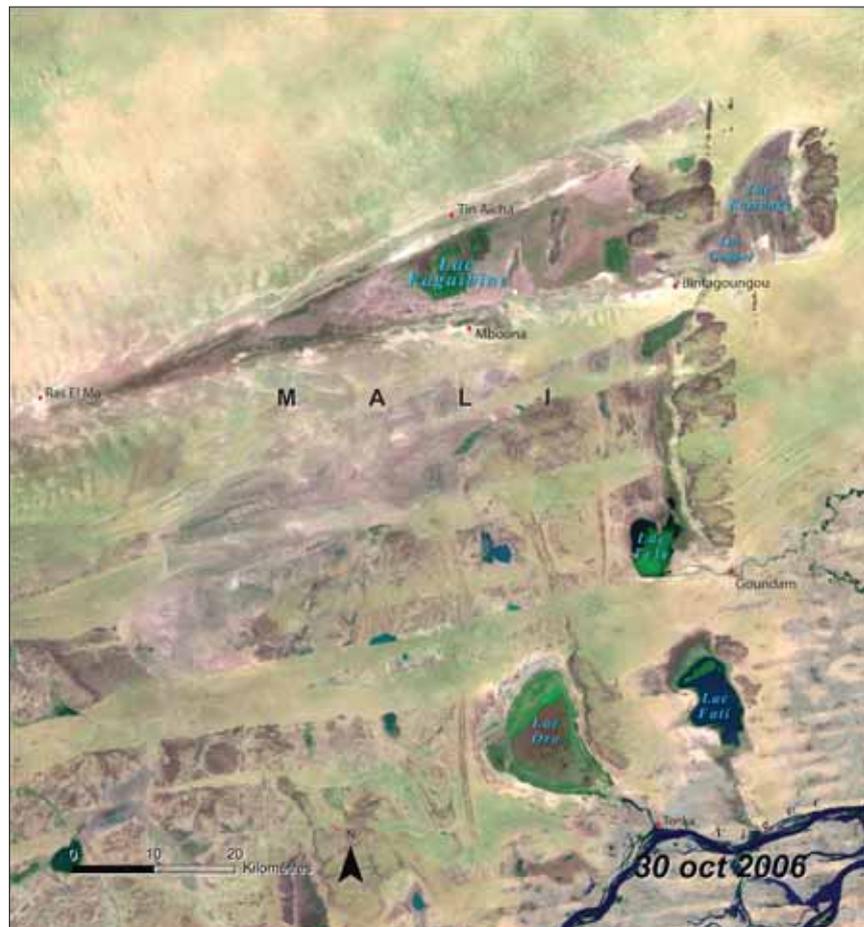
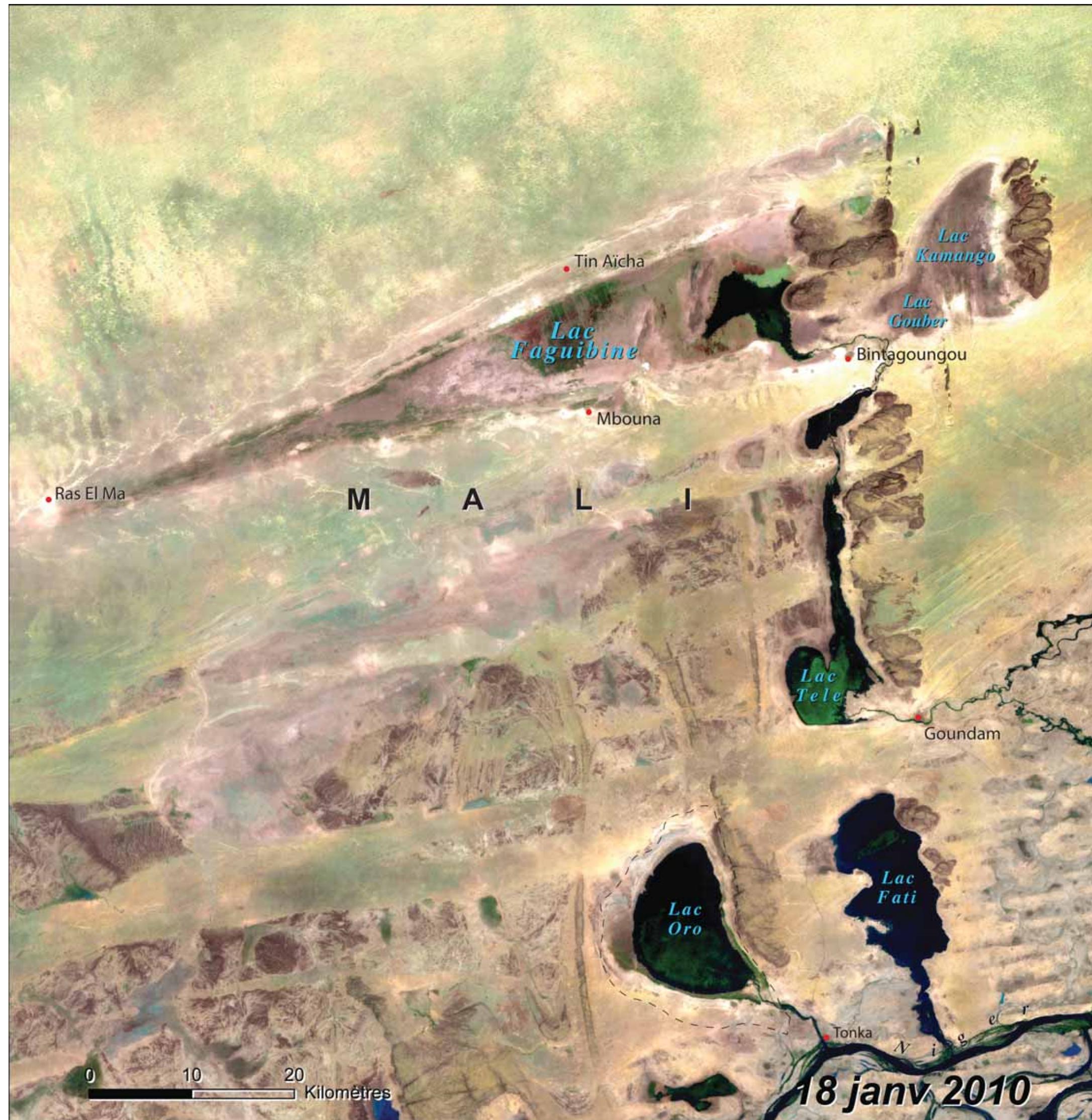


Figure 2.7.5 : Après s'être desséché dans les années quatre-vingt-dix, le lac Faguibine ne s'est pas rempli considérablement ; néanmoins, un peu d'accumulation s'est produite durant les années pluvieuses. Des travaux sont en cours pour nettoyer les débris des canaux qui alimentent le lac.

Lac Faguibine

Le lac Faguibine est situé dans la région sous-désertique Sahélienne, à l'ouest de Tombouctou, au nord du Mali. Les précipitations dans la zone du lac est de l'ordre de 250mm/an, la saison des pluies commencent à la mi-juin et durent trois à quatre mois. Lorsque le lac Faguibine est plein, comme il l'était sur l'image satellite des années soixante-dix (Figure 2.7.5), il figure parmi les plus grands lacs d'Afrique Occidentale, couvrant environ 590 km² (Duvail et Hamerlynck 2009). Le déclin du lac Faguibine a débuté durant les grandes sécheresses des années soixante-dix et quatre-vingt et dans les

années quatre-vingt-dix, le lac s'est complètement asséché. Avec la disparition du lac, beaucoup de moyens de subsistance locaux ont également été perdus, y compris l'agriculture, la pêche, et le pâturage de saison sèche (Duvail et Hamerlynck 2009). La pluie épars ne suffit pas à soutenir l'agriculture pluviale, et ne peut remplir le lac, sans l'apport de parties reculées du bassin du Niger où les pluies sont plus abondantes. Le lac reçoit son eau de deux principaux canaux qui ramènent l'eau du fleuve Niger lorsque les niveaux sont assez élevés (CNEARC 2004). Malgré de meilleures années pluviales depuis les grandes sécheresses (Descroix et al. 2009), le lac



Faguibine ne s'est pas considérablement rempli, ne formant qu'un petit étang pendant quelques années durant les saisons humides, et cela depuis les années quatre-vingt-dix. L'image satellite de la saison humide 2010 montre une accumulation d'eau d'environ 35 km² (six pour cent de la superficie de 1974).

Durant les périodes de sécheresses prolongées des années soixante-dix et quatre-vingt, les canaux portant l'eau entre le Niger et le lac

Faguibine ont été bouchés par du sable et de la végétation (UNEP sans date, BBC 2009). Le gouvernement du Mali a œuvré pour nettoyer les canaux, et a récemment reçu un engagement de US\$15 millions de la part du Programme des Nations Unies pour l'Environnement, pour soutenir ce travail. Un fonctionnaire travaillant avec le projet dit que les conditions s'améliorent déjà, comme l'atteste une augmentation spectaculaire de l'agriculture autour du lac, entre 2006 et 2010 (BBC 2009).

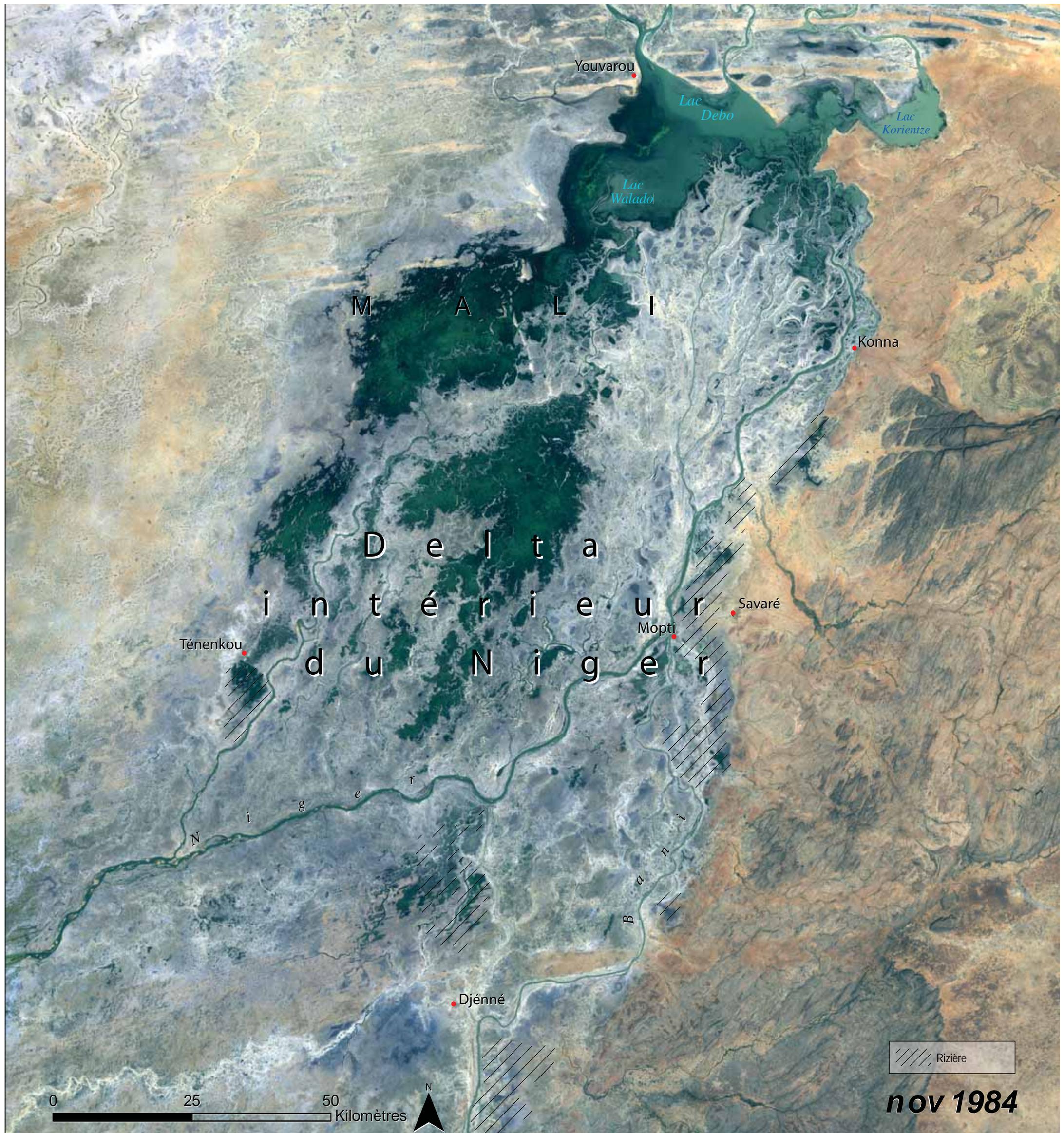
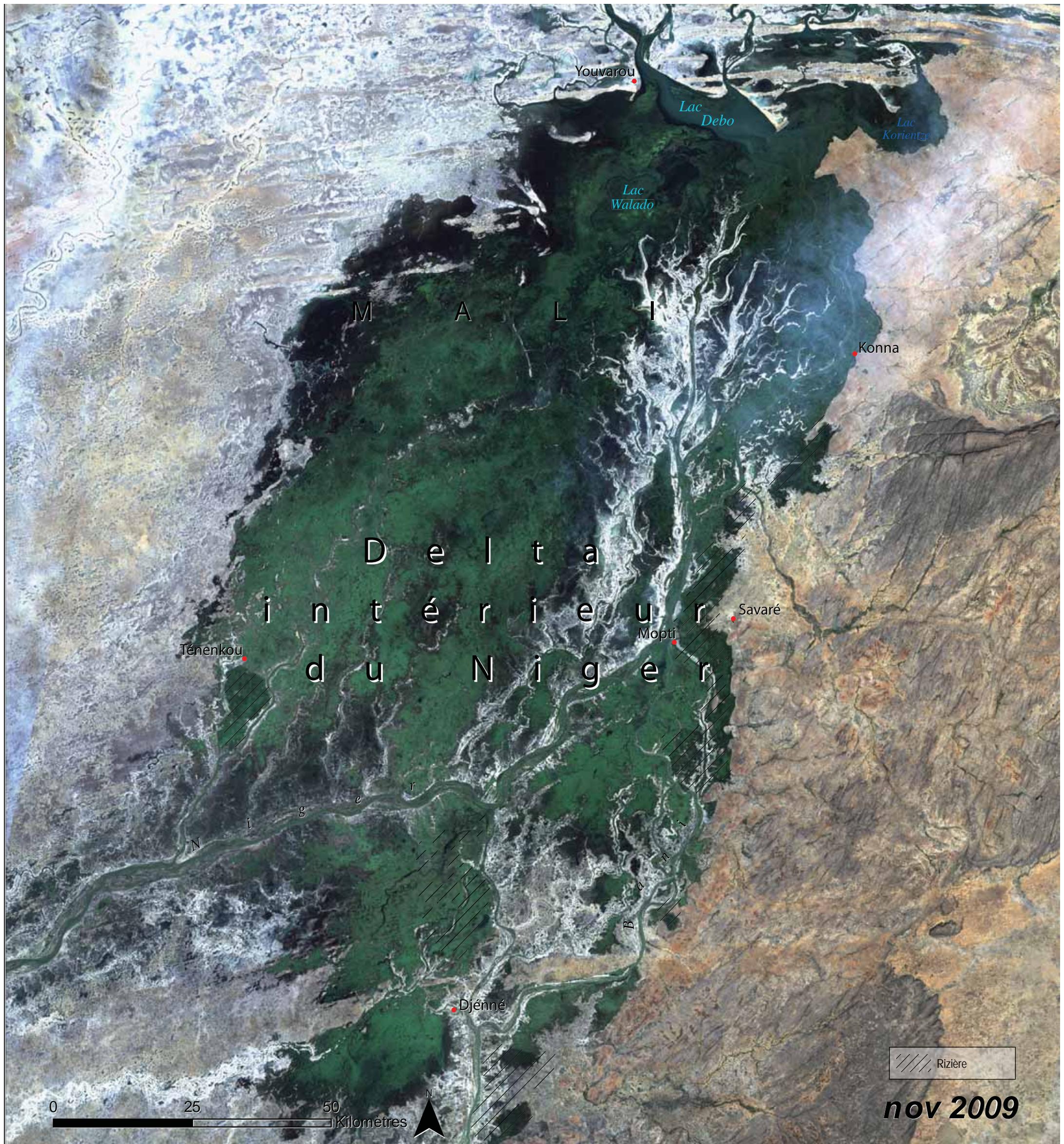


Figure 2.7.6 : Les inondations annuelles du delta intérieur du Niger se sont réduites spectaculairement durant les grandes sécheresses des années soixante-dix et quatre-vingt. En 2009, les précipitations et les inondations étaient plus normales

Delta Intérieur du Niger

Le delta intérieur du Niger est situé à environ 400 km au nord-est de Bamako, au Mali, là où le fleuve Niger se divise en d'innombrables canaux et rencontre le fleuve Bani. Il constitue la plus grande zone

humide d'Afrique Occidentale (Ramsar 2004), s'étalant le long de plaine inondable de 200 km du fleuve Niger, tandis qu'il traverse le Sahara sur sa route vers le nord, vers les bords sud du Désert du Sahara. Le delta intérieur est vital à l'économie du Mali, à ses habitants et à son environnement naturel. Le delta soutient environ



un million d'individus, ainsi qu'une diversité de biens et services écosystémiques, y compris une industrie de pêche productive, des pâturages pour les moutons et le bétail, des terres et de l'eau pour l'agriculture, ainsi qu'un habitat pour la flore et la faune. Ces attributs lui ont valu d'être classé Zone Humide d'Importance Internationale par la Convention de Ramsar (Ramsar 2010).

Le budget hydrique du delta est complexe et inclut un volume d'eau souterraine significatif. Cette complexité cause l'extension des périodes sèches au-delà de la reprise des précipitations proche de la normale, jusqu'à ce que les niveaux d'eaux souterraines soient rétablis. De plus, 48 pour cent de l'eau du delta est perdue au bénéfice de l'évaporation (Mahe 2009). L'inondation du delta dépend

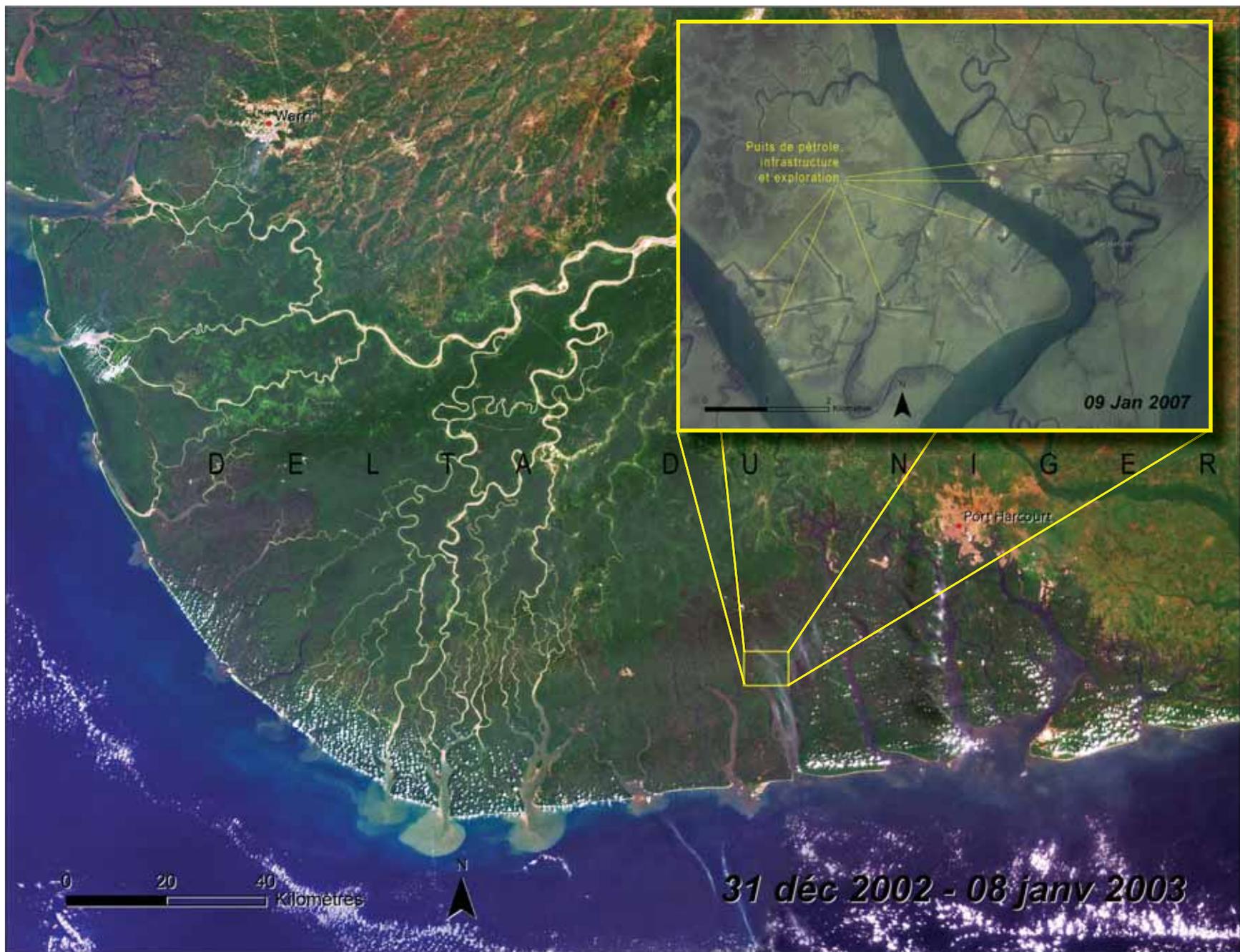


Figure 2.7.7 : Des puits et oléoducs de pétrole sont visibles à travers une grande partie du delta et les déversements y sont courants

des précipitations au-dessus des parties supérieures du fleuve Niger, sur les hauts-plateaux guinéens, et à un degré moindre, dans le Bani, au nord de la Côte d'Ivoire, tandis que les précipitations au-dessus du delta contribue de seulement cinq à dix pour cent de l'eau de ce dernier (Mahe 2009, Zwarts 2005). Durant les sécheresses des années soixante-dix et quatre-vingt, l'inondation du delta intérieur du Niger a décliné de façon spectaculaire, tel que le montre la paire d'images satellites des saisons sèches tardives de 1984 et 2009 (Figure 2.7.6, page

précédente). L'image de 1984 a été prise durant une période de sécheresse prolongée, tandis que celle de 2009 suit une année de précipitations proche de la normale.

Delta Côtier du Niger

Le delta marin du Niger (Figure 2.7.7) s'est formé au cours de plusieurs millions d'années, là où le fleuve Niger se déverse dans le Golfe de Guinée. Le delta héberge environ 31 millions de personnes (Amnesty





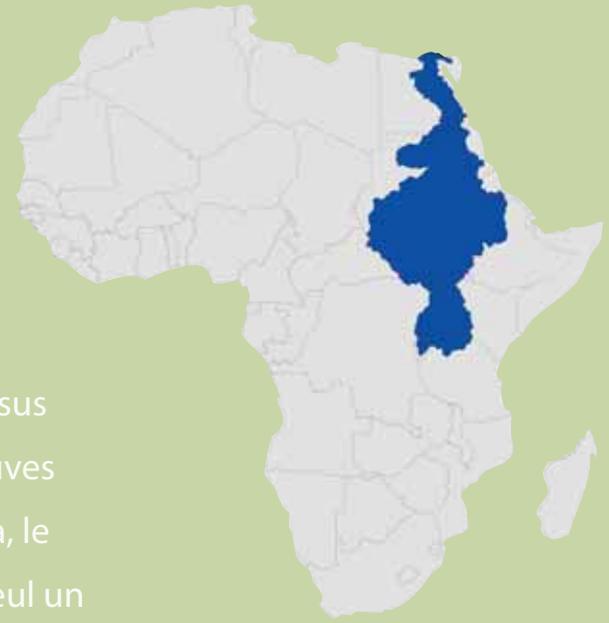
International 2006). Le delta est également largement reconnu comme étant un système naturel important. Il alimente une collection de biodiversité végétale et animale, en particulier au sein des 20 000 km² de forêts de mangroves du delta (IUCN sans date). Les habitants du delta et les systèmes naturels dont dépend la plupart, coexistent avec la grande majorité des 896 puits de pétrole et de gaz du Nigéria (NNPC 2009), ainsi qu'avec les infrastructures de stockage, les raffineries et les milliers de kilomètres d'oléoducs (IUCN sans date). Des milliers de déversements de pétrole, équivalents à un total de plus de trois millions de barils (You-Essien 2005), et des eaux usées provenant de la production pétrolière (Ajao et

Anurigwo 2002, Adedeji et Ako 2009), figurent parmi les principales causes du déclin de la qualité de l'eau dans la région du delta. Le torchage du gaz naturel, lequel engendre les pluies acides, est également un facteur y contribuant.

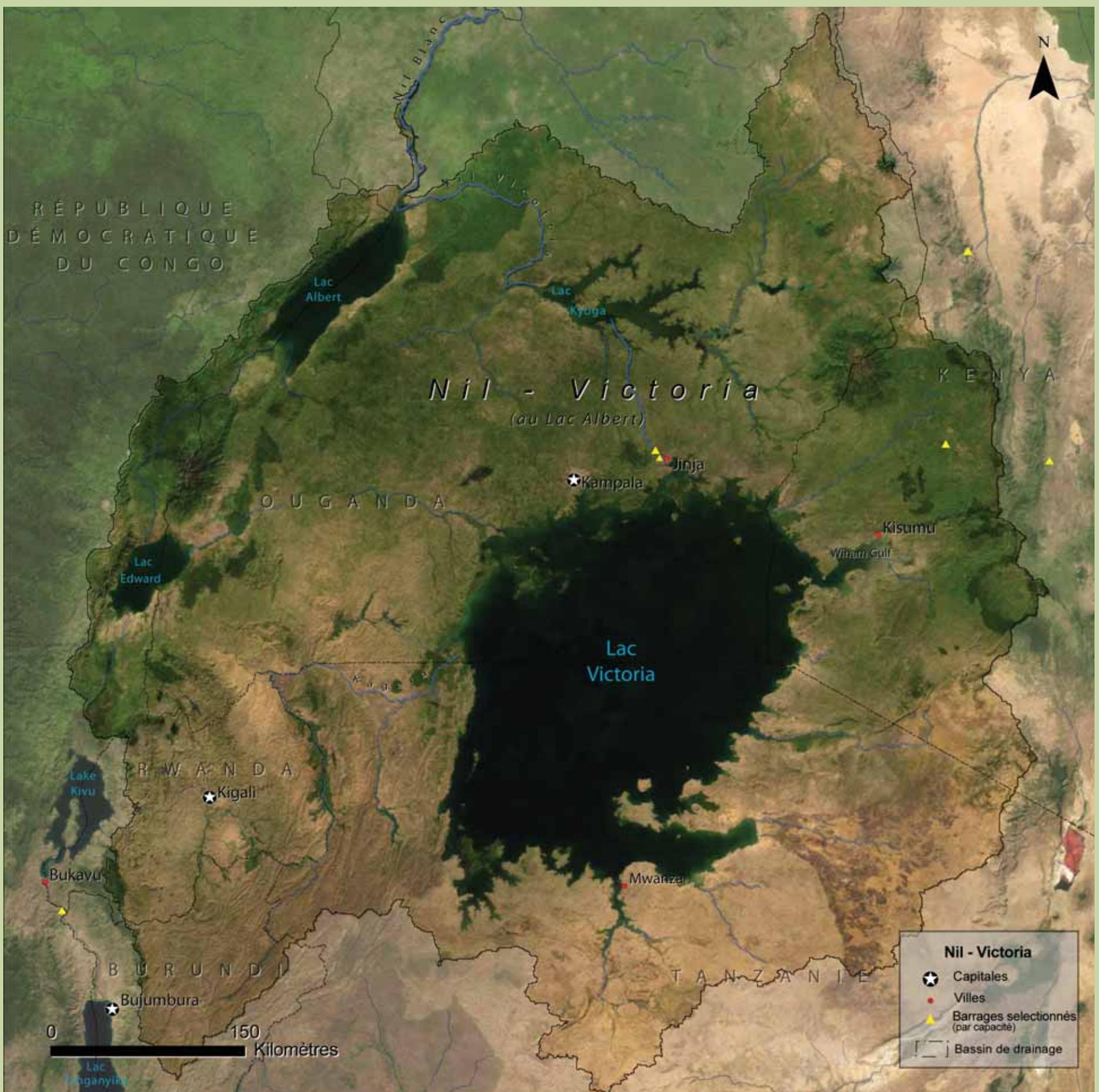
L'écoulement de surface, provenant des terres agricoles et l'utilisation accrue des produits chimiques agricoles, constituent également des problèmes significatifs (Adedeji et Ako 2009). L'élimination des eaux usées non traitées et des effluents provenant de sources domestiques et industrielles, les décharges sanitaires mal conçues (Ajao et Anurigwo 2002), constituent d'autres facteurs clés.



Bassin Fluvial du Nil



Le Nil commence son voyage de 6 800 km vers la mer, à 1 600 m au-dessus de celle-ci dans le nord du Burundi. Le Kagera est un des nombreux fleuves s'écoulant dans le lac Victoria, constitué par le Mara, le Nzoia, le Katonga, le Kagera, le Yala, l'Isanga, le Sondu, le Ruizi, le Kibos, le Simiyu et le Sio ; seul un fleuve en échappe: le Nil Victoria.





Les bassins hydrographiques de la plupart des fleuves entrants abritent des populations rurales denses, et la plupart des terres y sont utilisées à des fins d'agriculture de subsistance. Le flux est contrôlé par les barrages de Nalubaale et de Kira aux Chutes Owens, huit kilomètres en aval de la rive du lac Victoria. Après avoir quitté le lac, le fleuve traverse le lac Kyoga, un complexe de zone humide peu profonde qui est important pour la pêche en Ouganda (ILEC sans date). Le fleuve se dirige ensuite vers l'est, en direction du lac Albert, lequel collecte aussi de l'eau du fleuve Semliki. En s'écoulant vers le nord, le fleuve traverse la frontière entre l'Ouganda et le Soudan, et se divise en deux canaux : le Bahr al-Jabal et le Bahr az-Zaraf. S'écoulant à travers de vastes plaines, les rivières s'étendent en une large zone humide, le Marécage Sudd. Couvrant environ 8 000 km² pendant la saison sèche, le marécage déborde saisonnièrement, inondant une zone de plusieurs fois sa taille (Ahmad 2008). La grande superficie, la végétation dense et les températures élevées dans le Sudd conduisent à une perte d'environ la moitié de l'apport en eau total du Nil Blanc, par l'évapotranspiration (Sutcliffe et Petersen 2007). L'écoulement restant se déplace vers le nord, où il rencontre le Nil Bleu, 500 km en aval, à Khartoum.

Le Nil Bleu a pour origine le lac Tana, situé à 1 800 m au-dessus du niveau de la mer, dans les hauts-plateaux éthiopiens. Les précipitations moyennes annuelles y sont fortes et l'évapotranspiration relativement faible. Le Nil Bleu rassemble plus de 20 effluents entre le lac Tana et Khartoum, y compris les rivières Rahad, Didessa, Dabus et Dinder (Sutcliffe et Petersen 2007). Jusqu'à ce qu'il atteigne le barrage de Roseires, 80 km

à l'intérieur du Soudan, il commence à perdre davantage d'eau par évapotranspiration qu'il n'en reçoit de la pluie. Néanmoins, il en rassemble suffisamment pour fournir environ 65 pour cent du flux du Nil à Khartoum, là où il rejoint le Nil Blanc. Un apport supplémentaire venant des hauts-plateaux éthiopiens passe par le fleuve Atbara, lequel pénètre le Nil 300 km en aval.

A partir de là, l'effet combiné de grands et petits systèmes d'irrigation, d'élévation des températures et de diminution des pluies, fait que le fleuve perd plus d'eau qu'il n'en reçoit. Dans le nord du Soudan, le barrage de Merowe forme un lac artificiel qui atteindra 174 km de long lorsqu'il sera plein (Hildyard 2008). Le Nil, en Égypte, commence par le lac Nasser, un réservoir créé par le haut barrage d'Assouan. Une des plus grandes pompes du monde pousse l'eau du lac Nasser dans un canal qui la transporte vers le désert de l'Ouest, l'Égypte a débuté un grand projet d'irrigation et de relocalisation (WaterTech sans date).

Le long de son écoulement d'Assouan vers la mer Méditerranée, le Nil est bordé de canaux d'irrigation. Presque toute la population de l'Égypte (environ 78 millions de personnes) vivent le long du fleuve et dépendent fortement de ses ressources. Jusqu'au moment où le fleuve rejoint la mer, la plupart de son eau a été déviée pour l'irrigation. Avec l'eau, les sédiments qui n'auraient pas été emprisonnés derrière les nombreux barrages du fleuve, sont eux aussi déviés. Par conséquent, l'érosion en marge du delta et l'affaissement ou le compactage des sols du delta se produisent plus rapidement que le nouveau dépôt, causant l'enfoncement et l'érosion du delta (Bohannon 2010).

**Presque 78 millions
de personnes en
Égypte dépendent
fortement du Nil**



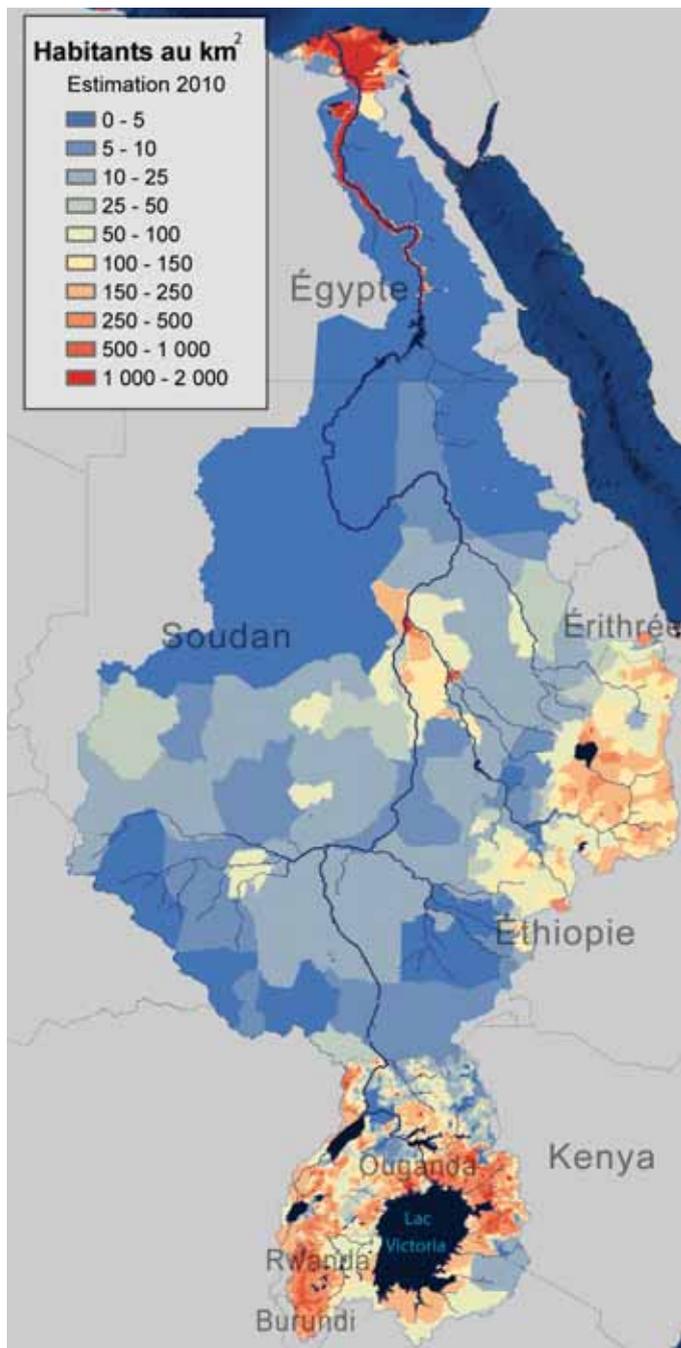


Figure 2.8.1 : Densité de population du bassin du Nil

Population

Le bassin du Nil a trois des concentrations de population les plus élevées en Afrique : autour du lac Victoria au Kenya et en Ouganda, dans les hauts-plateaux d'Éthiopie autour du Nil Bleu, et le long des rives du Nil en Égypte. Alors que l'Égypte ne représente que neuf pour cent de la surface du bassin, il détient presque un tiers de sa population. Tandis que presque 64 pour cent du bassin du Nil est situé au Soudan, un peu moins de 36 millions de personnes y habitent, soit la moitié du nombre vivant en Égypte (CIESIN 2010). Les 35 millions d'ougandais vivant dans le bassin vivent sur seulement 7,6 pour cent de la superficie du bassin. Les 1,6 pour cent du bassin occupés par le Kenya ont une densité de population encore plus élevée, moyennant environ 320 habitants au km². L'Éthiopie a environ 35 millions d'habitants dans le bassin du Nil, mais avec 363 315 km² de superficie, la densité de population y est plus faible (97 habitants au km²).

Au total, presque 224 millions de personnes vivent dans le bassin, soit presque un quart de la population de l'Afrique. Quatre des 11 pays du bassin ont des taux de croissance démographique parmi les dix premiers au monde. Seuls deux de ces pays sont au-dessus du taux moyen de croissance démographique en Afrique mais tous ont largement us taux au-dessus de la moyenne mondiale

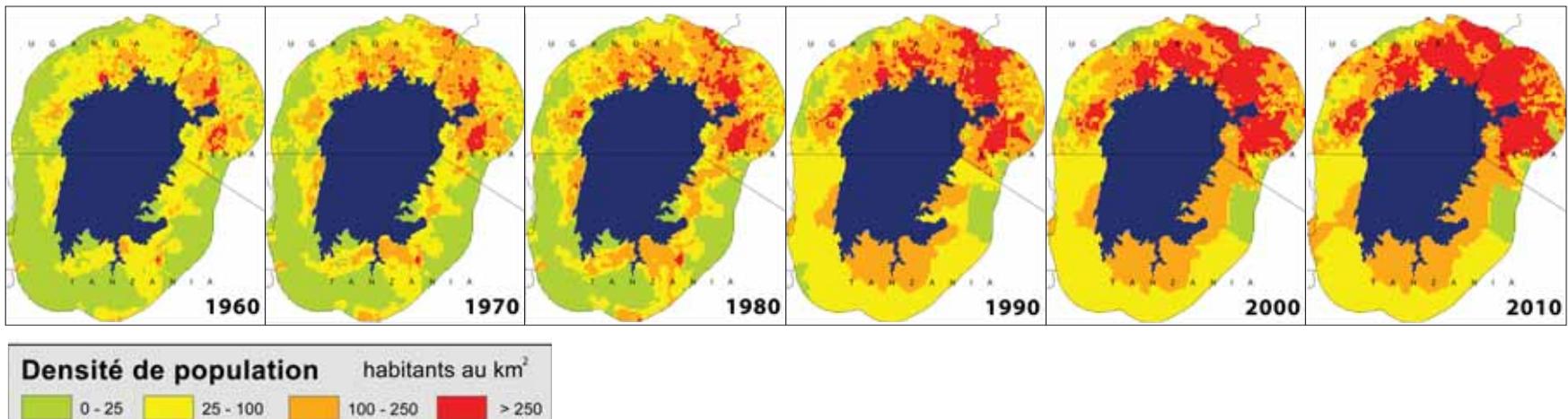
(UNESA 2008). Bien qu'on s'attende à ce que les taux de croissance au sein du bassin diminuent, les projections de ces derniers sont encore nettement au-dessus de deux pour cent par an, pour les deux décennies à venir.

Les populations urbaines augmentent rapidement dans tout le bassin. Le Burundi est le plus rural des pays du bassin, avec seulement 11 pour cent de sa population habitant dans les villes, alors que ses zones urbaines croissent de 6,8 pour cent par an (UNESA 2007). Le Soudan et l'Égypte sont les plus urbains des pays du bassin, avec respectivement 45,2 pour cent et 42,8 pour cent de leurs populations vivra dans les villes. Il est prévu qu'à l'horizon 2030, la majorité des habitants de la moitié des pays du bassin vivent dans des villes.

La dense population entourant le lac Victoria a augmenté plus rapidement que la population de l'Afrique en général, durant chaque décennie, depuis 1960. Une estimation de la population en 2010 montre que plus de 35 millions d'individus vivent dans les 100 km environnants le lac, et que le double de ce nombre vit dans le bassin versant du lac Victoria, lequel s'étend à travers le Rwanda, le Burundi, la République-Unie de Tanzanie, l'Ouganda et le Kenya (CIESIN 2010) (Figure 2.8.2). Les ressources du lac sont vitales aux modes de subsistance de bon nombre de ces individus et revêtent une importance significative pour tous. La croissance démographique a conduit à une davantage de déforestation, de conversion des terres, d'activité agricole, du têtes de bétail, d'industrialisation, d'élimination de déchets, et de pression de pêche (Lehman 2009). Cette dense population et les changements conséquents de l'environnement à ses alentours, ont eu un impact profond sur les lacs et les écosystèmes dont cet environnement fait partie.

Avec 11 pays et 224 millions d'habitants partageant les eaux du Nil à travers des régions climatiques très différentes, la gestion de l'eau, et la gestion hydrique transfrontalière en particulier, devient très complexe. Dans une zone caractérisée par la rareté de l'eau et la pauvreté, le taux d'accroissement démographique rapide est susceptible d'aggraver les difficultés dans un proche avenir.

Figure 2.8.2 : La dense population rurale bordant le lac Victoria a augmenté de façon spectaculaire depuis 1960 (SEDAC 2010)



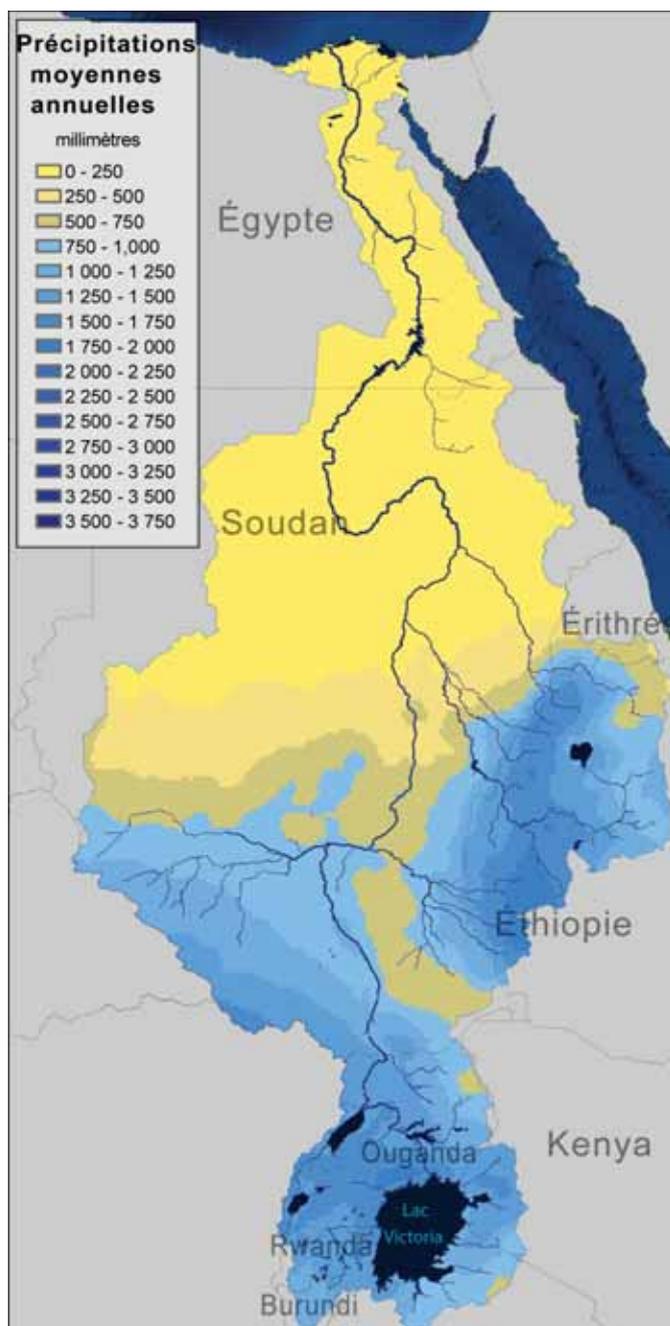


Figure 2.8.3 : Précipitations moyennes annuelles du bassin du Nil

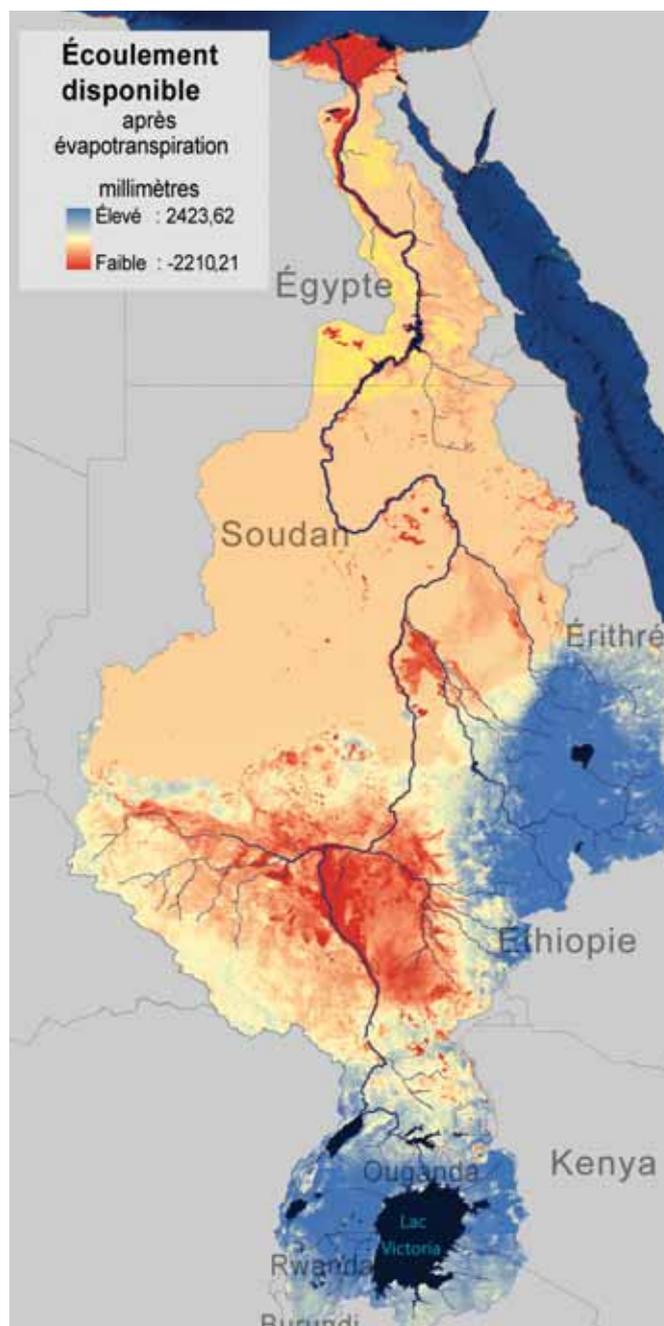


Figure 2.8.4 : Écoulement modélisé disponible du bassin du Nil

Précipitations et Bilan Hydrique

De grands extrêmes, en termes de précipitations annuelles et d'évapotranspiration, séparent les pays du bassin en deux catégories : les utilisateurs nets de l'eau et les contributeurs nets au bilan hydrique, avec des extrêmes à chaque extrémité du continuum. L'Égypte reçoit en moyenne dix millimètres de pluie par an dans sa partie du bassin. De plus, la chaleur du désert et la conséquence de la transpiration hydrique au-dessus des vastes zones d'irrigation, font de ce pays un utilisateur net de l'eau. Elle dépend entièrement de l'eau provenant des pays plus humides en amont pour survivre. Le Soudan est également un utilisateur net d'eau. Bien qu'il reçoive 46 pour cent des précipitations totale du bassin, les

fortes températures, l'irrigation et la présence du Marécage Sudd provoquent des pertes hydriques importantes du fait de l'évapotranspiration.

A l'extrême inverse, l'Éthiopie ne reçoit que 22 pour cent des précipitations totale du bassin, mais les températures moins élevées et l'évapotranspiration dans les hauts-plateaux permettent à la majeure partie de cette eau de ruisseler. Ainsi, l'Éthiopie contribue à bien plus que la moitié du bilan hydrique total du fleuve du Nil. L'Ouganda, la République-Unie de Tanzanie et le Kenya contribuent également à un écoulement conséquent du Nil, bien qu'une bonne partie de cette eau se perde dans le Marécage Sudd, dans le sud du Soudan, avant d'atteindre Khartoum.

Barrages, Irrigation et Conventions Hydriques

Alors que la quantité d'eau dans le bassin du Nil est susceptible de fluctuer à cause du changement et de la variabilité climatiques, il est possible de présupposer que la disponibilité en eau n'augmentera pas. Etant donné que la croissance démographique projetée dans le bassin est au-dessus de la moyenne, cette ressource limitée doit être partagée entre un nombre accru d'individus. Ceci rend la gestion durable de l'eau encore plus cruciale, à la fois au sein des pays et parmi eux. Des projets de développement sont en cours dans plusieurs des pays du bassin, et sont en cours de prospection dans d'autres. Ils comprennent des barrages hydroélectriques, des projets d'irrigation, et d'autres projets de diversion de l'eau (Figure 2.8.5). Tous ont des répercussions sur l'utilisation des ressources à travers le bassin, indépendamment des frontières régionales et nationales.

La régulation du flux sortant du lac Victoria à Jinja, en Ouganda, a un effet net sur les niveaux d'eau du lac (Kull 2006, Swenson et Wahr 2009, Kiwango et Wolanski 2008, Sutcliffe et Petersen 2007), et des impacts moins directs sur plusieurs des fonctions de l'écosystème de ce dernier (Kiwango et Wolanski 2008, Minakawa et al. 2008). La République-Unie de Tanzanie et le Kenya, partageant le lac avec l'Ouganda, font également l'expérience de ces effets. Il en est de même pour tous les autres pays en aval du bassin, à un degré moindre. Les débats sur la construction du Canal de Jonglei dans le sud du Soudan se poursuivent, malgré les préoccupations au sujet de sérieux impacts environnementaux (Howell et al. 1988, Krishnamurthy 1980, Laki 1994) sur une zone humide classée Zone Humide Ramsar d'importance internationale (UN News Centre 2006). L'eau que le canal préserverait de l'évaporation et de la transpiration pourrait cependant être d'une grande valeur pour l'agriculture dans les communautés en aval, en Égypte et au Soudan. En Égypte, de grands volumes d'eau sont déviés dans le désert pour irriguer les cultures, et créer une nouvelle zone de peuplement ainsi que de nouveaux emplois pour la population croissante. La demande en eau que ceci créera a cependant d'importantes implications pour la mise en valeur de l'eau dans les localités en amont et en aval.

La littérature prédit souvent que la rareté de l'eau sera une source future de conflit entre les pays la partageant. Si tel est le cas, le bassin du Nil serait une zone de trouble très probable, vu ses nombreux pays riverains et la distribution inégale des ressources. Néanmoins, un examen récent de l'historique des conflits au sujet des ressources hydriques suggère que les conflits violents internationaux sont rares. Les pays seraient plutôt susceptibles de coopérer dans la gestion des ressources hydriques partagées (Barnaby

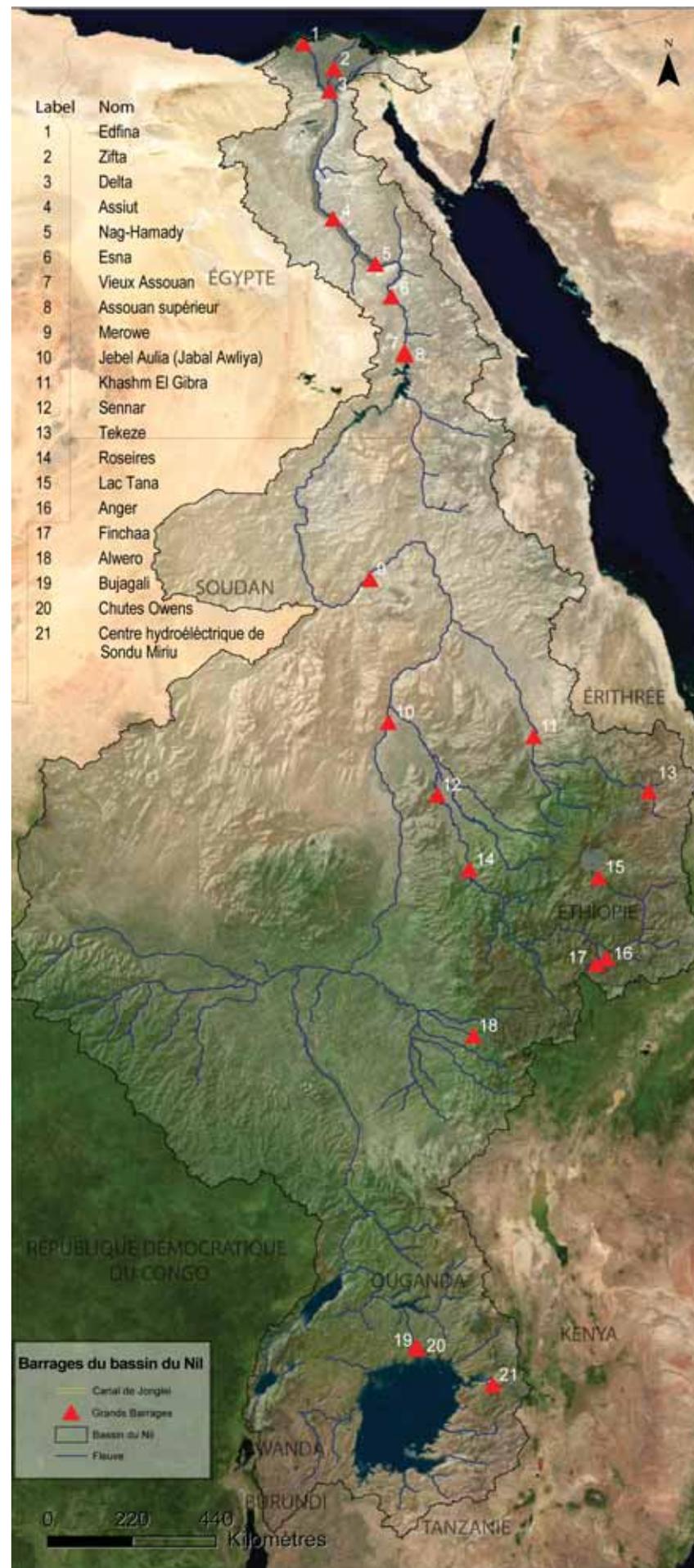


Figure 2.8.5 : Projets de barrages et autres projets hydriques

2009, Yoffe et al. 2003). La création de l'Initiative du Bassin du Nil en 1997 est que la plus récente des nombreuses tentatives en faveur de la gestion des ressources du Nil, de part et d'autre des frontières nationales. Cette initiative demeure un travail en cours (Cascao 2009), alors que les pays continuent à passer en revue des propositions de projets hydroélectriques et d'irrigation (IR 2006).



Nao Itzuka/Flickr.com

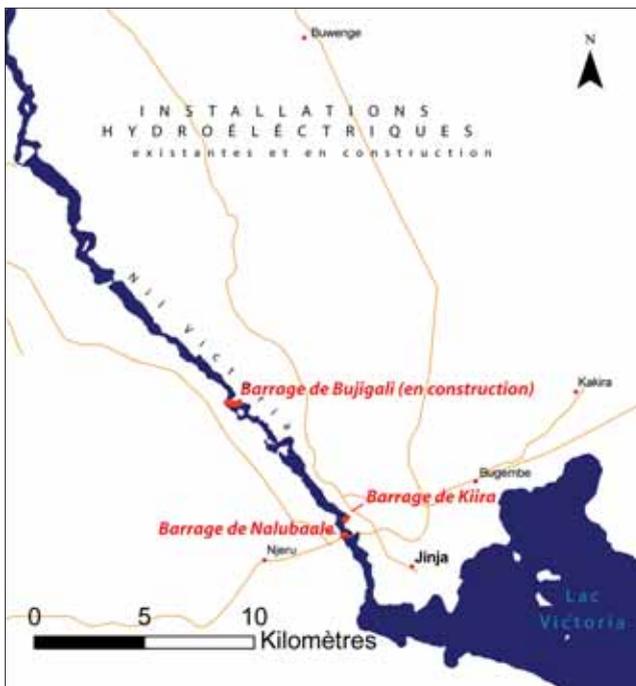


Figure 2.8.6 : Installations hydroélectriques

Lac Victoria, Barrages des Chutes Owens et Niveaux d'Eau

La plupart de l'apport au bilan hydrique du lac Victoria provient directement des pluies tombant au-dessus de celui-ci (82 pour cent de l'apport), et de l'évaporation (76 pour cent de l'écoulement) (Kiwango et Wolanski 2008). Le principal flux entrant est le fleuve Kagera, lequel entre du côté sud-ouest du lac. Plusieurs ruisseaux de taille moindre, entrent le long des rives est et sud du lac. Le seul ruisseau sortant est le Nil Victoria, à Jinja, en Ouganda. Depuis 1959, le barrage de Nalubaale contrôle l'écoulement à Jinja (Kull 2006) (Figure 2.8.6).

Le niveau d'eau du lac Victoria a diminué de deux mètres (GRLM 2010) depuis la construction du barrage de Kira, en 1999, et à la fin 2006, soulevant des questions concernant le lien avec les déversements d'eau à travers les barrages de Jinja (Kull 2006). Nombreuses études ont trouvé que la moitié du déclin du niveau d'eau, durant cette période, était causée par l'écoulement aux barrages de Jinja, celui-ci étant en excès par rapport aux taux fixés dans un accord avec l'Égypte. Ces taux étaient fixés pour maintenir le rapport d'avant construction des barrages, entre l'écoulement et les niveaux du lac (Kull 2006, Swenson et Wahr 2009, Kiwango et Wolanski 2008, Sutcliffe et Petersen 2007). Un troisième barrage, celui de Bujagali, est maintenant



Figure 2.8.7 : Emplacement des barrages de Nalubaale et de Kiira

en cours de construction à environ dix kilomètres en aval des barrages existants. Il est nécessaire de formuler des hypothèses sur les niveaux d'eau futurs, au cours de la planification de ces barrages et de leur mise en opération actuelle et future. Des enquêtes scientifiques récentes ont trouvé des changements spectaculaires, et parfois rapides, du niveau du lac, au cours des deux derniers siècles (Sutcliffe et Peterson 2007, Nicholson et Yin 2000). La viabilité future de l'hydroélectricité provenant du Nil Victoria est généralement incertaine et aussi variable que le climat. Le niveau d'eau du lac risque également d'affecter d'autres services des écosystèmes tels que la pêche, les zones humides, les espèces envahissantes, la qualité de l'eau (Kiwango et Wolanski 2008), l'habitat des moustiques responsables du paludisme (Minakawa et al. 2008).

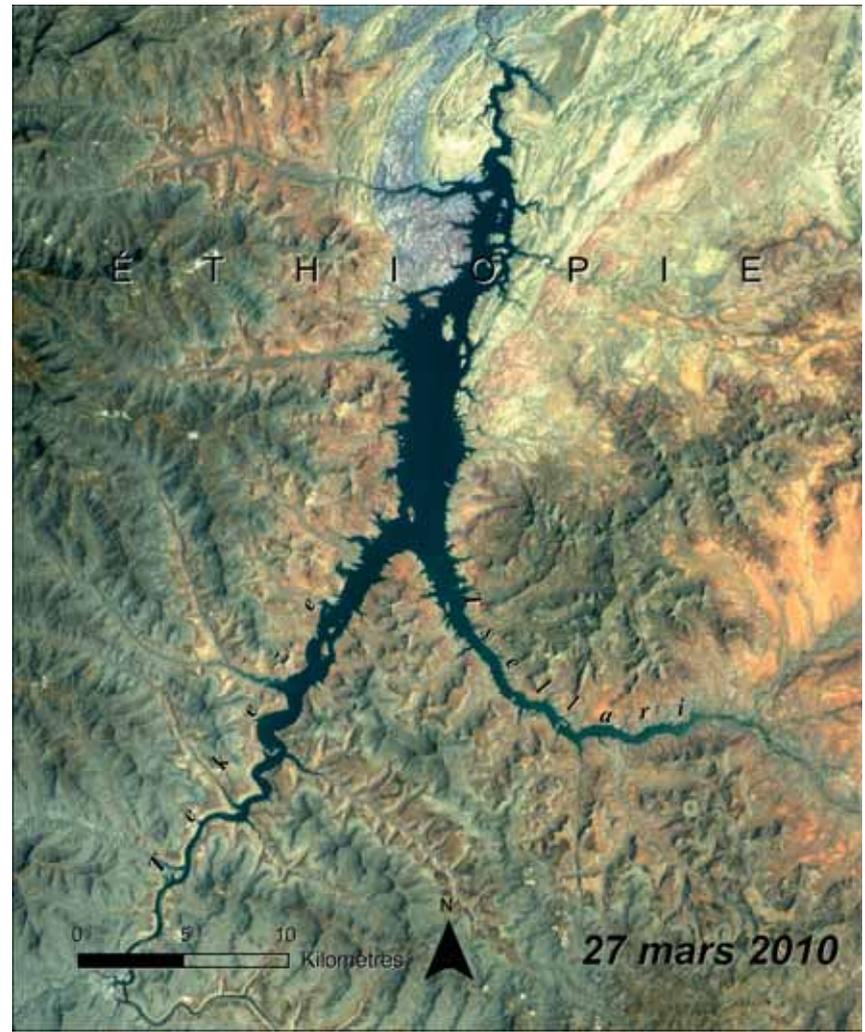


Figure 2.8.8 : Site du barrage de Tekezè, avant et après clôture de la construction du barrage



Le barrage de Tekezè dans le nord de l'Éthiopie

Barrage de Tekezè

Le fleuve Tekezè, dans le nord de l'Éthiopie est un affluent du fleuve Atabara, lequel rejoint le cours principal du Nil, à 300 km au nord de Khartoum. Début 2009, pour un coût final d'environ US\$365 millions, un entrepreneur chinois a achevé le barrage de Tekezè, qui s'élève à 188 m au-dessus du lit du fleuve. Le barrage est principalement prévu pour une production hydroélectrique de 300 MW, lorsqu'il sera complètement opérationnel. Entreprenant sans l'aval de la naissante Initiative du Bassin du Nil, la Société Éthiopienne d'Electricité (Ethiopian

Electric Power Corporation (EEPCo) a signé un partenariat avec la Société Nationale des Ressources Hydrauliques et d'Ingénierie Hydroélectrique de la Chine (Chinese National Water Resources and Hydropower Engineering Corporation) pour le projet. Comme avec plusieurs autres grands barrages hydroélectriques, des préoccupations ont été exprimées quant aux impacts environnementaux. En 2008, un grand éboulement a nécessité l'ajout d'énormes murs de soutènement pour empêcher l'érosion des pentes, augmentant le coût du projet de US\$42 millions.

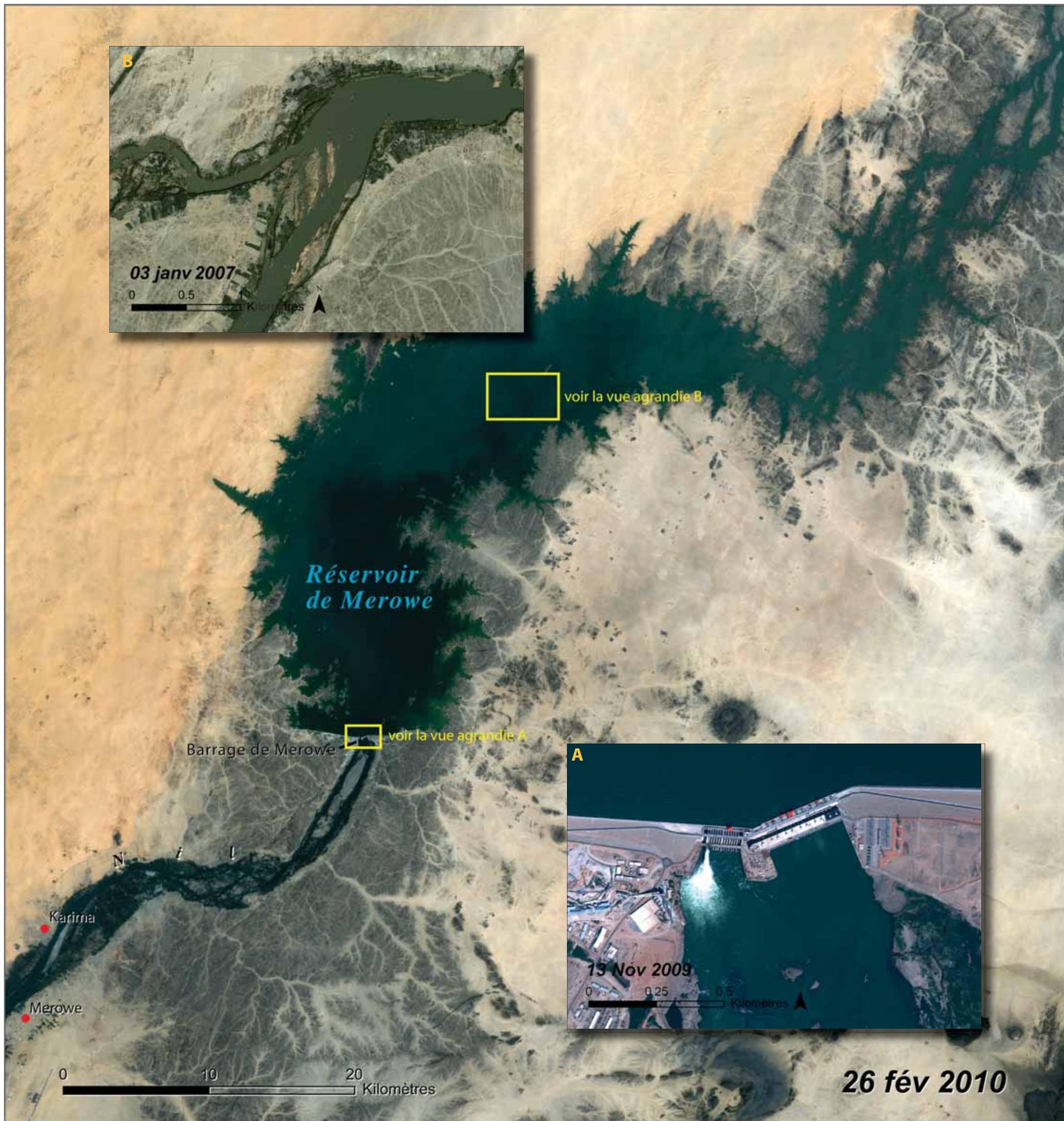


Figure 2.8.9 : Le barrage de Merowe, sur la quatrième cataracte du Nil, a été achevé en mars 2009

Barrage de Merowe

Le barrage de Merowe, situé dans le centre-nord du Soudan, près de la quatrième cataracte du Nil, est l'un des plus grands projets hydroélectriques d'Afrique. Lorsqu'il sera pleinement opérationnel, le barrage produira 6 000 GWh d'électricité annuellement et pourra irriguer environ 400 000 ha de cultures (Lahmeyer Int. sans date). Même selon les standards

régionaux, le Soudan a grandement besoin de plus de capacité de production et de distribution électrique, pour soutenir son développement fortement nécessaire (Moussa et Bethmann 2007). Cependant, les coûts humain, environnemental et archéologique du barrage de Merowe ont été évalués comme conséquents et ont soulevé des plaintes de la part d'ONG et de l'ONU (EAWAG 2006, IR sans



date, UN News Centre 2006). Il a été rapporté que lorsque le barrage a commencé à se remplir, en août 2006 (IR 2006b), il a affecté 10 000 familles, forçant des dizaines de milliers d'individus à déménager de leurs domiciles et à abandonner leurs modes de subsistance (Hildyard 2008). Le barrage a submergé une zone substantielle de terres agricoles, tel que le montre l'image satellite haute résolution de

janvier 2007, 18 mois avant la fermeture du barrage (Encadré B, Figure 2.8.9). A l'instar de plusieurs des pays du bassin du Nil, le Soudan a envisagé plusieurs barrages le long de sa partie du fleuve (Independent 2008, UNEP 2007). Le plus controversé d'entre eux a été le barrage de Kajbar, proposé pour la deuxième cataracte du Nil.

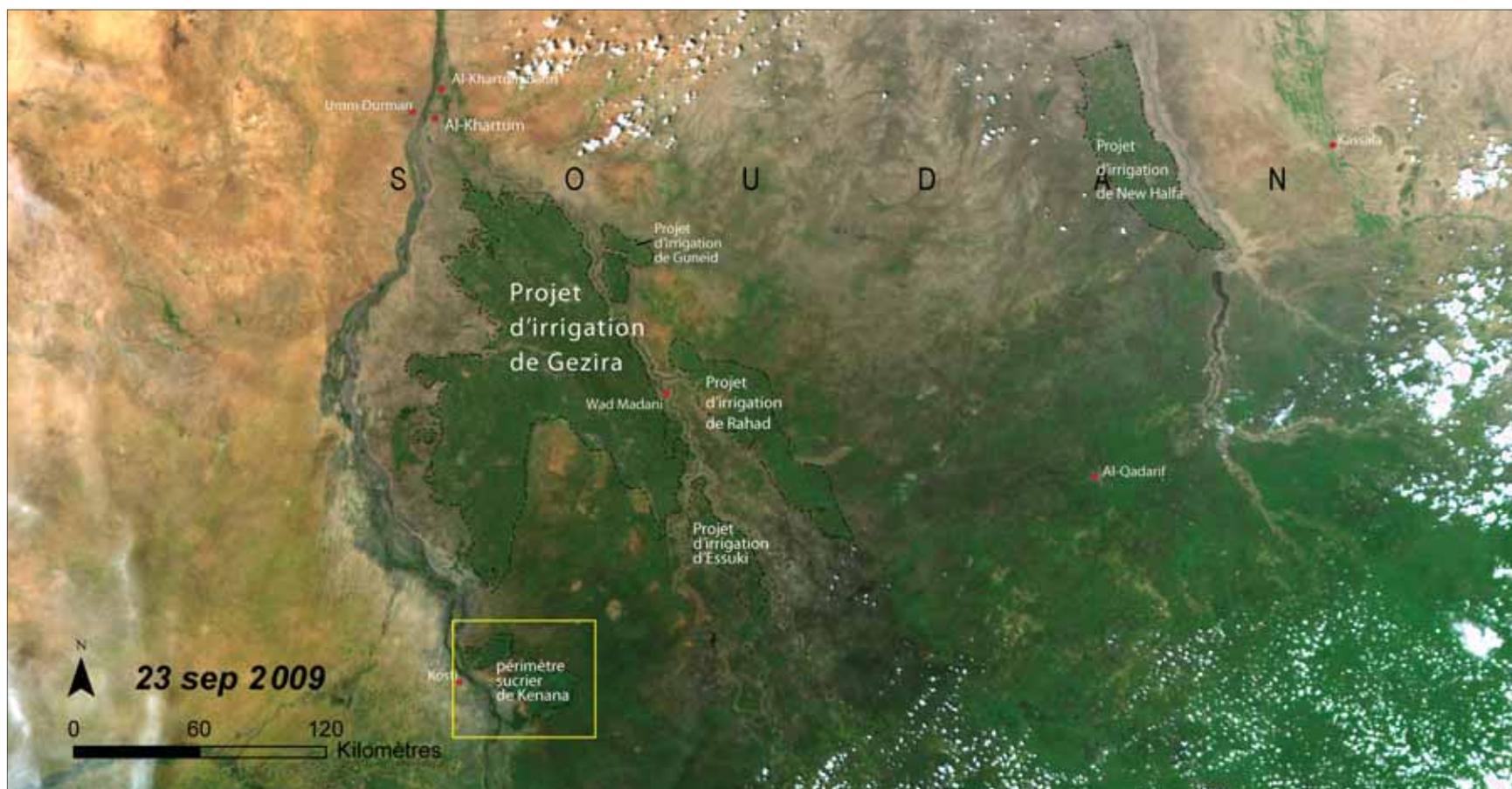


Figure 2.8.10 : Le Soudan a la deuxième plus grande proportion de terres irriguées en Afrique, après l'Égypte ; ces terres irriguées incluent l'énorme projet d'irrigation de Gezira, construit au début du XXIème siècle

Irrigation du Soudan

Le Soudan a 48 000 km² de terre potentiellement irrigables, mais connaît des limites hydriques contraignant une zone qui pourrait être développées. Actuellement, 16 800 km² de terrain sont sous irrigation à grande échelle, et un total d'un peu moins de 20 000 km² sont des terres irriguées (Figure 2.8.10). Les projets pour augmenter la zone irriguée se basent sur la quantité d'eau qui serait disponible si le canal Jonglei venait à être terminé.

Plusieurs problèmes, y compris l'inefficacité et le mauvais entretien, ont réduit la productivité de l'irrigation actuelle du Soudan. Le projet d'Irrigation de Gezira (presque 9 000 km²), construit au début du XXIème siècle, est l'un des plus grands au monde. D'autres projets, tels que celui de Rahad, de New Halfa et de la plantation sucrière de Kenana, ont été construits dans les années soixante et soixante-dix (Figure 2.8.10). Bien que le projet de Kenana soit généralement perçu comme étant efficace et pertinent d'un point de vue environnemental, l'irrigation du Soudan en général est classée dernière parmi les pays du bassin du Nil, en termes d'efficacité et d'utilisation de meilleures pratiques (Figure 2.8.11).

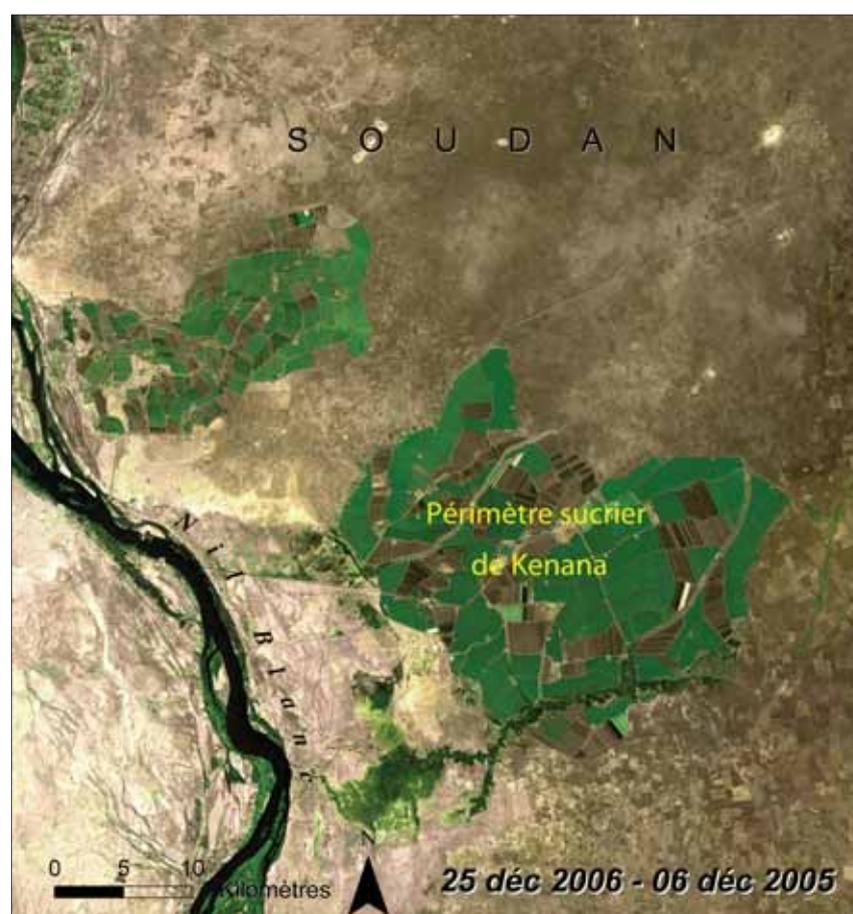
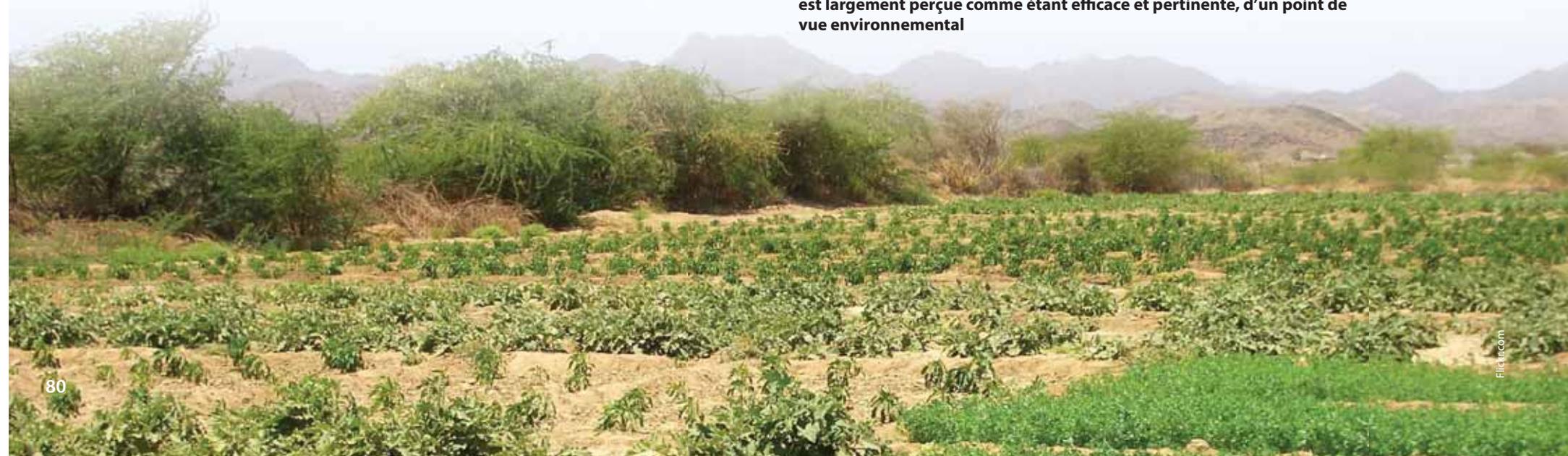


Figure 2.8.11 : Tandis que plusieurs des installations d'irrigation du Soudan ont fait face à des problèmes liés à l'efficacité, la Plantation Sucrière de Kenana est largement perçue comme étant efficace et pertinente, d'un point de vue environnemental



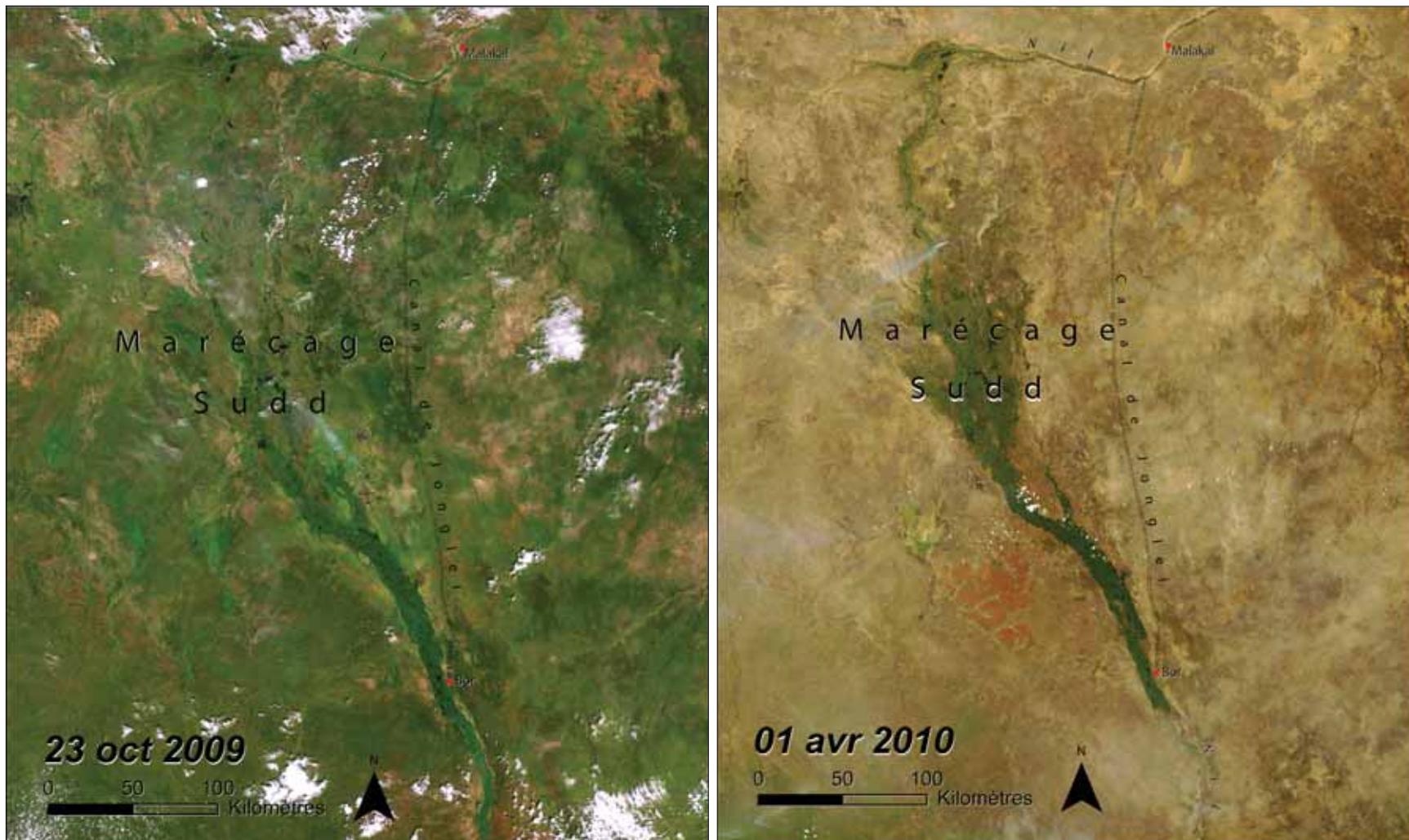


Figure 2.8.12 : Images en saison pluviale et sèche, du Marécage Sudd. L'inondation annuelle crée une énorme zone humide qui fait partie intégrante de l'écosystème local et des modes de subsistance des habitants locaux



La construction du canal s'est achevée en 1983, et depuis, l'excavateur est resté sur le site

Le Marécage Sudd et le Canal de Jonglei

Le Sudd est une vaste zone humide, dans le sud du Soudan, dans laquelle le fleuve du Nil serpente sur presque 644 km, perdant beaucoup de son flux en évapotranspiration (Howell et al. 1988). Durant la saison sèche, les zones humides se contractent en 8 300 km² de marécages permanents (Krishnamurthy 1980). Durant la saison des pluies, d'avril à octobre, le Sudd déborde sur la zone environnante pour couvrir 80 000 km². Ce système d'inondation annuelle fait partie intégrante de l'écosystème, et est vitale au développement de la flore et la faune, de même qu'au mode de vie des communautés nilotiques locales (Krishnamurthy 1980, Laki 1994).

Le projet du Canal de Jonglei est conçu pour dévier une portion du flux du Nil autour de la zone humide, pour ainsi réduire la perte évaporatoire et augmenter la quantité d'eau pour l'irrigation en aval. Le projet est resté en suspend depuis novembre 1983, lorsque le conflit militaire dans la zone a arrêté la construction (Laki 1994). Le conflit est à présent terminé et la reprise des travaux est envisagée.

Une étude datant de 1954 : "Le Projet Nil Equatorial et ses effets sur le Soudan anglo-égyptien, soulevait des préoccupations concernant le Canal de Jonglei, lesquelles demeurent des sources de

controverse à l'heure actuelle". L'étude concluait qu'un canal déviant 55 millions de m³ d'eau par jour du Nil Blanc, équivaldrait à une perte de 36 pour cent de pâturages et de 20 000 tonnes métriques de poissons. Il réduirait également la production agricole de manière spectaculaire (Laki 1994). Les pasteurs qui dépendent de l'inondation saisonnière de la zone perdront l'herbe nourrissant leurs troupeaux et l'accès à l'eau potable. De plus, les canaux gêneront leur migration saisonnière. Plusieurs études corroborent ces préoccupations, et une seconde phase peu étudiée du projet affectera sans aucun doute davantage la zone. Les écologistes ont exprimé leurs préoccupations quant aux effets du projet sur l'écosystème, affectant potentiellement le climat, le renouvellement de l'eau souterraine, la qualité de l'eau, les pêcheries et les habitants locaux (FAO 1997).

Les proposants du projet soutiennent que les atouts surpasseront les impacts négatifs sur les zones humides. Ils affirment qu'en plus d'améliorer l'irrigation en aval, il réduira de 300 km la distance de voyage entre Khartoum et Juba, la ville principale dans le sud. L'impact de ce projet est difficile à prévoir et une étude plus approfondie est nécessaire, pour s'assurer que les décisions prises sont basées sur des faits scientifiques pertinents et mis à jour.



Figure 2.8.13 : Le débordement du déversoir du lac Nasser a créé une chaîne de lacs énormes, au milieu du désert occidental de l'Égypte, entre 1998 et 2002 ; depuis ils se sont largement évaporés

Les Lacs de Toshka

Au milieu des années quatre-vingt-dix, les niveaux d'eau du lac Nasser, sur le fleuve du Nil, ont avoisiné la capacité de stockage du réservoir de 183 m au-dessus du niveau de la mer. L'eau excédentaire a été relâchée à travers un déversoir qui s'écoulait vers la dépression de Toshka, dans le désert occidental. Au cours des nombreuses années suivantes, le débordement continu a créé une chaîne de lacs sur les terres les

plus arides d'Égypte. Après avoir culminé à 182 m au-dessus du niveau de la mer en 1998, les niveaux se sont abaissés et le flux à travers le déversoir s'est arrêté en 2001. Depuis, les niveaux des lacs de Toshka se sont également abaissés, principalement par évaporation, et à un moindre degré, par infiltration. Au taux d'évaporation actuel, l'eau restante sera perdue, et le lac disparaîtra au cours des quelques années à venir (Figure 2.8.13).

Le Projet de la Nouvelle Vallée

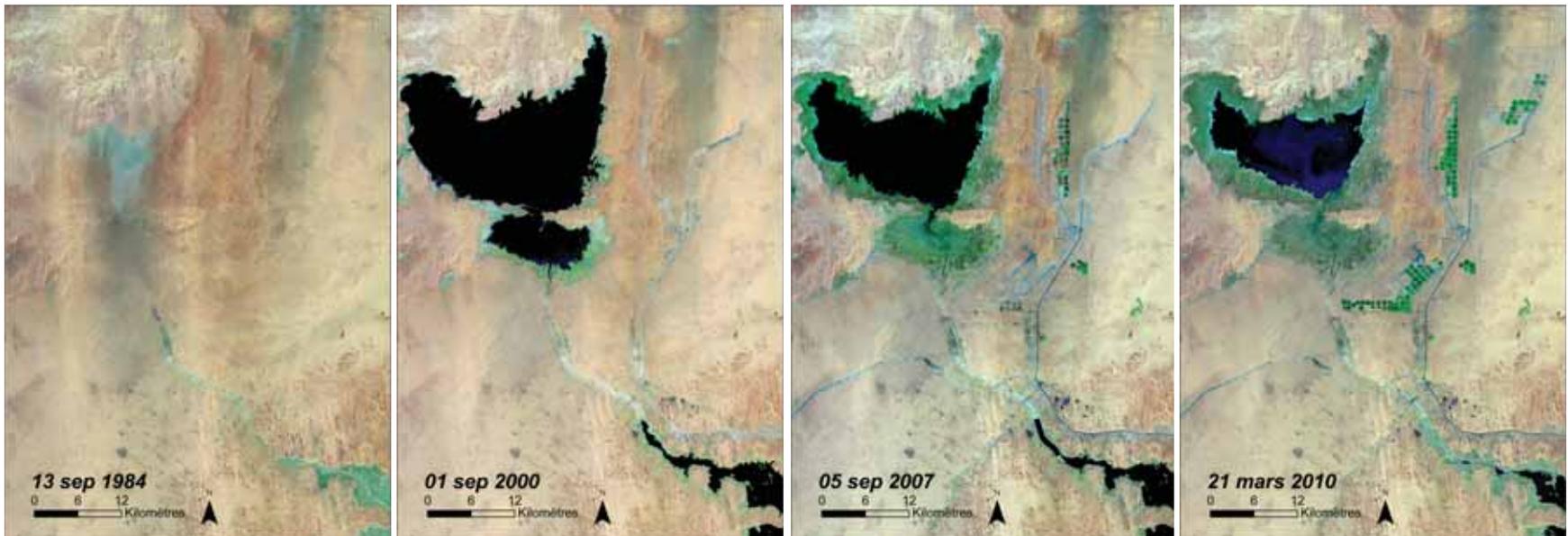


Figure 2.8.14 : Le projet d'irrigation de la Nouvelle Vallée utilise l'eau du lac Nasser pour cultiver des champs de blé, de tomates, de raisins et d'agrumes dans le désert. L'objectif est d'irriguer plus de 3 300 km² de terres désertiques et d'attirer les colons loin de la vallée du Nil densément peuplée

En janvier 1997, le gouvernement égyptien a commencé la construction d'un réseau de canaux, pour continuer à acheminer l'eau du lac Nasser vers la portion orientale de la dépression de Toshka, avec pour objectif d'irriguer 3 360 km² de terres dans le désert Occidental. Le projet de la Nouvelle Vallée était conçu pour soulager le surpeuplement au sein de la Vallée du Nil, densément peuplée, et de contribuer au développement économique de l'Égypte.

Un des nombreux défis auxquels les promoteurs ont eu à faire face, était que, seuls dix pour cent des sols de la zone étaient adéquats pour l'irrigation durable, sans aménagement extensif. De plus, la zone est sujette à l'érosion éolienne et à la formation de dunes, ce qui contraint considérablement le développement durable et

l'implantation dans la zone. Il existe également un coût pour créer l'infrastructure attirant et soutenant la main d'œuvre nécessaire loin de la zone moins difficile de la Vallée du Nil.

L'énorme projet s'élève à un coût de plus d'un milliard de dollars. Les critiques sont préoccupés par le retrait anticipé de cinq milliards de mètres cubes d'eau par an, ce qui réduirait l'eau disponible pour les cultivateurs du delta, et rendrait ainsi l'Égypte plus vulnérable à la sécheresse et estreindrait les ressources disponibles pour la mise en valeur des opportunités. La majeure partie des infrastructures nécessaires est déjà disponible, et les cultures se développent d'ores et déjà, entre autres des raisins, des cantaloups, des tomates, des concombres, des agrumes et du blé.



La Station de Pompage Mubarak pompe de l'eau du Canal Nasser et la déverse dans les canaux d'irrigation





La Pêche

Le lac Victoria a la plus importante industrie de pêche continentale de l'Afrique (Njuru et al. 2008). Le lac d'antan contenait une grande variété de poissons natifs, y compris des centaines d'espèces de *haplochromine cichlid* (Baskin 1992). L'introduction de la non-indigène et prédatrice perche du Nil dans le lac, en 1962, a conduit à un déclin rapide des espèces endémiques haplochromines et à une explosion de la population de perche du Nil dans les années soixante-dix et quatre-vingt (Goudswaard et al. 2008). Le succès de l'introduction de la perche du Nil a mené à un boom économique de l'industrie de la pêche. La prise annuelle est passée de 30 000 tonnes métriques à la fin des années soixante-dix, à 560 000 tonnes métriques au début des années quatre-vingt-dix (Njuru et al. 2008). Cette croissance a profité majoritairement aux grossistes et aux transformateurs commerciaux, plutôt qu'aux petits opérateurs composés largement de femmes locales, et qui avaient historiquement dominé le commerce du poisson (Njuru et al. 2008). La capture a quelque peu baissé depuis le début des années quatre-vingt-dix, mais se situe toujours à 500 000 tonnes métriques (évaluées entre US\$300 et US\$500 millions par an (Yongo et al. 2005).

La pêche n'est pas la source principale de nourriture ou de subsistance pour le Soudan, où seulement 1,7 kg de poisson par personne par an sont consommés (FAO 2008), bien que le secteur

ait crû progressivement pendant des décennies. Le Nil, ses affluents et les lacs artificiels, sont la source d'environ 90 pour cent de cette production. Il existe plus de 100 espèces de poissons pour l'industrie de pêche continentale, la plus importante étant la perche du Nil, le poisson chat noir du Nil, et le poisson chat argenté. La pêche est surtout une activité artisanale de petite échelle, qui utilise des filets maillants, des filets à senne, des palangres, des filets dormants et des paniers sont utilisés (FAO 2008).

La pêcherie marine et d'eau douce en Égypte sont conséquentes. Ces pêcheries continentales extraient généralement leurs produits du Nil, y compris au fleuve lui-même, de quelques lagons côtiers saumâtres, de canaux d'irrigation et des réservoirs sur le Nil, le plus important étant le lac Nasser (FAO 2008). La pêche continentale compte pour 70 pour cent de la capture totale du pays. Les espèces les plus importantes économiquement sont le tilapia, le poisson chat et la perche du Nil (FAO 2008). La capture de poisson de l'Égypte a quelque peu diminué, après avoir culminé à 400 000 tonnes à la fin des années quatre-vingt-dix et au début des années deux mille (FAO 2008).

Qualité de l'eau

L'écoulement agricole, les déchets industriels municipaux, de même que les déchets domestiques non-traités, ont mené à la sérieuse dégradation de la qualité de l'eau du lac Victoria, durant les dernières décennies (Scheren et al. 2000, USAID 2009) (Figure 2.8.15). Tandis que les déchets industriels sont généralement confinés dans les zones urbaines (Kampala, Mwanza et Kisumu, entre autres), les eaux usées non-traitées et l'écoulement agricole se produisent le long de la côte densément peuplée. Du phosphore et, à un degré moindre, de l'azote provenant des déchets non-traités, déversent des nutriments excessifs dans l'eau, encourageant la floraison des algues, et contribuant à l'invasion par la jacinthe d'eau, au milieu des années quatre-vingt-dix (Scheren et al. 2000, Williams et al. 2005, Albright et al. 2004). De plus, l'érosion accélérée, causée par la déforestation et la conversion des zones naturelles pour l'agriculture, a fait que des accumulations de sédiments de plus en plus conséquents se déversent dans le lac (Machiwa 2003).

En traversant le Soudan, le fleuve ramasse également un important ruissellement des sources agricole et urbain non ponctuelles (NBI 2005a). Bien que la qualité de l'eau ait été considérée comme s'alignant aux standards de l'Organisation Mondiale de la Santé (NBI 2005a), il existe des concentrations localisées de forte pollution chimique, surtout dans la région de Khartoum (NBI 2005a).

Figure 2.8.15 : Le ruissellement superficiel de la zone d'Entebbe, une zone au sud de Kampala, est représenté par des nuages verdâtres s'étendant dans la mer. Le lourd ruissellement provenant de déchets domestiques, industriels et agricoles, de même que des sols érodés, dégradent la qualité de l'eau du lac Victoria



En Égypte, la qualité de l'eau subit la pression d'une dense population et d'activités agricoles et industrielles qui l'accompagnent, lesquelles sont concentrées le long des rives du Nil. Dans la Haute-Égypte, la pression vient surtout des agro-industries, plus particulièrement de la canne à sucre (NBI 2005b, Wahaab 2004). En aval, où les populations sont plus concentrées, une grande variété de pollution industrielle et d'eau usée pénètre le fleuve par le Caire et les autres centres urbains de la Basse-Égypte (NBI 2005b, Wahaab et Badawy 2004). Alors que l'Égypte a multiplié ses efforts pour construire des infrastructures supplémentaires de traitement des déchets, la croissance démographique a dépassé la capacité, et une quantité considérable d'eau usée domestique pénètre le Nil sans avoir été traitée (NBI 2005b).

La Jacinthe d'Eau Envahissante

La jacinthe d'eau est une plante aquatique envahissante originaire d'Amérique du Sud. Elle est apparue dans le lac Victoria en 1989 et a ultérieurement envahi presque toutes les rives du lac au cours des sept ou huit années suivantes ; la infestation plus importante se produit le long de la côte du nord et dans le Golfe de Winam au Kenya (Williams et al. 2005, Albright et al. 2004) (Figure 2.8.16). L'infestation aurait causé de nombreux problèmes sérieux, y compris le souillage de l'eau potable, l'encrassement des prises d'eau citadines, le freinage de la pêche et de la navigation, un changement des populations de poissons, la mort de poissons, la réduction du tourisme, l'expansion de l'habitat des moustiques et l'encrassement des fossés de drainage, des canaux d'irrigation et des ponceaux (Cavalli et al. 2009, Williams et al. 2005). L'élimination physique et les contrôles chimiques limités se sont montrés inefficaces pour arrêter l'invasion (Albright et al. 2004). En décembre 1996, un charançon se nourrissant de jacinthe a été introduit comme agent biologique de contrôle (Williams et al. 2005). A la fin des années quatre-vingt-dix, la mauvaise herbe a commencé son déclin rapide et a été largement

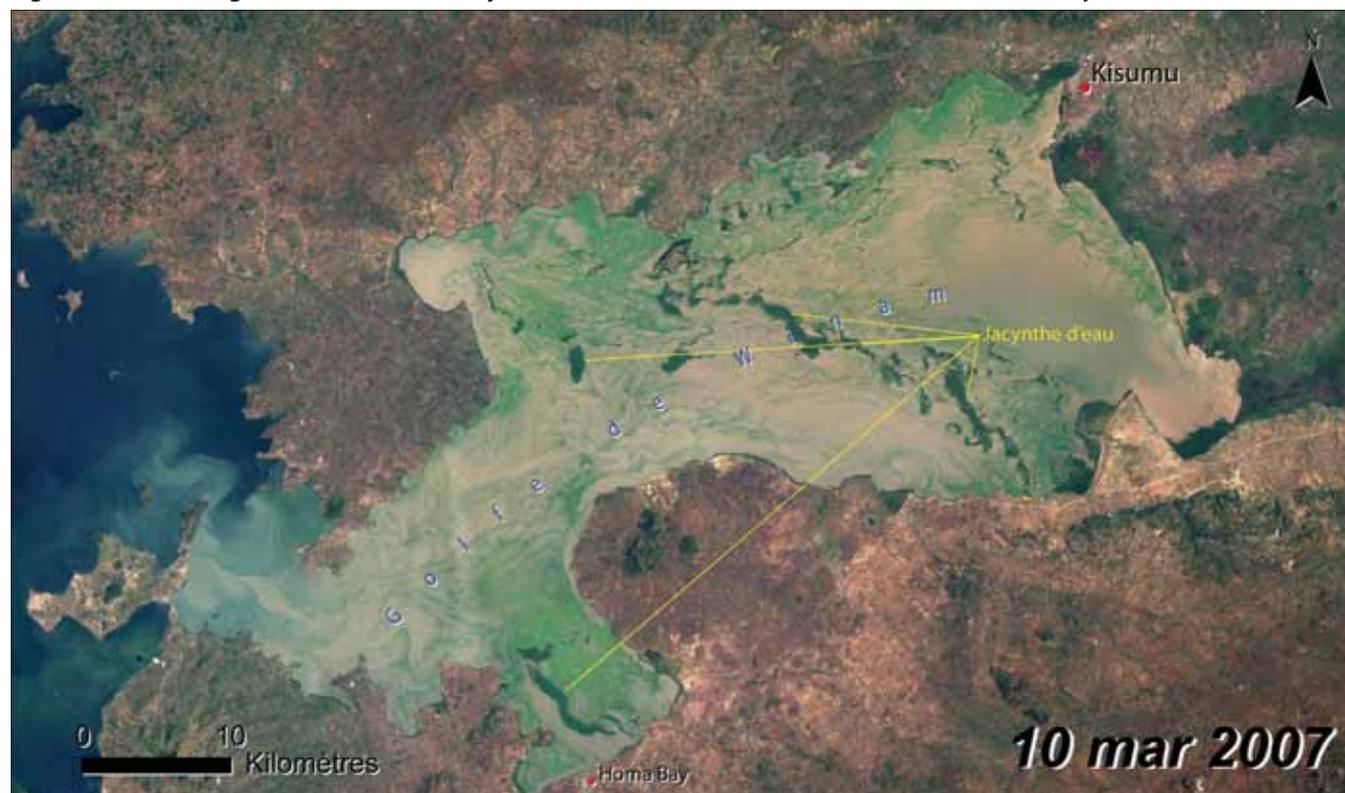


Figure 2.8.16 : La population rurale dense juste au nord du Golfe de Winam au Kenya empire l'érosion des sols, le ruissellement agricole et les déchets domestiques qui s'écoulent dans le lac Victoria

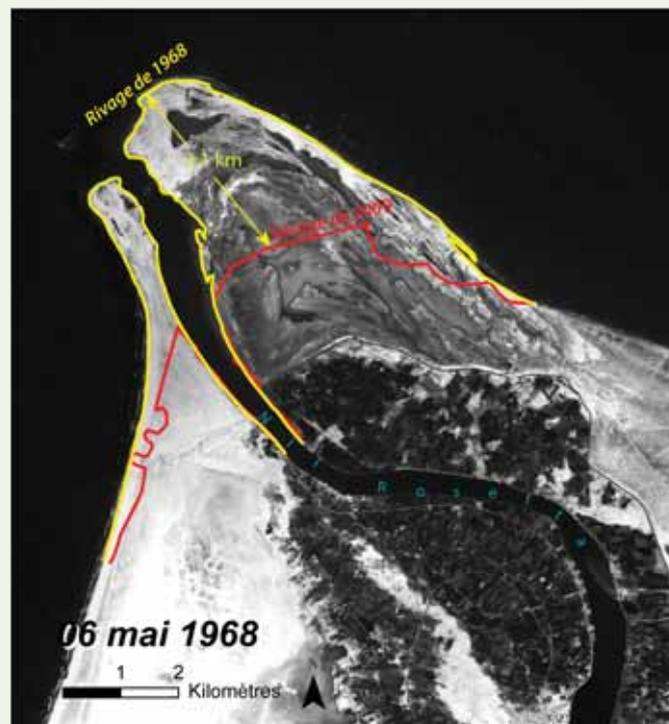
éliminé au début de l'année 2001 (Albright et al. 2004). Les causes de ce rapide déclin ne sont pas claires, mais peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs en plus des charançons, dont les conditions climatiques changeantes provenant de l'évènement El Niño/oscillation australe (ENSO) de 1997 et 1998 (Williams 2007).

En 2006, la jacinthe d'eau commençait à repousser dans certaines zones infestées des années quatre-vingt-dix. Le Golfe Winam dans l'est du Kenya a subi une lourde infestation, au début 2007 (Figure 2.8.17).

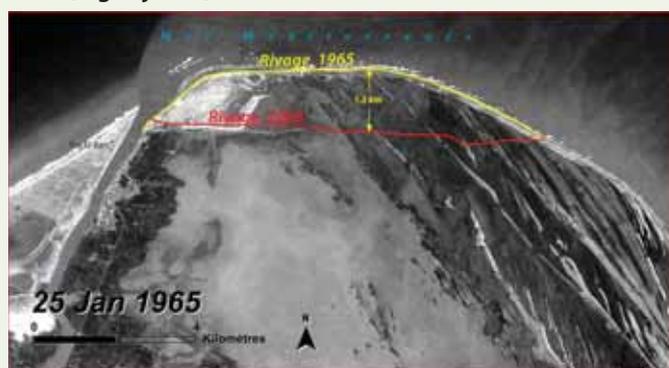
Figure 2.8.17 : De larges matelas flottants de jacinthe d'eau sont visibles dans le Golfe de Winam, Kenya, en mars 2007



Étude de Cas: Érosion Côtière et l’Affaissement du Delta du Nil



L'érosion a fait perdre plus de 3 km au Promontoire de Rosette entre 1968 (image de gauche, ligne jaune) et 2009 (image de droite, ligne jaune)



Entre 1965 (ligne jaune) et 2008 (ligne rouge), l'érosion a fait perdre 1,5 km au Promontoire de Damiette, formé par l'un des deux principaux lits du Nil

Le Delta du Nil est fait de sable emporté par le Fleuve du Nil vers la côte méditerranéenne de l'Égypte, principalement depuis la fin de la dernière ère glaciaire. Les barrages le long du fleuve et le dépôt emprisonné dans un vaste réseau de canaux d'irrigation, ont mené à une réduction spectaculaire du flux de l'eau et du dépôt vers les bords du delta. Depuis la fermeture du haut barrage d'Assouan en 1964, les forces de l'érosion ont dépassé l'effet équilibrant du dépôt de sédiment (Stanley et Warne 1993).

Alors qu'il existe des zones d'accumulation, en ce qui concerne l'équilibre, le delta est actuellement en train de s'effacer (Stanley et Warne 1993). Les Promontoires de Rosette et de Damiette se sont spectaculairement érodés sous l'effet des vagues et des courants qui ont dénudé leurs sables plus rapidement que le fleuve ne pouvait les remplacer. Les images montrent les changements entre peu après la construction du haut barrage d'Assouan et les dernières années. La pointe du Promontoire de Rosette s'est effacé de plus de que trois kilomètres depuis 1968.

Avant la construction du haut barrage d'Assouan, l'eau douce provenant des inondations annuelles avaient une influence sur la salinité et les mouvements de circulation du delta, jusqu'à 80 km au-delà des rives (El Din 1977). Par contraste, les profils d'évacuation actuels permettent aux eaux salées

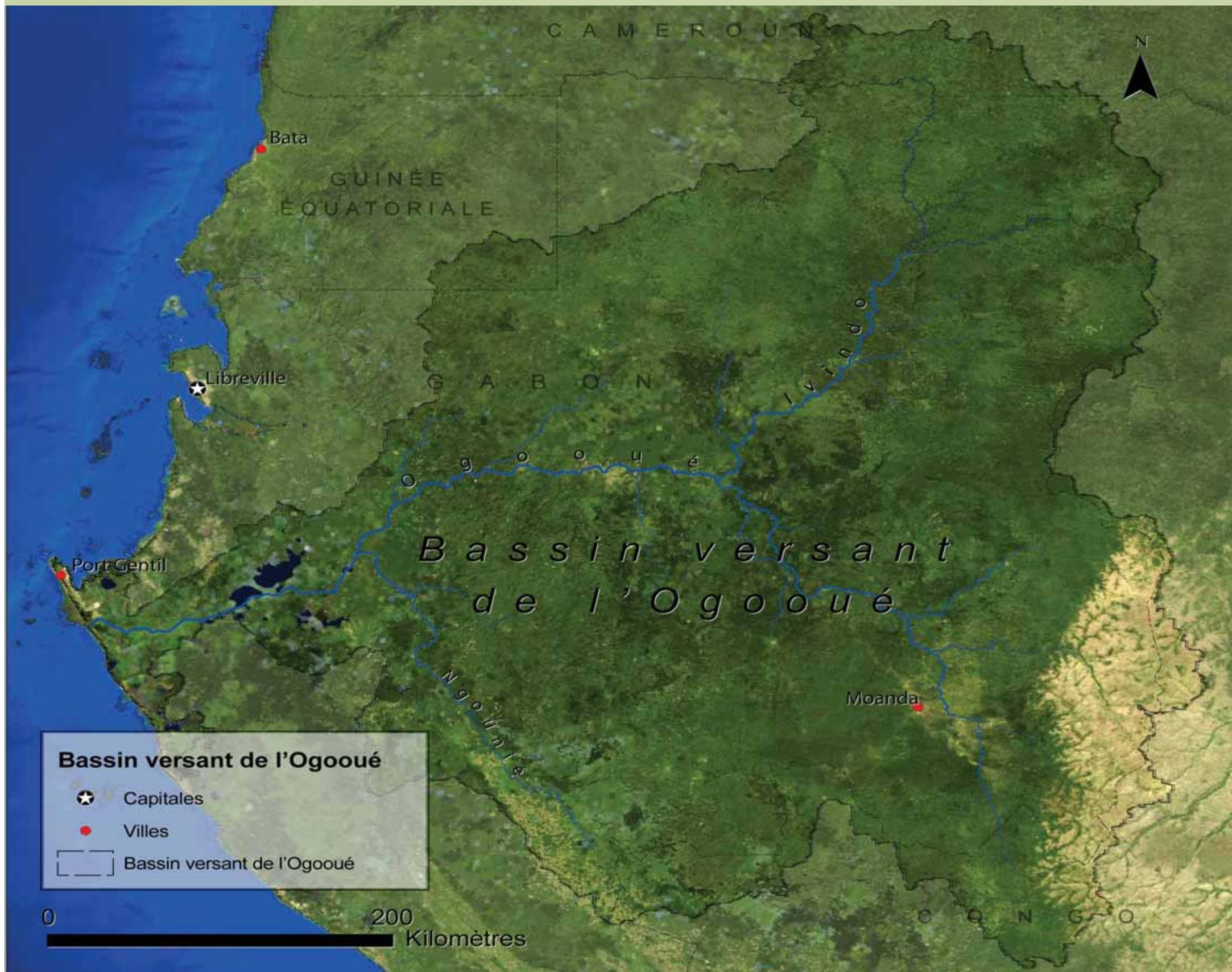
de la Méditerranée d'atteindre les barrages, jusqu'à 26 km à l'intérieur des terres (Frihy et Lawrence 2004). La livraison réduite d'eau douce et de dépôt dans le delta affecte également l'écologie des lagons côtiers et la fertilité des sols. De plus, le delta s'affaisse alors que de nouveaux dépôts de sols ne parviennent pas à compenser l'effet naturel de compactage du sol. Des structures de protection côtière, une irrigation régulée et une exploitation accrue de l'eau souterraine pourrait atténuer le déclin du delta, même si le taux de croissance démographique actuel menace de dépasser ces mesures.



Bassin du Fleuve Ogooué



Le fleuve Ogooué prend sa source à des élévations relativement basses, près des frontières du Gabon. Environ 85 pour cent du bassin est situé au Gabon, approximativement 12 pour cent au Congo, et la superficie restante au Cameroun et en Guinée équatoriale. Le fleuve est alimenté par un réseau dense de ruisseaux permanents. Les deux plus grands affluents sont l'Ivindo et le Ngounié.



Bassin versant de l'Ogooué

★ Capitales

● Villes

▭ Bassin versant de l'Ogooué

0 200 Kilomètres

La majorité de la population du bassin est concentrée le long des cours du fleuve

Précipitations

Les précipitations moyennes annuelles sont fortes à travers tout le bassin, excédant 2 100 mm dans quelques parties du Gabon et au-dessus de 1 700 mm en moyenne dans les parties du bassin appartenant au Gabon, à la République du Congo et à la Guinée équatoriale (Figure 2.9.1, Figure 2.9.2).

Population

Environ 650 000 personnes vivent dans le bassin, lui conférant une densité de population de moins de trois habitants au km². Quarante-vingt pour cent des résidents du bassin vivent dans la partie gabonaise du bassin, 12 pour cent dans celle du Congo, et environ quatre pour cent respectivement dans celles de la Guinée équatoriale et du Cameroun (SEDAC 2010) (Figure 2.9.3). La majorité de la population est concentrée le long des cours du fleuve du bassin, particulièrement au Gabon, où la politique coloniale française avait relocalisé les villages et villes le long des routes principales et des rivières (Laurence et al. 2006).

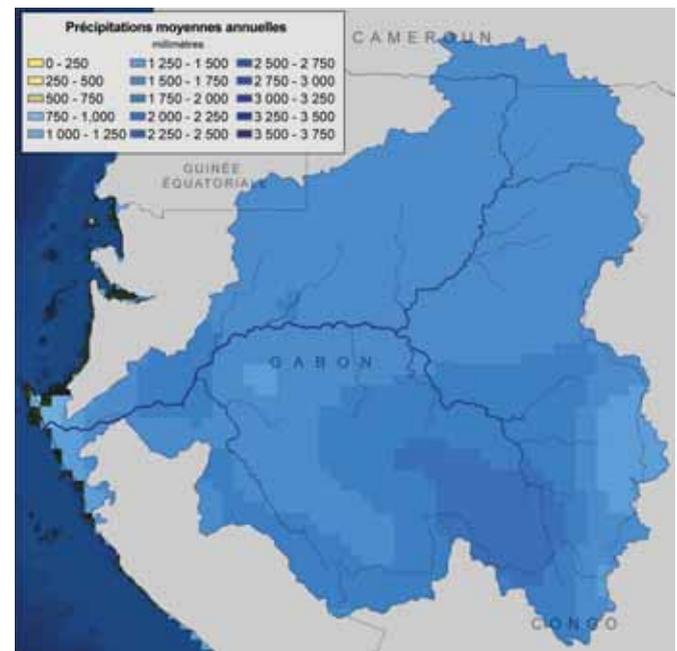


Figure 2.9.1 : Précipitations moyennes annuelles du bassin fluvial Ogooué

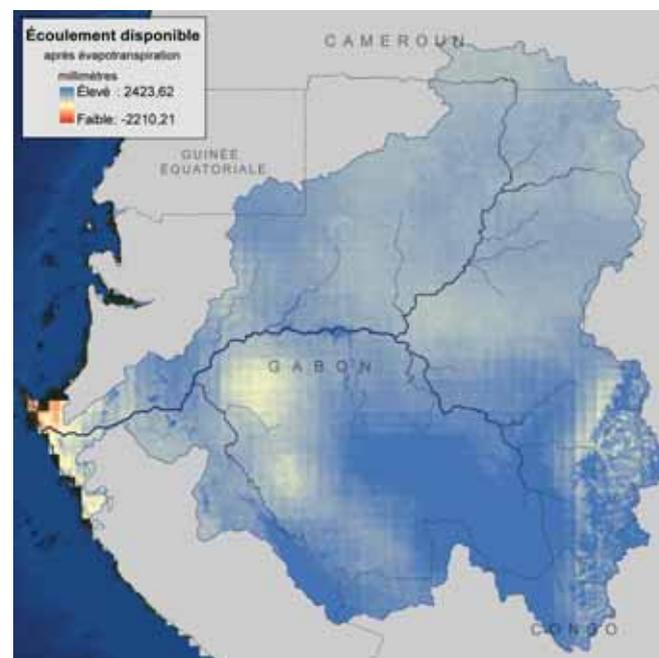


Figure 2.9.2 : Écoulement modélisé disponible du bassin fluvial Ogooué

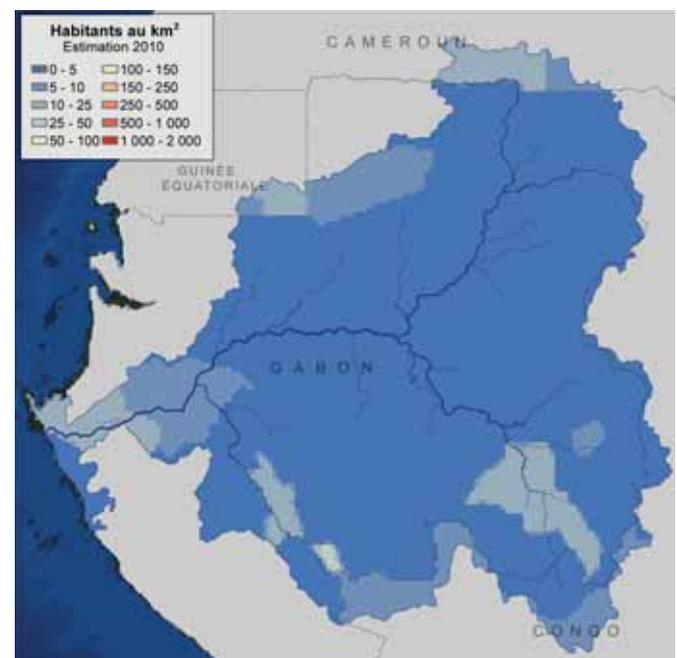
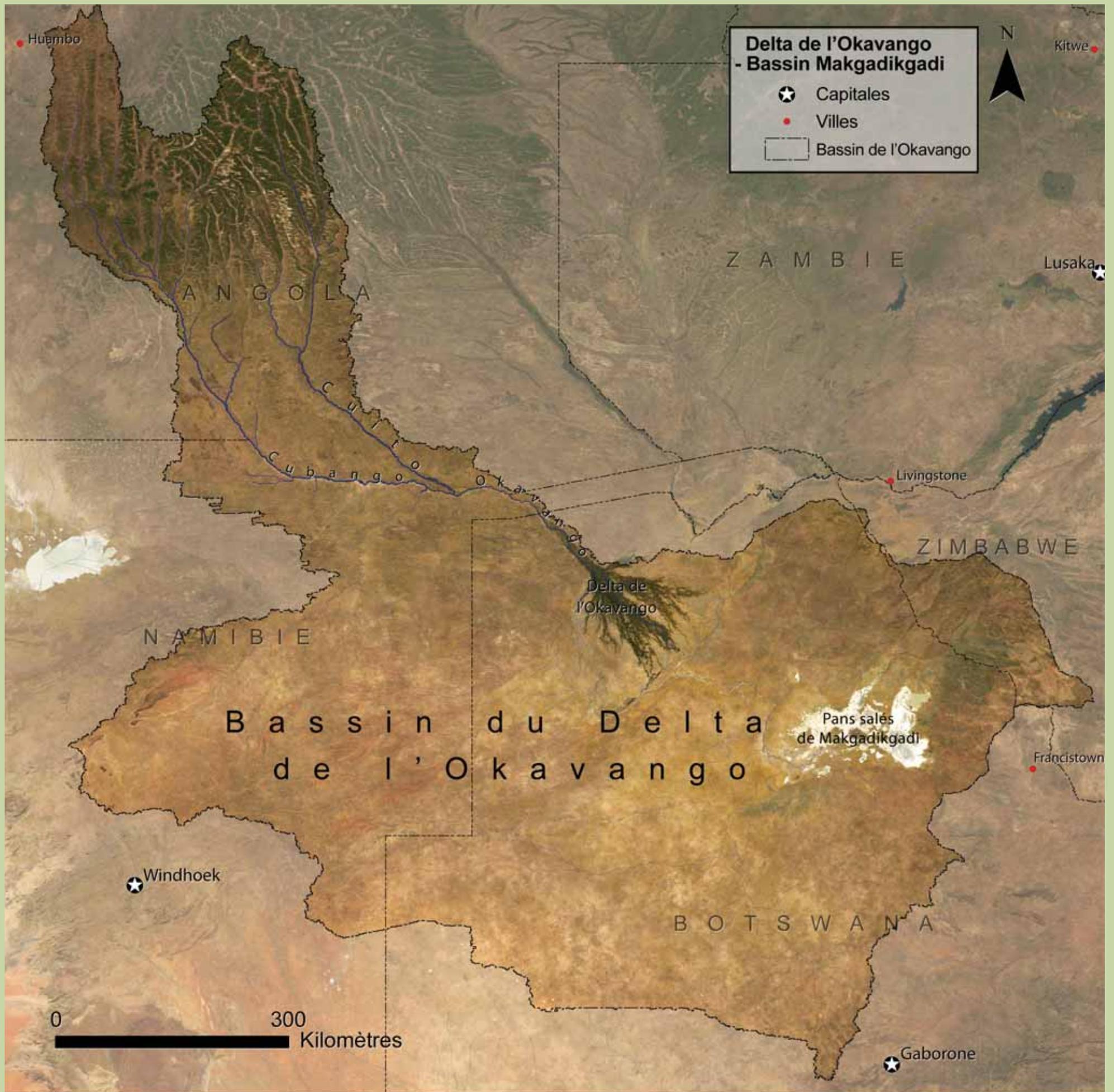


Figure 2.9.3 : Densité de population du bassin fluvial Ogooué



Bassin Makgadikgadi du Delta de l'Okavango

Le bassin du Delta de l'Okavango est un sous-bassin hydrographique d'un bassin de drainage plus vaste, qui se vide dans les cuvettes salées de Makgadikgadi. Cependant, ces cuvettes sont saisonnièrement inondées, et la majeure partie des ressources hydriques du bassin se trouve dans le système de l'Okavango.



Il n'existe ni barrage, ni système de diversion d'eau important sur les affluents de l'Okavango

L'écoulement du Delta de l'Okavango vers le fleuve Boteti et les cuvettes de Makgadikgadi est minimal, puisqu'environ 98 pour cent de son eau se perd en évapotranspiration (Gieske 1997).

Presque tout l'apport d'eau vers le Delta de l'Okavango vient des fleuves Cubango et Cuito, lesquels captent l'eau dans les terres boisées plus élevées de Miombo, au centre-sud d'Angola. Il n'existe actuellement ni barrage, ni système de diversion d'eau important sur les affluents de l'Okavango (Scudder 2008). Des propositions, pour construire un barrage sur le site des Chutes Popa, ont apparemment été abandonnées, suite à une étude de préfaisabilité démontrant que les coûts dépassaient les bénéfices (SAEIA 2009).

Le Delta de l'Okavango est l'une des plus précieuses zones humides au monde (Scudder 2008), la variété de son habitat terrestre et aquatique est extraordinairement riche (Ramberg 2006). La variété et la variabilité de l'habitat, créé par le profil hydrologique unique du bassin de l'Okavango, ont joué un rôle primordial pour donner lieu et maintenir en vie une myriade d'espèces (1 300 de plantes, 71 de poissons, 33 d'amphibiens, 64 de reptiles, 444 d'oiseaux et 122 de mammifères (Ramberg 2006).

Population

La densité de population à travers le bassin de Makgadikgadi-Okavango est forte, avec une moyenne d'un peu plus de deux habitants au km², pour un total de moins de 1,5 millions d'habitants pour tout le bassin. Un tiers de ces personnes vit en Angola. Un autre tiers vit au Botswana et sont répandu sur une plus grande superficie, avec une densité de population d'environ 1,2 habitant au km². Il n'existe aucune grande ville au sein du bassin (Figure 2.10.1).

Précipitations

Plus de la moitié du bassin se situe dans le nord-ouest du Botswana, où les précipitations moyennes annuelles sont d'environ 425 mm. Peu de cette pluie atteint le débit des cours d'eau. La Namibie occupe environ un quart du bassin, reçoit un peu plus qu'un quart des pluies en moyenne, et contribue de manière significative au bilan hydrique du bassin, représentant environ 18 pour cent de l'écoulement total du bassin Makgadikgadi. Avec une pluviosité moyenne annuelle d'environ 940 mm, et certains de ses endroits recevant autant que 1 339 mm de pluie chaque année, l'Angola contribue à la majeure partie (plus de 70 pour cent) de l'écoulement du bassin.

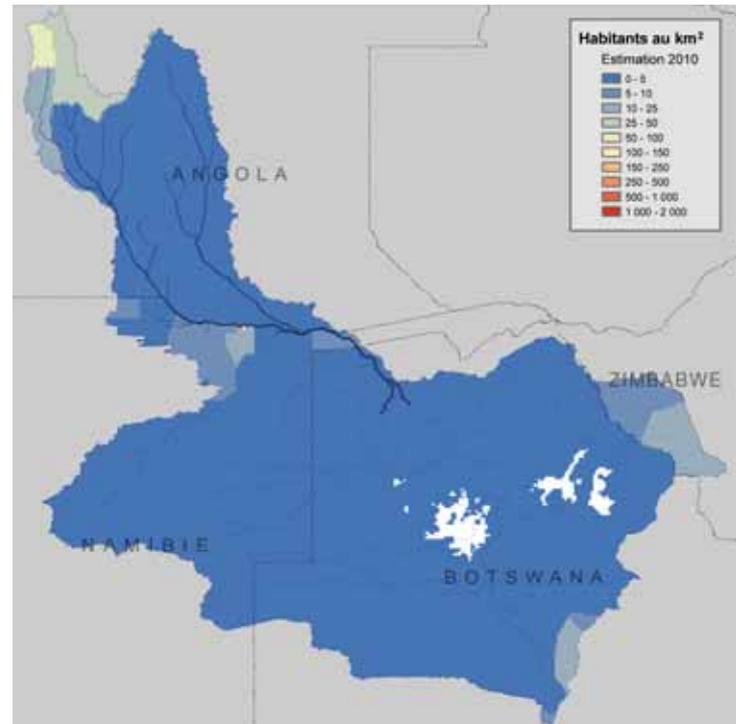


Figure 2.10.1 : Densité de population du bassin de l'Okavango

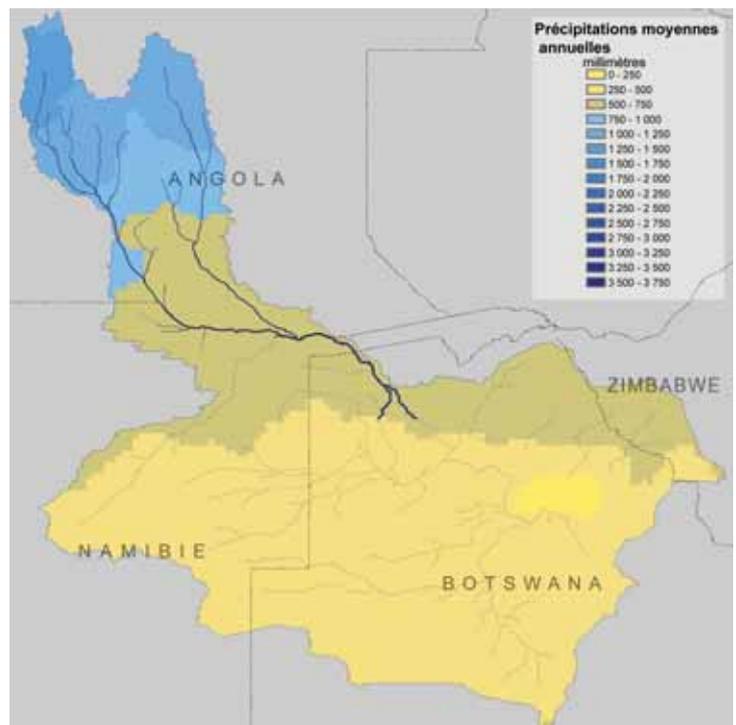


Figure 2.10.2 : Précipitations moyennes annuelles du bassin de l'Okavango

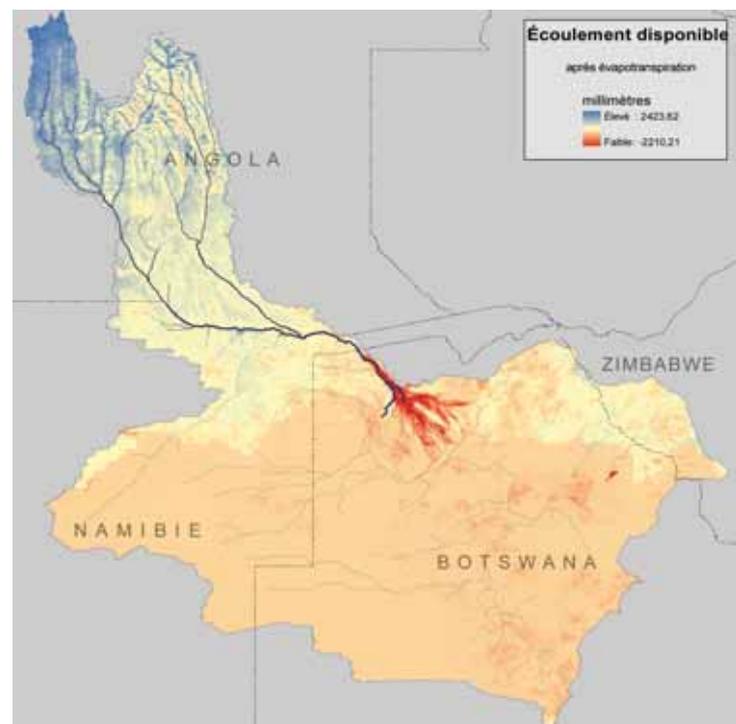
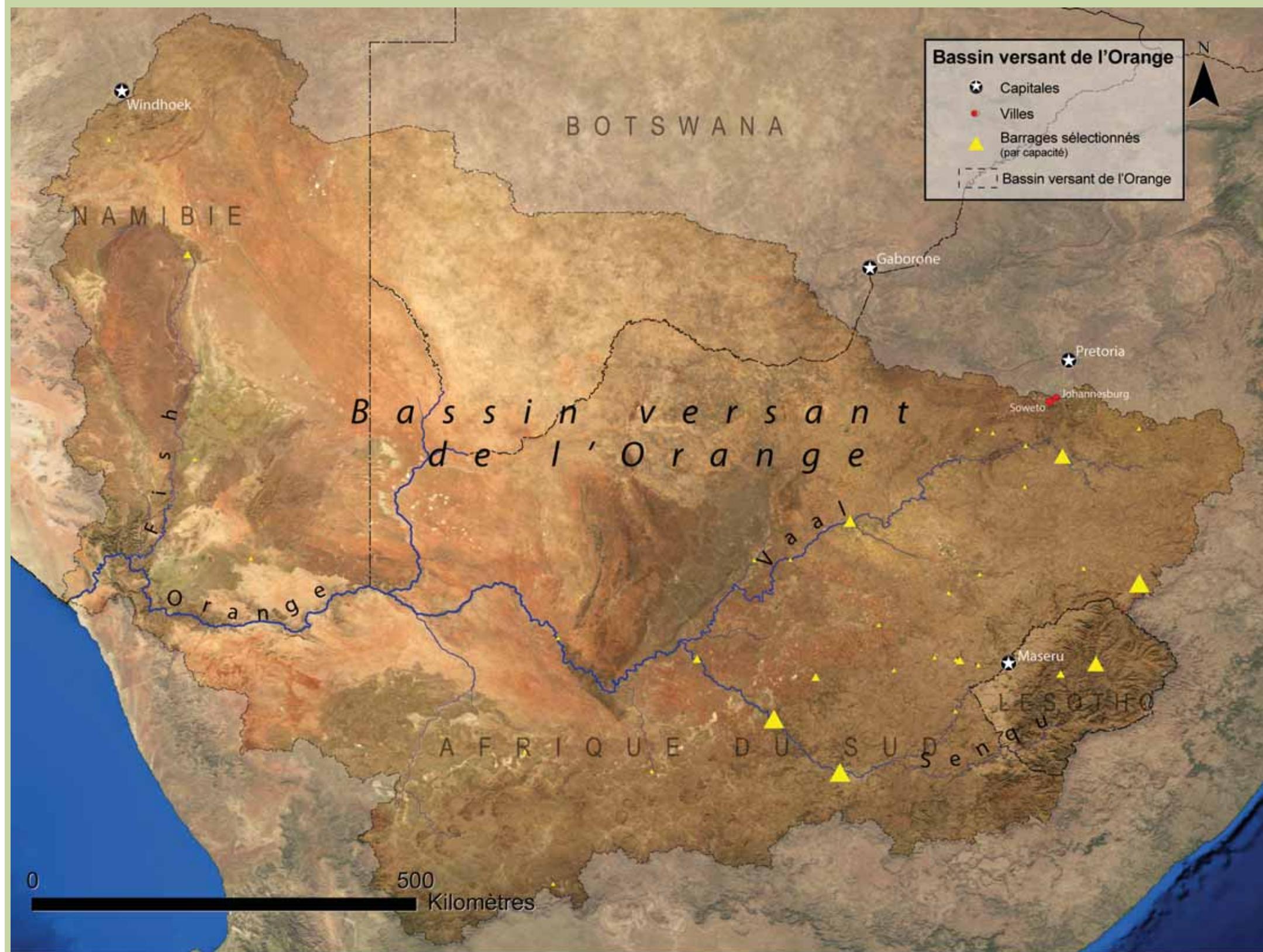


Figure 2.10.3 : Écoulement modélisé disponible du bassin de l'Okavango

Bassin du Fleuve Orange



Le fleuve Orange prend sa source au Lesotho, où son affluent, le Senqu, s'élève haut dans les montagnes Drakensberg. Tandis que seuls trois pour cent du bassin s'étendent au Lesotho, les hauts-plateaux du pays ont l'une des plus fortes précipitations moyennes annuelles du bassin, et le Lesotho contribue à presque 17 pour cent du bilan hydrique du fleuve Orange (Senay et al. 2010).



Tandis que seuls trois pour cent du bassin s'étendent au Lesotho, les hauts-plateaux du pays contribuent à presque 17 pour cent du bilan hydrique

Le fleuve Vaal draine la portion orientale plus humide de l'Afrique du Sud, laquelle occupe 60 pour cent du bassin. L'Afrique du Sud contribue à 76 pour cent de l'apport hydrique du bassin entier. La majorité de cette contribution provient du fleuve Vaal (25 pour cent de l'apport hydrique total) et le Botswana (13 pour cent), représentent une partie importante de la superficie du bassin, mais du fait de la forte évapotranspiration des pluies pue abondantes, ces deux pays ne contribuent que peu au flux du fleuve.

Les précipitations dans le bassin perdent de leur importance de l'est à l'ouest ; certaines parties du Lesotho et de l'Afrique du Sud reçoivent plus de 1 000 mm de pluie annuellement, tandis que des parties occidentales de l'Afrique du Sud et de la Namibie reçoivent moins de 200 mm (Figure 2.11.1, Figure 2.11.2).

Population

La population suit également un gradient est-ouest, mais la majorité des habitants vivant dans le tiers est du bassin. Presque 12 millions de sud africains vivent dans le bassin de l'Orange, la plupart dans et autour des villes de la province de Gauteng. La densité de population moyenne du Lesotho, environ (67 habitants au km²), est la plus élevée du bassin. Les populations des portions de la Namibie et du Botswana du bassin sont plutôt clairsemées, avec des densités proches d'une personne au km² (Figure 2.11.3).

Barrages, Irrigation et Développement

Le bassin du fleuve Orange est très développé, et comprend plusieurs barrages et systèmes de transfert, surtout dans sa partie Sud-africaine. Les barrages avec la plus grande capacité sont le Gariiep et le Vanderkloof, sur le fleuve Orange, le barrage de Sterkfont sur le fleuve Nuvejaars et le barrage de Vaal sur le fleuve Vaal. Les barrages de Katse et de Mohale sont les plus gros barrages en dehors de l'Afrique du Sud. Tous deux se trouvent au Lesotho et font partie du plus grand système de transfert d'eau interbassins au monde, lequel transfert de l'eau au nord de la Province de Gauteng, pour assouvir la demande rapidement croissante en eau de la zone de Johannesburg (Earle et al. 2005). Des infrastructures d'irrigation longent les rives du fleuve. Dans les zones élevées et lourdement peuplées du bassin hydrographique du fleuve Vaal, de grands volumes d'eau sont utilisés à des fins domestiques, industrielles et minières. Dans les régions occidentales où la population est éparsée, les systèmes d'approvisionnement en eau soutirent du fleuve pour alimenter le bétail, l'irrigation et l'exploitation minière (SADC-GTZ 2007).

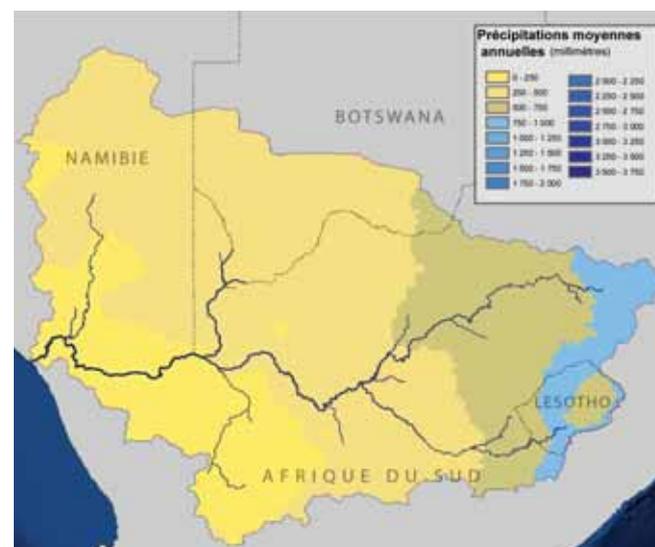


Figure 2.11.1 : Précipitations moyennes annuelles du bassin du fleuve Orange



Figure 2.11.2 : Écoulement modélisé disponible du bassin du fleuve Orange

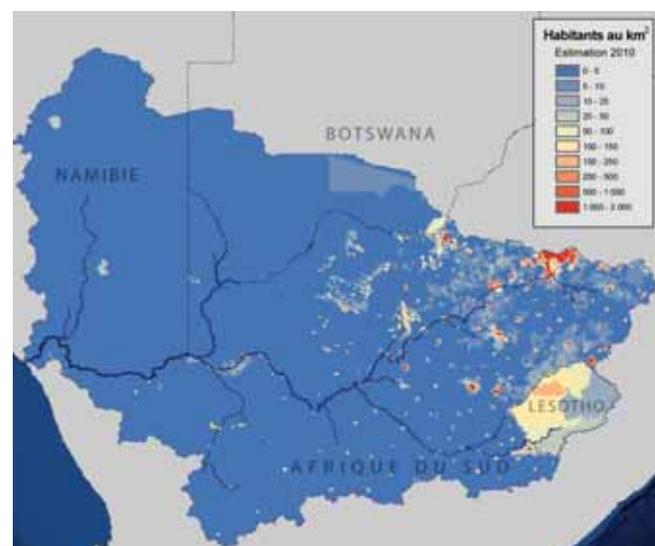


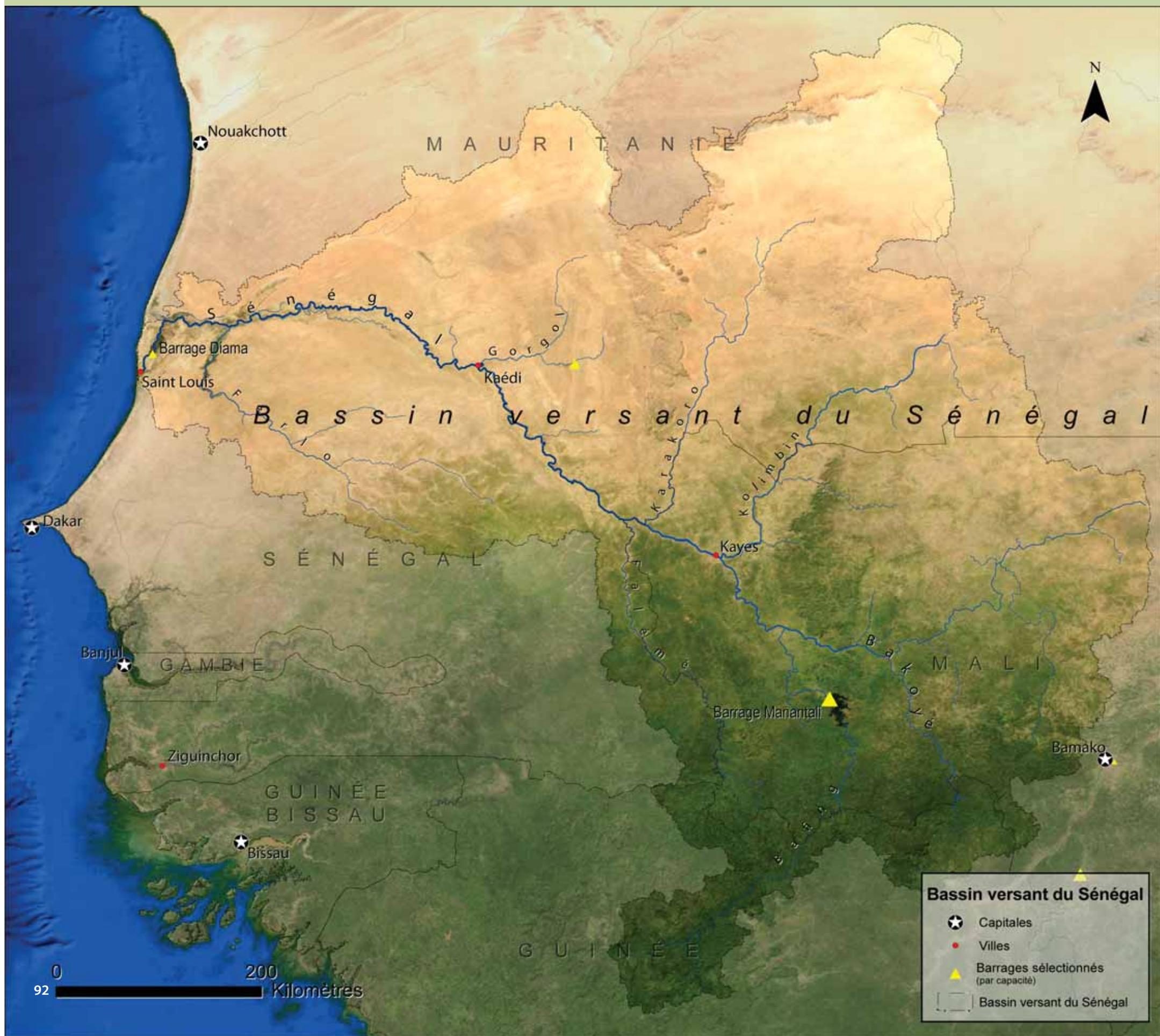
Figure 2.11.3 : Densité de population du bassin du fleuve Orange



Bassin du Fleuve Sénégal



Les deux principaux affluents du fleuve Sénégal sont les fleuves Bafing et Bakoye, tous deux prenant leur source dans les hauts-plateaux Guinéens. Le Bafing prend sa source dans le Fouta Djallon, à 800 m et constitue la source de la majeure partie du flux du Sénégal. Le Bakoye prend source sur le Plateau Manding, environ 250 km à l'est.



La nature transfrontalière du fleuve rend la gestion des ressources du bassin du fleuve Sénégal très complexe et difficile

Les températures augmentent et les précipitations se réduisent au fur et à mesure que les deux fleuves s'écoulent vers le nord, à travers le sud du Mali où presque un tiers du bassin hydrographique du fleuve Sénégal est situé. Le barrage de Manantali, au Mali, retient plus de 11 000 millions de m³ du Bafing, pour l'irrigation et la production d'électricité (IR 1999). A cent vingt-cinq kilomètres en aval du barrage de Manantali, le Bafing et le Bakoye se joignent pour former la source du fleuve Sénégal. Pour le reste de son trajet vers l'Océan Atlantique, le fleuve constitue la frontière entre le Sénégal et la Mauritanie. La moitié du bassin environ se trouve en Mauritanie, où les précipitations sont très limitées. Le fleuve accumule le flux de plusieurs autres affluents de moindre importance, comme les fleuves Gorgol, Karakoro, Kolimbine, Falémé et Ferlo.

La nature transfrontalière du fleuve, la variété des groupes ethniques vivant le long de ses berges, les priorités rurales et urbaines différents, les intérêts locaux et nationaux conflictuels et les conditions naturelles difficiles, lesquelles incluent une précipitation limitée et fortement variable, rendent toute la gestion des ressources du bassin du fleuve Sénégal très complexe et difficile.

Population

La population du bassin du Sénégal est d'environ sept millions. La population rurale du bassin est concentrée le long du fleuve et de ses affluents, et comprend plusieurs groupes ethniques, dont les Wolof, les Fulani, les Tukolor et les Moor (Lahtela 2003). Le fleuve est une ressource importante pour la majorité de la population rurale car elle alimente les modes de vie pastoral, agricole et piscicole. 2,7 millions de la population malienne, 1,9 millions de la population mauritanienne, et 1,5 millions de la population sénégalaise vivent dans le bassin, tandis que moins d'un million de la population de la Guinée vit dans les sept pour cent de la surface du bassin occupés par ce pays (Figure 2.12.1). La population du bassin augmente très rapidement, avec un taux de trois pour cent par an, ce qui est très élevé, même selon les critères ouest africains. L'urbanisation est également élevée à travers le bassin, plusieurs moyennes et petites villes étant situées au-delà du fleuve lui-même (UNESCO 2003). Selon l'Indice de Développement Humain du UNDP (IDH), nombreux sont ceux parmi cette population croissante, qui vivent dans des conditions difficiles. Sur les 182 pays classés selon l'IDH, le Mali tient le 178ème rang, le Sénégal le 166ème et la Mauritanie le 154ème (UNDP 2009).

Précipitations

A la source du fleuve dans les hauts-plateaux Guinéens, les précipitations au sein du bassin versant du Sénégal avoisinent plus de 1 400 mm/an. Alors que les fleuves Bafing et Bakoye s'écoulent hors de la Guinée et à travers le sud du Mali, les précipitations restent au-dessus de la moyenne de 850 mm/an. Peu après leur fusion pour former le fleuve Sénégal, au nord du réservoir de Manantali, les précipitations diminuent pour atteindre moins de 500 mm/an, un niveau auquel l'agriculture pluviale devient très difficile. La moitié du bassin environ se situe en

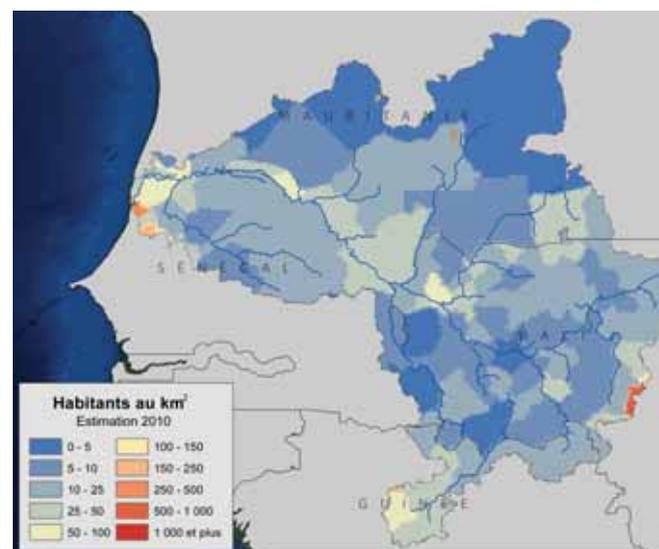


Figure 2.12.1 : Densité de population du bassin du fleuve Sénégal

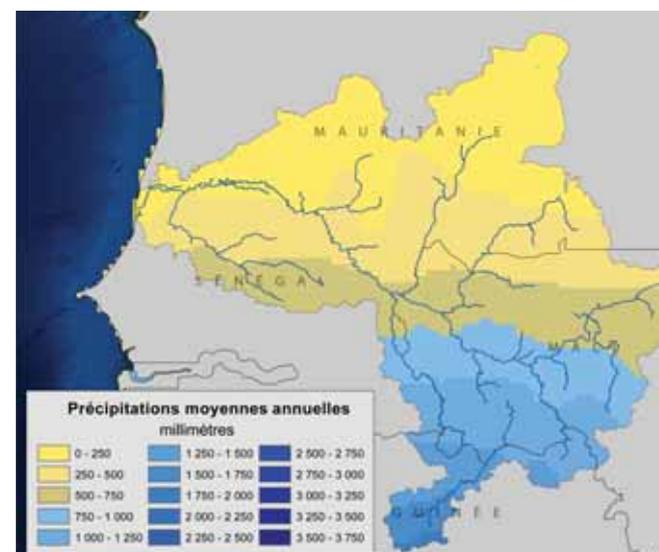


Figure 2.12.2 : Précipitations moyennes annuelles du bassin du fleuve Sénégal

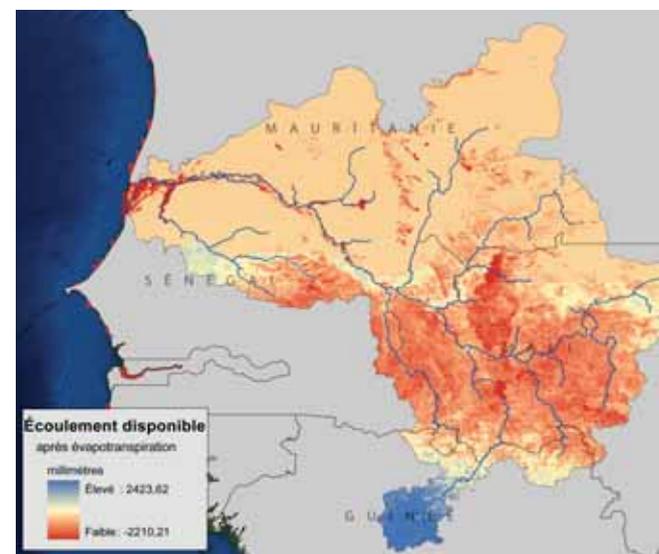


Figure 2.12.3 : Écoulement modélisé disponible du bassin du fleuve Sénégal

Mauritanie, où les précipitations sont davantage limitées. Aux fins fonds des fleuves Gorgol, Karakoro et Kolimbine en Mauritanie, les précipitations moyennes annuelles se situent en-dessous de 140 mm/an. Les précipitations dans les 15 pour cent sénégalais du bassin avoisinent les 500 mm/an en moyenne (Figure 2.12.2, Figure 2.12.3).

Les précipitations le long du Sahel sont fortement variables saisonnièrement, inter-annuellement et sur des décennies ; en moyenne, elles s'affaiblissent un gradient du sud vers le nord. Durant les grandes sécheresses des années soixante-dix et quatre-vingt, cette répartition des précipitations s'est déplacée vers le sud, d'environ

100 km (Lebel et Ali 2009) (Figure 2.12.4). Différentes études tirent des conclusions contradictoires en ce qui concerne la fin ou non de la sécheresse, bien qu'il soit évident que les précipitations ne soient pas revenues aux niveaux des périodes relativement humides des années cinquante et soixante. Ceci est particulièrement le cas dans le Sahel occidental, y compris dans le bassin du Sénégal, où les précipitations moyennes annuelles au cours des deux dernières décennies ont été proches des niveaux des précipitations entre 1970 et 1989, lorsque les grandes sécheresses se sont produites (Lebel et Ali 2009).

Irrigation

Les grands réseaux d'irrigation dans la région de Richard Toll, le long du fleuve Sénégal en Mauritanie et au Sénégal, datent des années quarante, et des images satellites de novembre 1965 montrent qu'ils couvrent une importante superficie, à l'extrémité nord du lac de Guiers (Figure 2.12.5). Les grandes sécheresses des années soixante-dix et quatre-vingt ont incité de lourds investissements dans de grands réseaux d'irrigation, à travers le Sahel (Van Asten et al. 2003). Le riz est la culture la plus appropriée aux types de sols, au climat et à l'infrastructure d'irrigation disponible dans la vallée du Sénégal (Verheye 1995) ; c'est la culture prédominante des grands projets d'irrigation. Les autres cultures incluent la tomate, la pomme de terre, l'oignon, le melon, le gombo, le maïs, et le sorgho (UNESCO 2003, OMVS sans date).

Avec la construction du barrage de Manantali, au Mali en 1981 et le barrage de Diama, au Sénégal en 1986, il a été estimé que 375 000 à 420 000 ha supplémentaires pourraient être irrigués dans le bassin du Sénégal. La mise en valeur actuelle de l'irrigation est bien en-dessous de ce chiffre et la

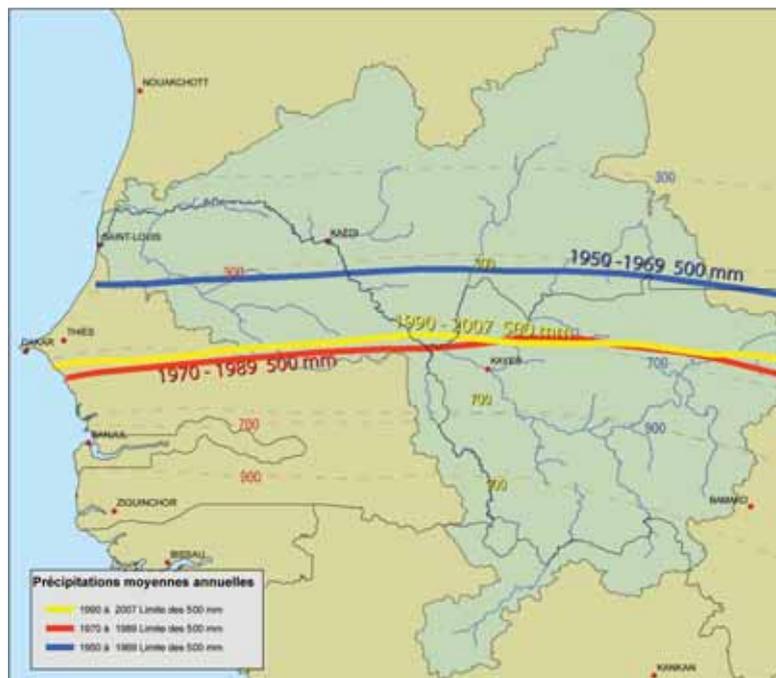


Figure 2.12.4 : Dans le Sahel occidental, la limite nord de 500 mm de précipitations annuelles s'est déplacée de plus de 100 km vers le sud, entre 1950 et 1969, et entre 1973 et 1989

superficie réellement cultivée annuellement est bien inférieure aux 120 000-140 000 ha qui sont gérés pour l'irrigation au Mali, au Sénégal et en Mauritanie (OMVS sans date, FAO 1997). Ceci est généralement mis sur le compte du mauvais entretien de l'évacuation et d'autres infrastructures (Connor et al. 2008, Verhaye 1995, Van Asten et al. 2003, Boivin et al. 1998).

Du fait de la présence de sel dissout, la qualité de l'eau du fleuve Sénégal est généralement bonne pour l'irrigation. Cependant, sans évacuation appropriée, son contenu alcalin peut s'accumuler dans les sols et augmenter l'alcalinité dans la zone des racines (Van Asten et al. 2003). Ceci pose un problème s'étendant d'un peu en amont du lac de Guiers à un peu au dessous de Kaédi en Mauritanie (Wopereis et al. 1998). Dans la région du delta, en aval du lac de Guiers, la salinité neutre du sol et la salinité de la nappe phréatique sont le résultat des interactions avec l'Océan Atlantique (Wopereis et

Figure 2.12.5 : L'irrigation à grande échelle avait déjà été initiée le long du fleuve Sénégal avant 1965



al. 1998, Barbeiro et al. 2004). Tandis que ceci procure généralement un bon tampon contre l'alcalinisation, les zones localisées de sols alcalins et la hausse de l'eau salée, là où la nappe phréatique est proche de la surface, peuvent causer des problèmes pour l'irrigation dans la région du delta. Dans les deux cas, une conception appropriée des systèmes d'évacuation et des calendriers des récoltes pourrait atténuer ces problèmes (Wopereis et al. 1998).

Les bénéfices du développement de l'irrigation à grande échelle dans le bassin du Sénégal n'ont pas été acquis sans coûts écologiques et humains considérables. Parmi ceux cités dans les études des projets d'irrigation figurent le déplacement de milliers de personnes de leurs terres et de leurs modes de vie traditionnels, l'altération importante d'habitats naturels et la perte de biodiversité, la réduction des

terras boisés riverains et la distribution inégale des bénéfices (Duvail et Hamerlynck 2003, DeGeorges et Reilly 2006, Horowitz et Salem-Murdock 1993, Tappan et al. 2004).

Les deux images satellites de la Figure 2.12.6, montrent les changements spectaculaires dans un segment de la vallée fluviale moyenne. En dehors des zones irriguées, le paysage a très peu de végétation, du fait des sécheresses de 1984 et des années précédentes. Durant la même saison en 2009, les zones irriguées, montrées par la ligne droite des canaux (construits pour retenir les eaux d'irrigation), s'étaient étendues. Au cours de ces dernières années, depuis que les pluies sont devenues plus normales, une abondante végétation s'est mise à pousser en dehors des zones irriguées.

Figure 2.12.6 : Développement de l'irrigation dans le bassin fluvial du Sénégal

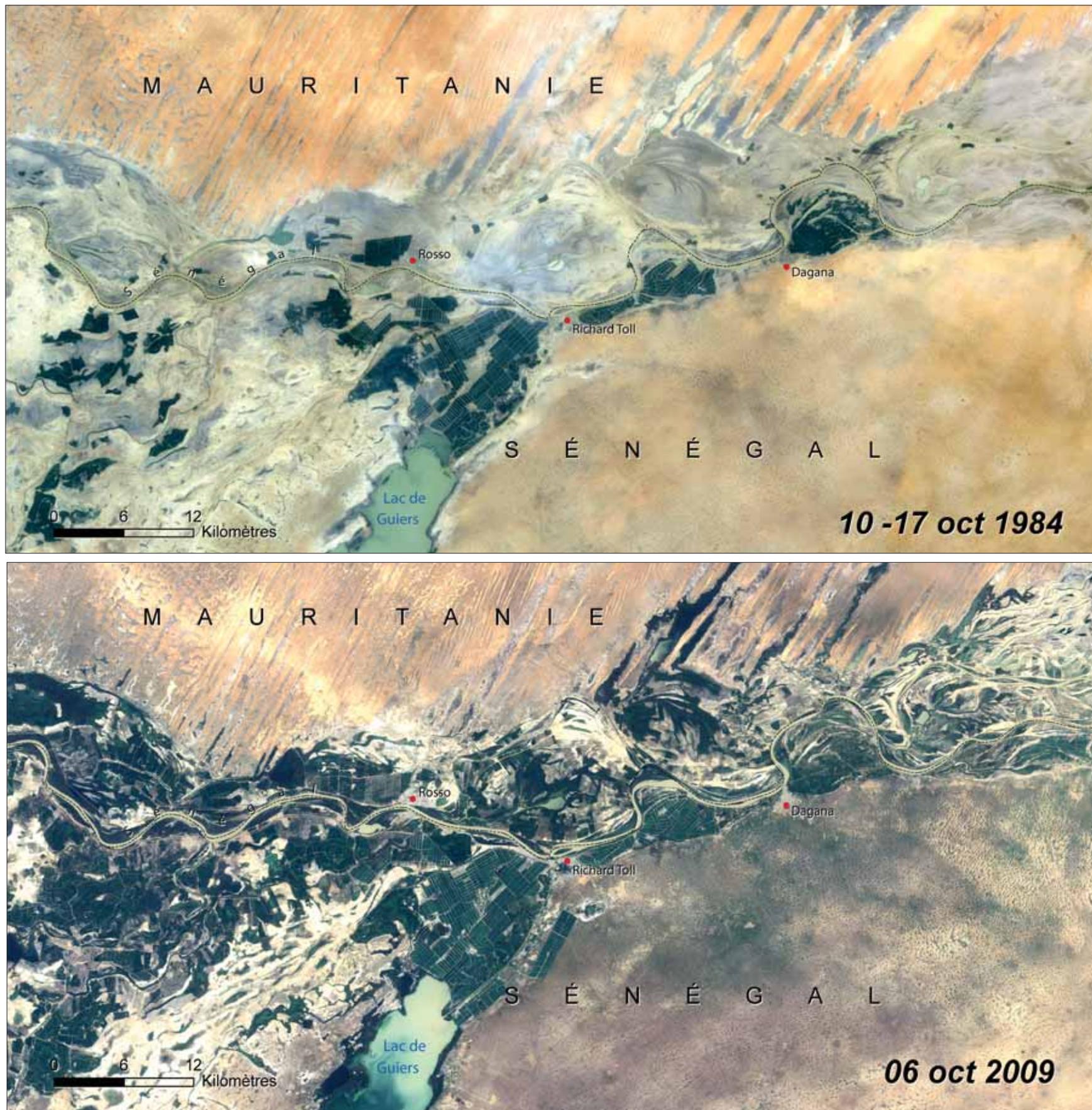
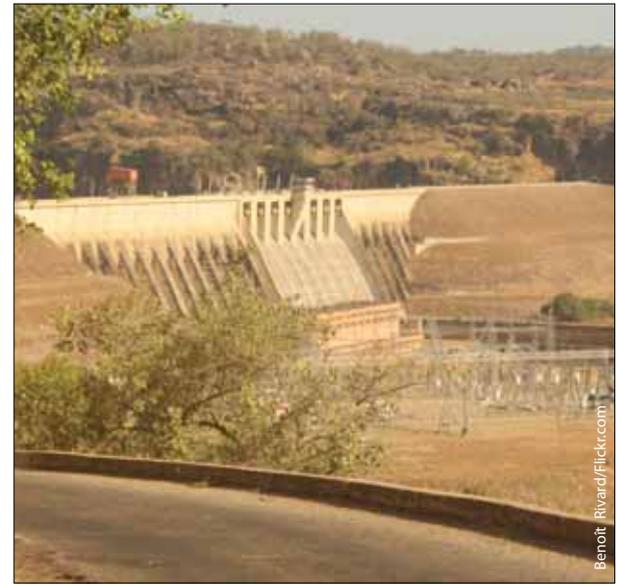
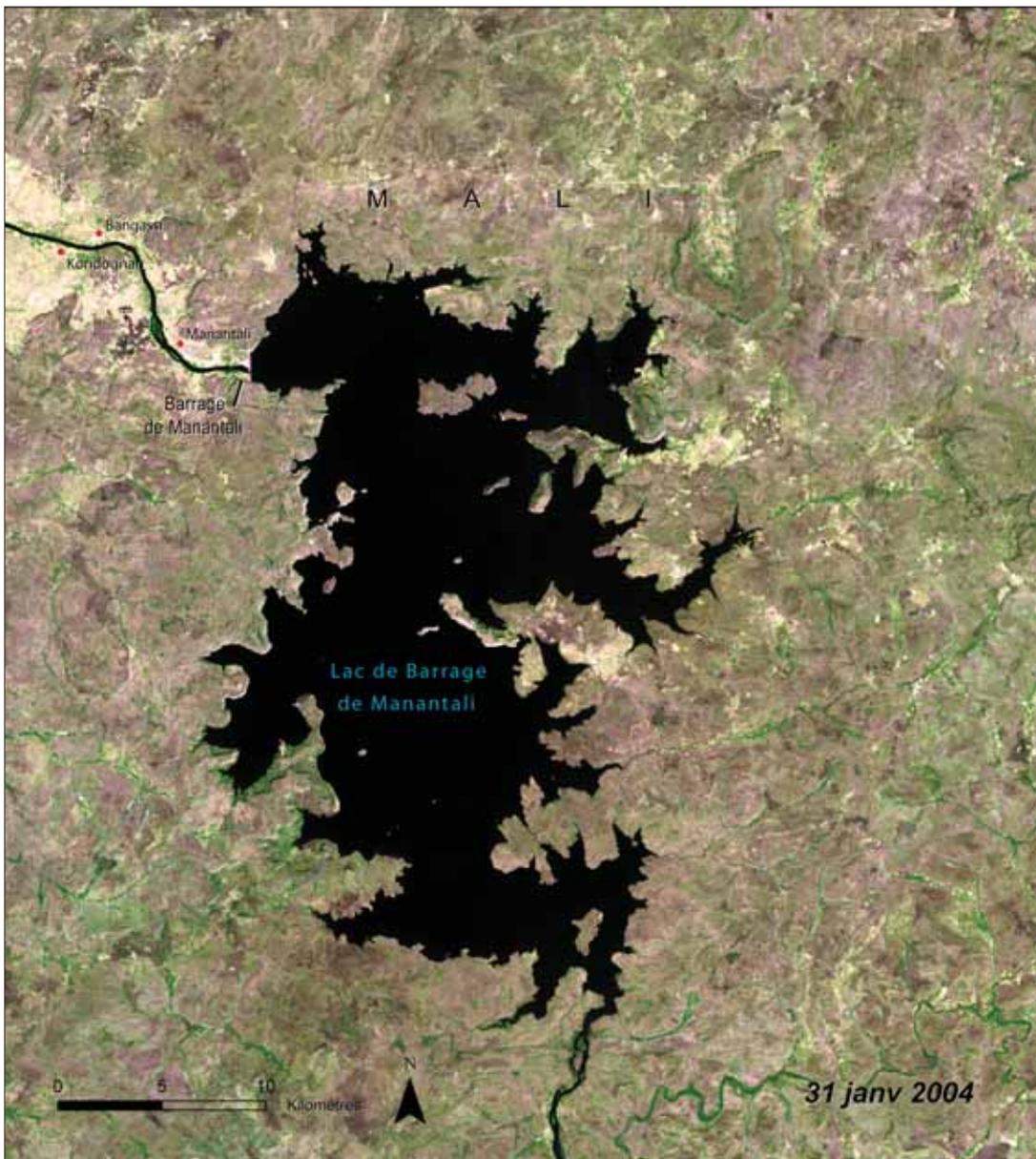


Figure 2.12.7 : Le barrage de Manantali dans le bassin du fleuve Sénégal



Le Barrage de Manantali

Avant 1981, le fleuve Bafing s'écoulait à travers l'ouest du Mali, montant et descendant avec la pluie saisonnière à sa source dans le hauts-plateaux guinéens. Le barrage de Manantali de l'ouest du Mali était l'un des deux grands barrages construits dans le bassin du fleuve Sénégal dans les années quatre-vingt, par l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS). En collectant les eaux fortement saisonnières du fleuve Bafing, le barrage limite les inondations extrêmes, stocke l'écoulement de la saison humide pour l'irrigation et fournit de l'hydroélectricité aux pays membres de l'OMVS (Figure 2.12.7). Néanmoins, il a également déplacé environ 12 000 personnes, a contribué à la perte de forêts riveraines et perturbé l'agriculture de décrue traditionnelle (IR 2009, Tappan et al. 2004).

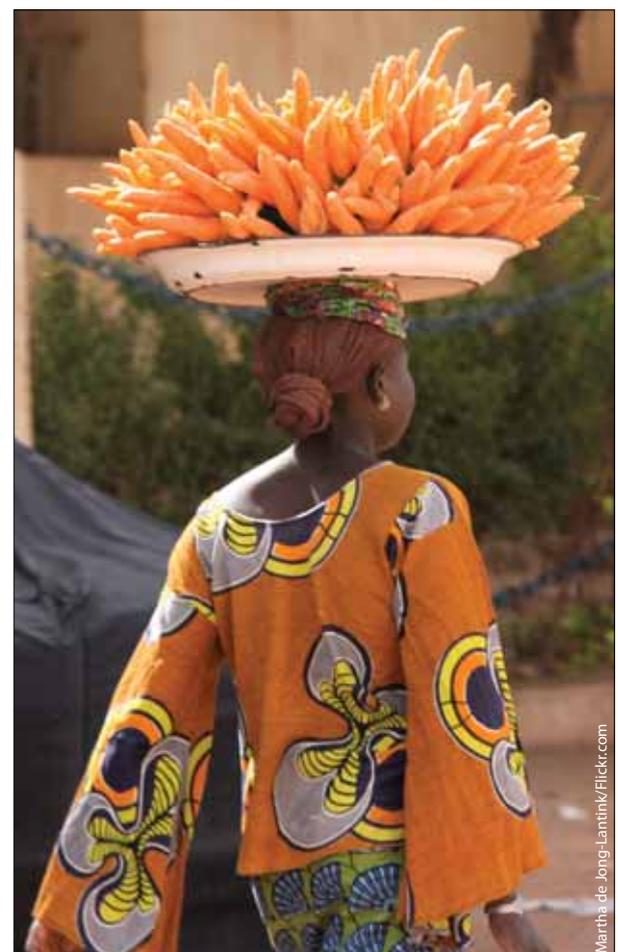




Figure 2.12.8 : Des années de sécheresse, et la construction de deux barrages, ont fait descendre les zones humides de Djoudj et de Diawling à un niveau bas dans les années quatre-vingt. Suite à des changements dans les endiguements artificiels et les flux d'eau, les zones humides se sont rétablies
Les Zones Humides de Djoudj et de Diawling

Avant la construction des barrages de Diama et de Manantali, les marées de saison sèche apportant l'influence de l'eau de mer jusqu'à 300 km à l'intérieur des terres de l'embouchure du fleuve Sénégal (Isupova et Mikhailov 2008), pouvaient être détectées à 470 km en amont de l'océan. Ensuite, au mois d'août de chaque année, durant la pointe de flux du fleuve Sénégal, les inondations recouvraient la majeure partie du delta, avec de l'eau douce provenant des moussons annuelles (Duvail et Hamerlynck 2003). L'environnement saumâtre alterné d'eau douce, a créé un système de zone humide alimentant de riches habitats naturels et des modes de vie traditionnels comme la pêche, les pâturages, l'agriculture et la production de tapis artisanaux (Duvail et Hamerlynck 2003, Fall et al. 2003). Grâce à ce régime hydrologique, les habitats naturels se sont épanouis au fil du temps, telles les mangroves, les marais salants, les lagons, les surfaces boisées d'acacias et les herbes de plaines inondables (Fall et al. 2003, WMO 2004, Isupova et Mikhailov 2008).

Dans la Figure 2.12.8, l'image satellite de 1984 de la zone de Diawling et de Djoudj montre les zones humides en déclin, sous l'influence des sécheresses des années soixante-dix et quatre-vingt, ce qui a également causé une crise alimentaire. En réponse à cette crise, les pays du bassin du Sénégal ont proposé la mise en œuvre d'une production intensive de riz irrigué, en construisant deux barrages sur le fleuve. Les barrages, terminés en 1985 et 1988, étaient destinés à faciliter le développement de l'agriculture irriguée, le transport de l'hydroélectricité et fluvial, bien que l'irrigation dans le delta ait été moins répandue et moins productive que planifiée (Duvail et Hamerlynck 2003, Poussin et Boivin 2002, OMVS sans date, FAO 1997).

Les barrages changent également les caractéristiques hydrologiques naturelles du delta, causant de nombreux impacts négatifs sur l'environnement naturel et les communautés locales dépendant des produits et services de leurs écosystèmes (Duvail et Hamerlynck 2003). Dans la région de Diawling, les stocks de poisson ont diminué, et une bonne partie de la végétation de la zone humide a disparu (Bâ Amadou 2004). En amont du barrage



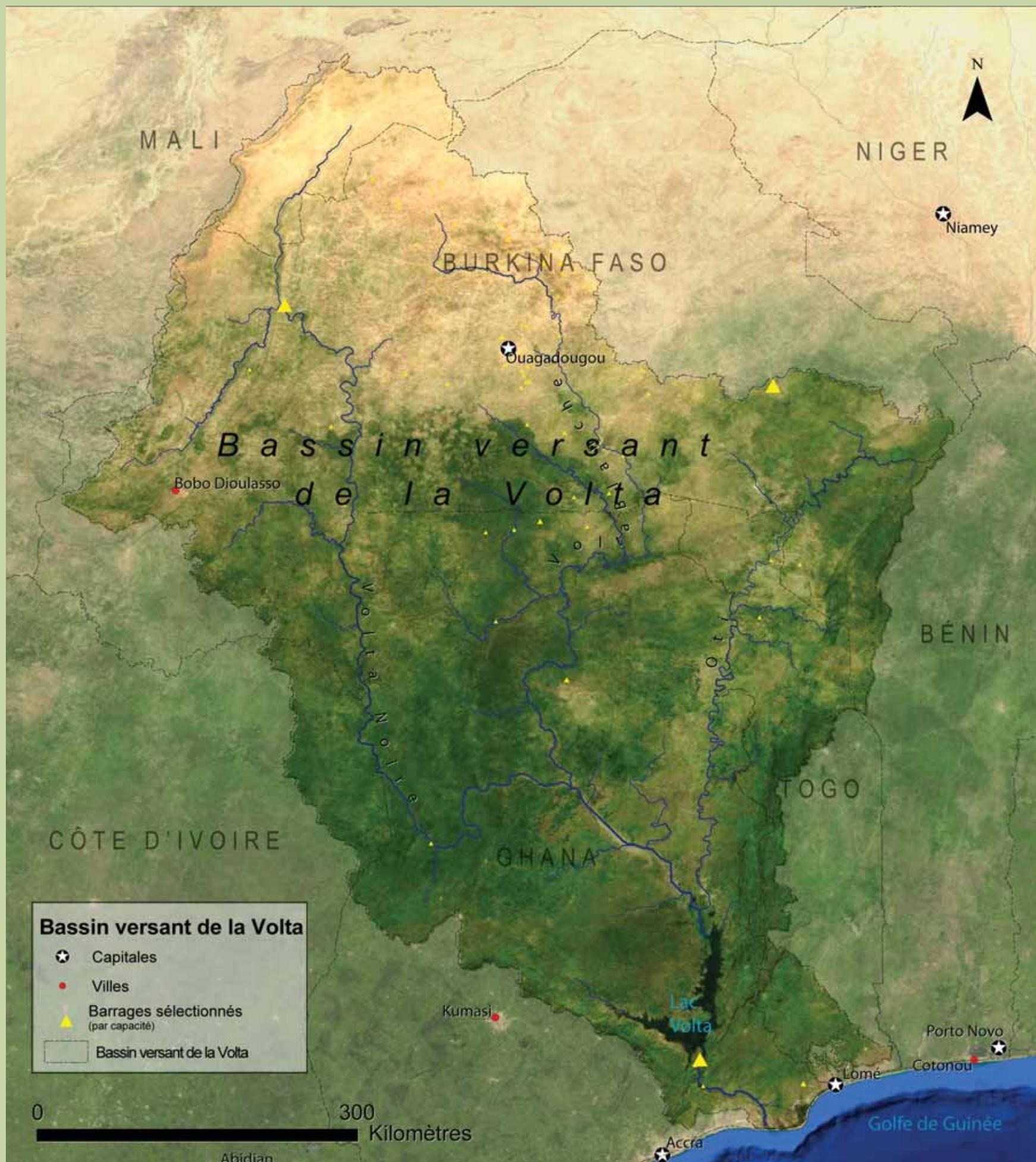
de Diama, le changement complet en un régime d'eau douce a causé la domination d'espèces de plantes invasives sur la végétation naturelle (Mietton et al. 2007). Les espèces invasives ont causé une telle menace que l'UNESCO a inséré Djoudj dans sa liste des Patrimoines Mondiaux en Danger (UNESCO sans date).

Commençant au début des années quatre-vingt-dix, les changements dans l'infrastructure hydraulique et la gestion des barrages ont permis aux libérations d'eau de mieux imiter les conditions antérieures existantes (Duvail et Hamerlynck 2003b). Les zones humides de la zone de Diawling se sont considérablement rétablies. Tandis que les espèces invasives demeurent un problème à Djoudj, ce dernier a été retiré de sa liste des Patrimoines Mondiaux en Danger en 2006, suite à des efforts d'atténuation, y compris les luttes biologiques. Dans l'image de 2009, les deux zones humides situées de chaque côté du fleuve sont couvertes de dense végétation, suite aux changements dans les barrages, dans leur mode d'opération et à une période de meilleure pluviosité.

Bassin du Fleuve Volta



Le bassin du fleuve Volta s'étend partiellement sur six pays d'Afrique Occidentale. Le Burkina Faso et le Ghana représentent chacun à peu près 40 pour cent du bassin. Huit pour cent environ se situent au Togo et les 12 pour cent restants sont répartis entre le Bénin, la Côte d'Ivoire et le Mali.



**Le Bassin
du fleuve
Volta s'étend
partiellement sur
six pays d'Afrique
Occidentale**



Akosombo Dam

Malgré la petite superficie qu'ils occupent dans le bassin, le Bénin et le Togo contribuent de manière significative au bilan hydrique du fleuve, grâce à leur emplacement dans des zones où la pluviosité excède l'évapotranspiration.

Le fleuve Volta possède plusieurs affluents, mais les principaux ruisseaux alimentant son flux sont le fleuve Oti (Pendjari), le Volta Noir, le Volta Rouge et le Volta Blanc. Le plus grand parmi eux est l'Oti, lequel prend sa source dans le Nord-est du Bénin, où les précipitations annuelles sont généralement supérieures à 1 000 mm. L'oti produit environ un tiers du flux annuel du système fluvial du Volta (Barry et al. 2005). Les fleuves du Volta Noir et Blanc prennent leur source au Burkina Faso. Plusieurs des petits affluents s'assèchent durant les périodes arides. Tous les ruisseaux principaux convergent au Ghana et éventuellement dans le lac Volta, le plus grand lac artificiel au monde, formé par le barrage d'Akosombo, construit dans les années soixante.

Précipitations

Le bassin a des saisons sèches et humides prononcées, avec deux saisons humides distinctes dans le sud, et une seule saison humide culminant en aout un peu plus au nord (Boubacar 2005). Les précipitations moyennes annuelles diminuent généralement du sud au nord, avec des régions dans l'est du Ghana et l'ouest du Togo recevant les pluies les plus lourdes (jusqu'à 1 500 mm/an à certains endroits). La portion du Togo du bassin fluvial reçoit les précipitations moyennes annuelles les plus élevées, 1 262 mm en moyenne. Le Ghana reçoit également plus de 1 200 mm/an sur sa partie du bassin. Les parties les plus sèches du bassin se situent à l'extrême nord du Mali, où les précipitations sont en moyenne de 540 mm/an (Figure 2.13.1).

Les taux d'évapotranspiration élevés à travers une grande partie du Burkina Faso et du Ghana, laissent peu d'écoulement excédentaire pour contribuer au flux du fleuve. Les plus grandes

Figure 2.13.3 : Densité de population du bassin de la Volta

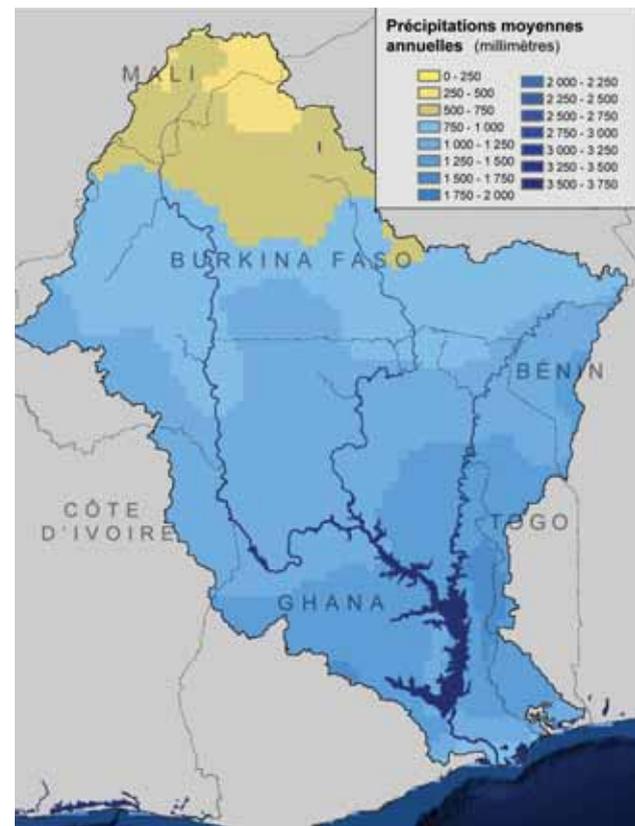
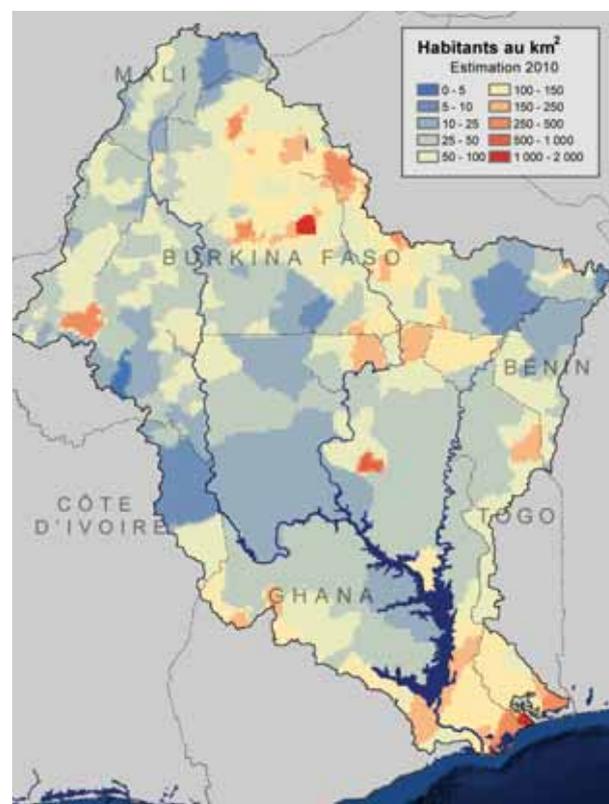


Figure 2.13.1 : Précipitations moyennes annuelles du bassin de la Volta

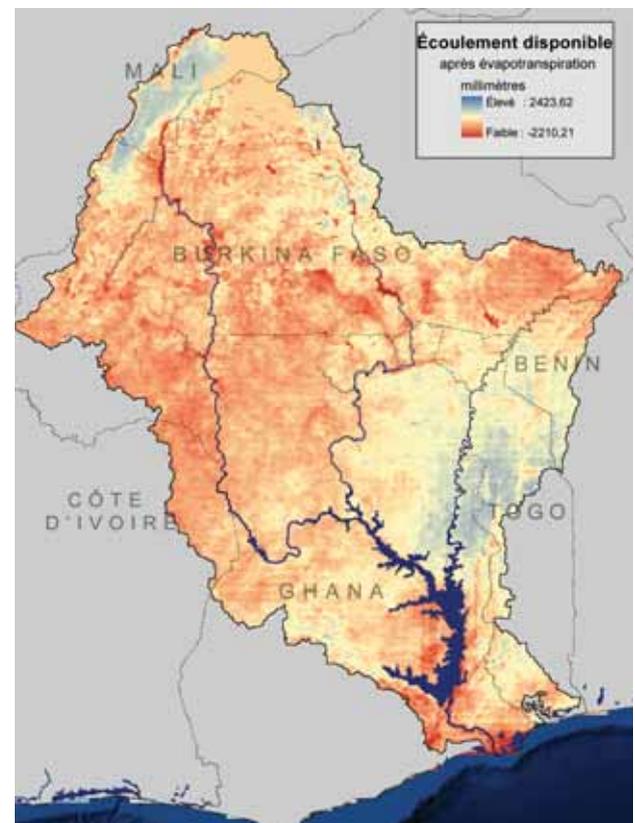


Figure 2.13.2 : Écoulement disponible modélisé du bassin de la Volta

contributions proviennent du Togo et du Mali, suivis du Ghana et du Bénin. Le Burkina Faso et la Côte d'Ivoire ont tous deux un impact négatif sur le bilan hydrique du fleuve, du fait du taux d'évapotranspiration excédant les précipitations annuelles (Figure 2.13.2).

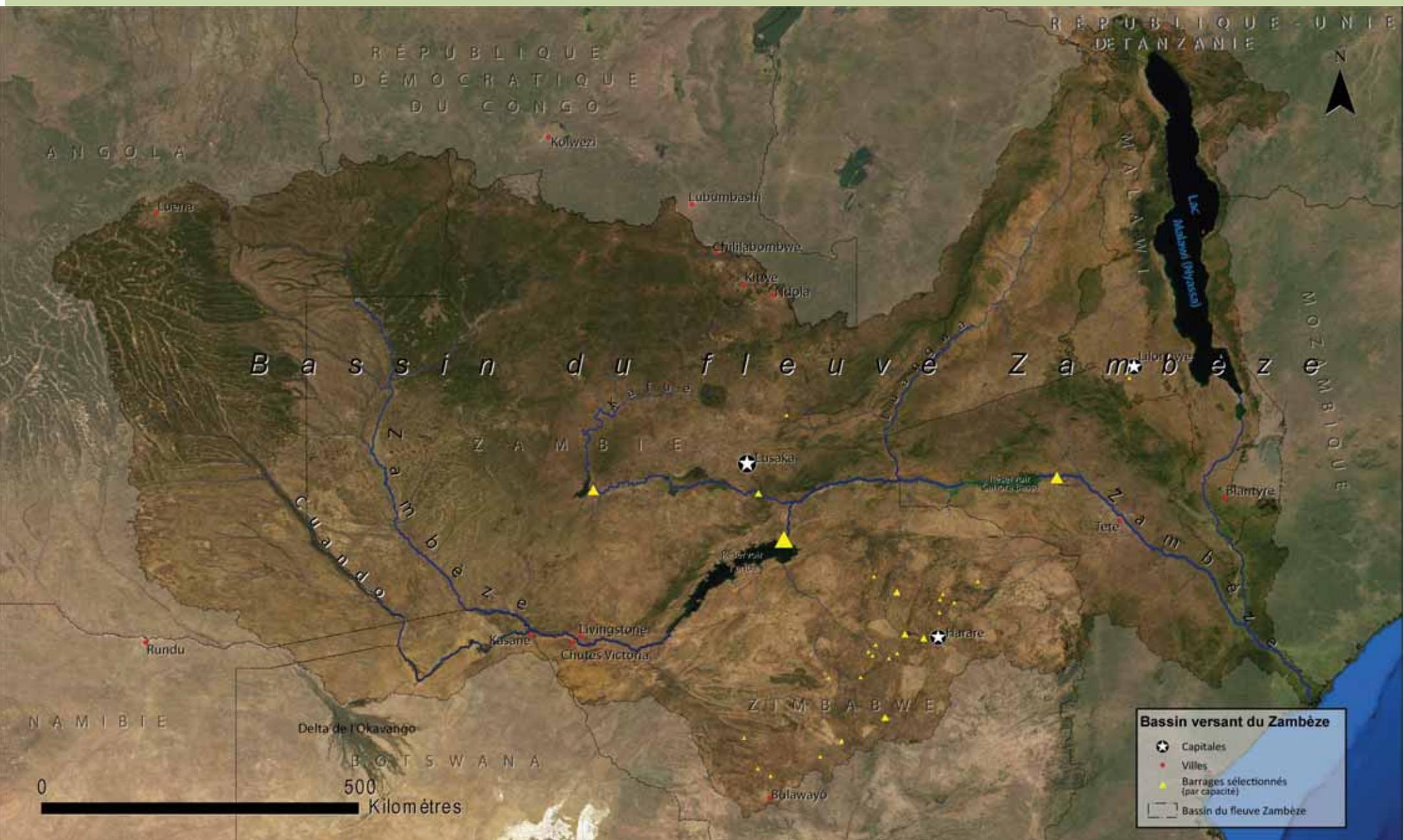
Population

Environ 28 millions de personnes vivent dans le bassin du Volta. Les deux pays couvrant la plus grande superficie du bassin sont également les plus peuplés : le Burkina Faso, avec 13 millions et le Ghana, avec près de 10 millions d'habitants. Le Togo a la densité de population la plus élevée dans sa portion du bassin (116 habitants au km²), tandis que la portion de la Côte d'Ivoire ne représente que 26 habitants au km² (Figure 2.12.3).

Bassin du Fleuve Zambèze



Le fleuve Zambèze prend sa source à environ 1 200 m au-dessus de la mer, dans les Collines Kalene, où les frontières de l'est de l'Angola, du nord-est de la Zambie et du sud de la RDC se rejoignent. Au fil de son écoulement à travers l'Angola et le nord-est de la Zambie, le paysage est généralement dominé par les bois de Miombo, avec des réseaux de zones humides herbeuses, le long des lignes de drainage, et de forêts riveraines le long des plus gros ruisseaux.



Plus de 40 millions de personnes vivent dans le bassin du Zambèze

Les affluents pénètrent le long des deux rives, drainant ainsi des portions de l'est et du sud-est de l'Angola et du nord de la Zambie vers des zones de faible pente, qui forment la plaine inondable Barotse. En suivant les chutes Ngonye, la pente du fleuve se raidit alors qu'il continue à collectionner les affluents, comme le fleuve Cuadi-Chobe, qui draine le sud de l'Angola et la bande de Caprivi en Namibie. Trois cent kilomètres en aval, le fleuve perd abruptement 100 m, formant les chutes Victoria et marquant le début de la section moyenne du fleuve. Sous les chutes Victoria, la pente se raidit brutalement, le flux s'accélère, les rapides s'élèvent et le fleuve suit une séquence de tournants serrés sur plusieurs kilomètres (Moore et al. 2007). Il s'élargit ensuite et continue le long de la frontière entre la Zambie et le Zimbabwe, s'élargissant de manière spectaculaire en entrant dans le réservoir de Kariba. A 200 km en aval, le Zambèze pénètre le Mozambique et s'écoule vers le réservoir de Cahora Bassa. En-dessous, la pente se stabilise à nouveau, pendant que le fleuve traverse la plaine côtière. En-dessous du fleuve Shire, le Zambèze traverse une autre zone de plaines inondables, avant d'atteindre le delta et de se déverser dans l'Océan Indien.

Population

Un total de 40 millions d'individus habitent le bassin du Zambèze. Tandis que seulement huit pour cent de la superficie du bassin se trouvent au Malawi, plus de 13 millions d'individus, soit un tiers de la population majoritairement rurale du bassin, y vivent. La Zambie et le Zimbabwe ont tous deux environ 10 millions d'habitants dans le bassin. Plusieurs grandes villes et agglomérations urbaines de la région se trouvent dans le bassin, telle la ville de Lusaka et les villes de la Ceinture de Cuivre de la Zambie, de même qu'Harare et Bulawayo, au Zimbabwe, et Lilongwe et Blantyre, au Malawi. Les taux de croissance de la population à l'échelle du pays au Malawi, en République-Unie de Tanzanie et en Angola sont élevés, par rapport aux normes mondiales. Cependant, depuis 1990, la plupart de la croissance démographique dans le bassin s'est produite au Malawi et dans les zones urbaines déjà importantes. Le taux de croissance de la population du Malawi a culminé à la fin des années quatre-vingt à plus de six pour cent annuellement, mais a diminué depuis à un peu plus de 2,5 pour cent (Figure 2.14.1).

Précipitations

Les précipitations annuelles à travers la plus grande partie du bassin sont adéquates pour soutenir l'agriculture pluviale. Ces précipitations s'affaiblissent généralement vers le sud et l'ouest, par tant d'un niveau qui s'élève de 1 700 mm/an au nord du Mali, à une moyenne d'un peu plus de 500 mm/an dans certaines parties du bassin occupées par le Botswana, la Namibie et le Zimbabwe. La pluviosité est variable dans l'espace et d'une année à l'autre, surtout dans certaines parties de la bordure est du bassin, et plus particulièrement, dans l'est du Malawi et l'ouest du Mozambique. Plus de 42 pour cent du bassin du Zambèze se situe en Zambie et occupe environ trois quarts du pays. Les précipitations moyennes annuelles de la Zambie varient entre plus de

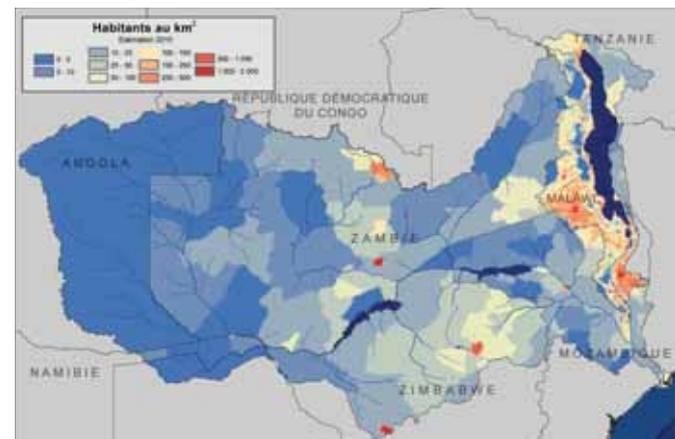


Figure 2.14.1 : Densité de population du bassin du Zambèze

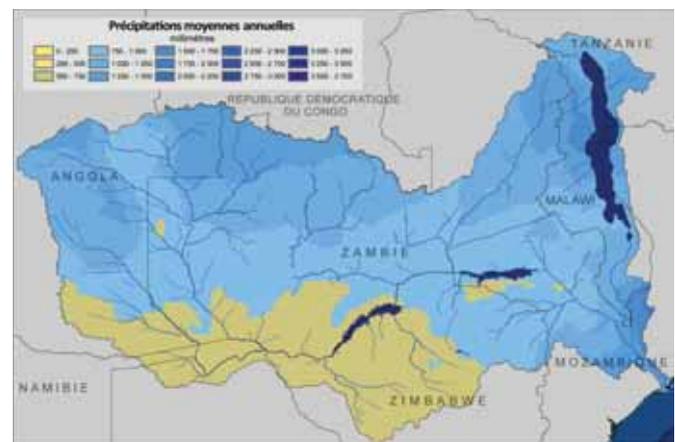


Figure 2.14.2 : Précipitations moyennes annuelles du bassin du Zambèze

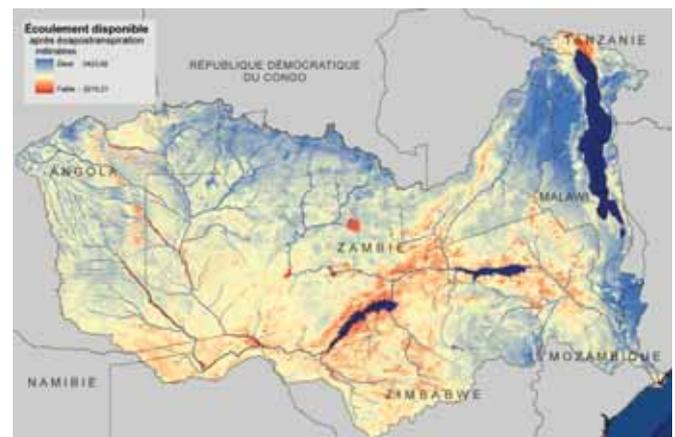
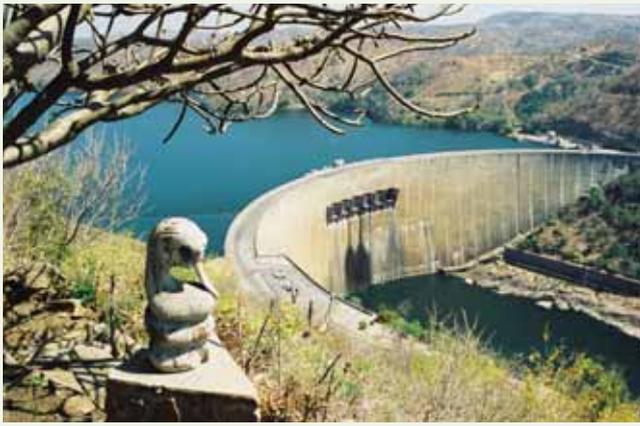


Figure 2.14.3 : Écoulement modélisé disponible du bassin du Zambèze

1 500 mm dans certaines régions du Nord, à 650 mm à travers la frontière Sud. Les précipitations sont d'en moyenne de 950 mm à travers la portion zambienne du bassin, contribuant à presque la moitié de l'afflux du fleuve. L'apport de l'Angola compte pour environ un cinquième et le Malawi, le Mozambique et le Zimbabwe fournissent l'afflux restant (Senay 2009) (Figure 2.14.2, Figure 2.14.3).

La pluviosité est fortement saisonnière à travers le bassin ; elle culmine en décembre et en janvier, et baisse considérablement durant les mois de l'hiver austral (Chenje 2000). La durée et la quantité de la pluie ont un impact significatif sur les économies fortement agricoles de la région (Manatsa et al. 2008, IFPRI 2009). Les archives relatives aux précipitations du XXIème siècle montrent que la sécheresse était fréquente et sévère, suite à un cycle de 10 à 15 ans de précipitations (Manatsa et al. 2008, Nicholson et Kim 1997).



Barrage de Kariba vu du côté du Zimbabwe du Zambezi

Barrage de Kariba

Le Kariba était le premier des grands barrages à être construit sur le fleuve Zambèze. L'eau du fleuve a commencé à le remplir à la fin de l'année 1958 (Beilfu 2006). Le barrage a une capacité énergétique installée de 1 350 MW et créé un réservoir couvrant 5 580 km² (Magadza sans date). Il est tellement vaste

qu'il a augmenté l'activité sismique dans la vallée, causant de nombreux petits tremblements de terre depuis le remplissage du lac (Magadza sans date). Le remplissage du Kariba a déplacé 57 000 personnes (ETH 2004, McDermott-Hughes 2006, Scudder 2006). La délocalisation est perçue comme ayant été mal gérée, empirant les conditions de vie de la majorité des personnes déplacées (Magadza 2006, Magadza sans date, ETH 2004, Scudder 2006).

Le barrage de Kariba a régularisé le flux du fleuve, et a commencé à modifier les schémas d'inondation en aval. Ceci a eu un impact négatif sur

de nombreux systèmes naturels en aval du barrage, surtout sur les zones humides, telle la région du delta (Scudder 2005, Beilfuss 2006). La perte des schémas d'inondation naturels a également eu un impact négatif sur la pêche crevette cœtière du Mozambique (Scudder 2005). De plus, le réservoir a été envahi de *Salvinia molesta* et de jacinthes d'eau (Marshall 1981, Magadza 2006).

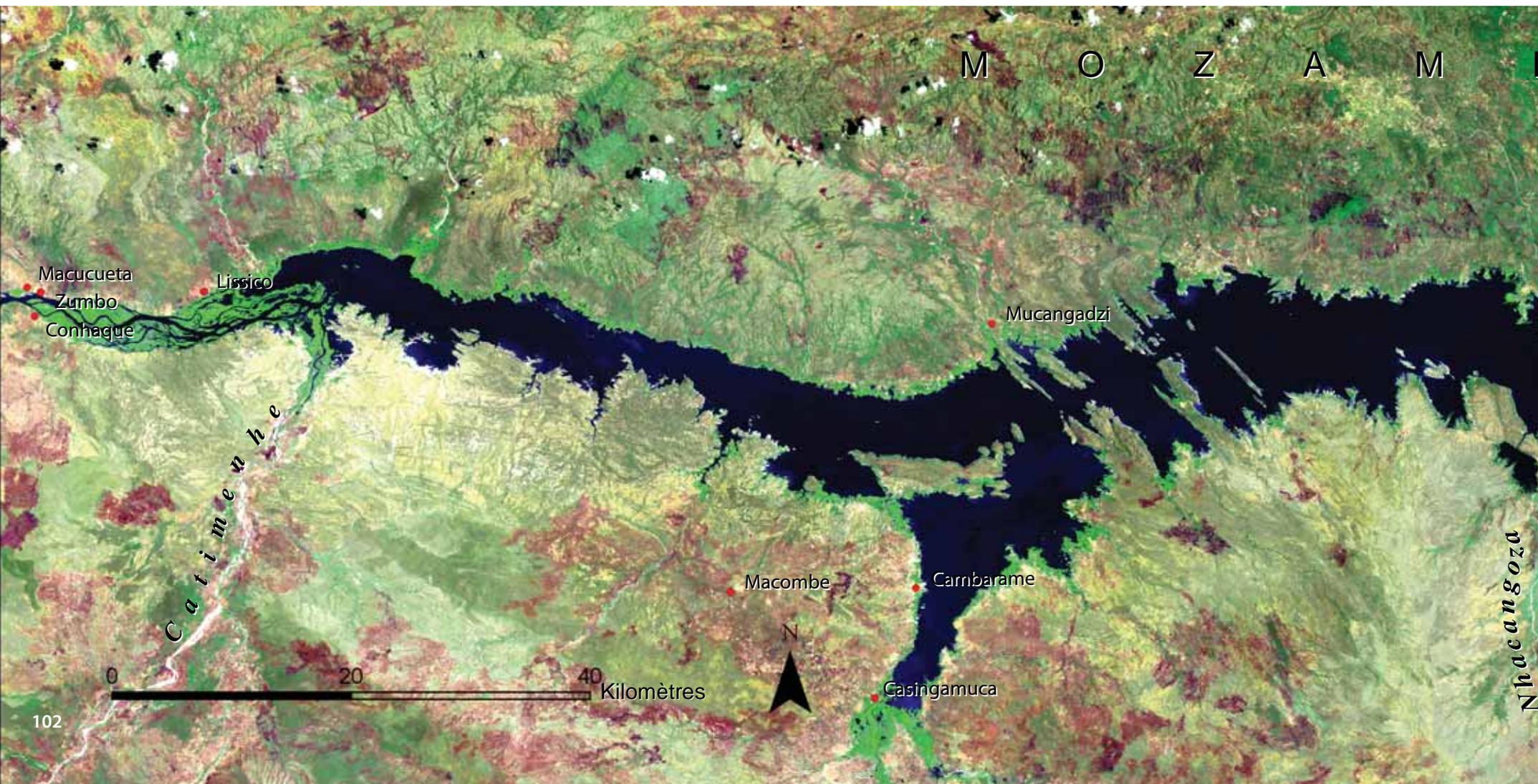
La production d'électricité par le Kariba a été très importante pour le développement de la Zambie et du Zimbabwe, pour le soutien de grandes industries, telles que les mines, dans la Ceinture de Cuivre de la Zambie (Magadza 2004). Le nouvel environnement hydrique, plus vaste, n'était pas idéal pour les espèces indigènes de poissons, et de grandes parties du nouvel habitat sont restées inhabitées. Une espèce provenant du lac Tanganyika, connue localement sous le nom de kapenta, a été introduite dans le lac et l'a rapidement colonisé (Magadza 2006). Même si les bénéfices de la pêche n'ont pas équitablement profité à tous les groupes, les captures de poissons ont été substantielles : environ 9 000 tonnes métriques en moyenne entre le milieu des années quatre-vingt et 2000 (Ngalande 2004).

Mise en valeur de l'eau

Quatre principaux barrages dans le bassin du Zambèze régulent le flux du fleuve, et produisent une grande partie de l'électricité de la région. Les barrages de Cahora et de Kariba se trouvent sur le Zambèze lui-même, tandis que les barrages de la Gorge de Kafue et d'Itezhi-Tezhi se trouvent sur le fleuve Kafue, un des principaux affluents du Zambèze, en Zambie. Les quatre barrages ont suscité un certain degré de controverse

concernant leurs impacts environnementaux et humains (IR 2006). Les proposants du projet argumentent que l'électricité produite est vitale pour le développement des pays du bassin. Ce fait n'est généralement pas contesté, mais les opposants argumentent que les coûts environnementaux et humains ont été inutilement élevés à cause d'un planning et d'une gestion inadéquats, et que les coûts et bénéfices ne sont pas retombés équitablement sur toutes les parties prenantes (Morrissey 2006).

Figure 2.14.4 : Le barrage de Cahora Bassa et son réservoir





Le barrage de Cahora Bassa dans l'ouest du Mozambique

Le Barrage de Cahora Bassa

Le barrage de Cahora Bassa a été construit en 1974, sous le contrôle de l'Autorité de Planification de la Vallée du Zambèze (Zambezi Valley Planning Authority). Il était destiné à la production d'électricité, à la navigation, à l'irrigation et à l'approvisionnement en eau pour les activités minières et industrielles. La fermeture du Cahora Bassa, de même que celles d'autres endiguements en amont, ont davantage régularisé le flux. Le barrage est tout d'abord parvenu à produire l'énergie hydroélectrique, dont la majeure partie est destinée à la vente à l'Afrique du Sud, et à un moindre degré, au Zimbabwe. Le niveau de cette énergie est susceptible de descendre en-dessous des niveaux optimaux, si tous les barrages le long du Zambèze devaient être gérés de manière à imiter l'inondation naturelle, au bénéfice des écosystèmes concernés (Beilfuss 2006) (Figure 2.14.4).

Les coûts humains et environnementaux incluent : un déclin de l'industrie de pêche côtières, la perte de mangroves le long de la côte,

des changements dans la végétation des zones humides, une augmentation du nombre d'insectes porteurs de maladies et l'intrusion par les plantes envahissantes. Les évaluations de projet précédant la fermeture du barrage anticipaient ces impacts, et les recommandations qui auraient minimisé ces coûts n'ont pas été suivies au début de la mise en opération du barrage. De récentes études recommandaient une gestion du flux, pour rétablir quelques unes des fonctions antérieures à l'endiguement, à travers la simulation des variations naturelles du flux (Davies 2000, Beilfuss 2006).

D'autres barrages sont envisagés, comme le Mphanda Nkuwa, environ 113 km en aval du Cahora Bassa. Cette infrastructure hydroélectrique aura une capacité installée de 1 300 MW (UTIP sans date). L'électricité produite est destinée à faciliter le développement du Mozambique, mais initialement, sa plus grande part sera vendue à l'Afrique du Sud (IR 2006). Plusieurs ONG et chercheurs ont exprimé leurs préoccupations quant aux coûts environnementaux et humains du projet (Beilfuss 2006, IR 2006).



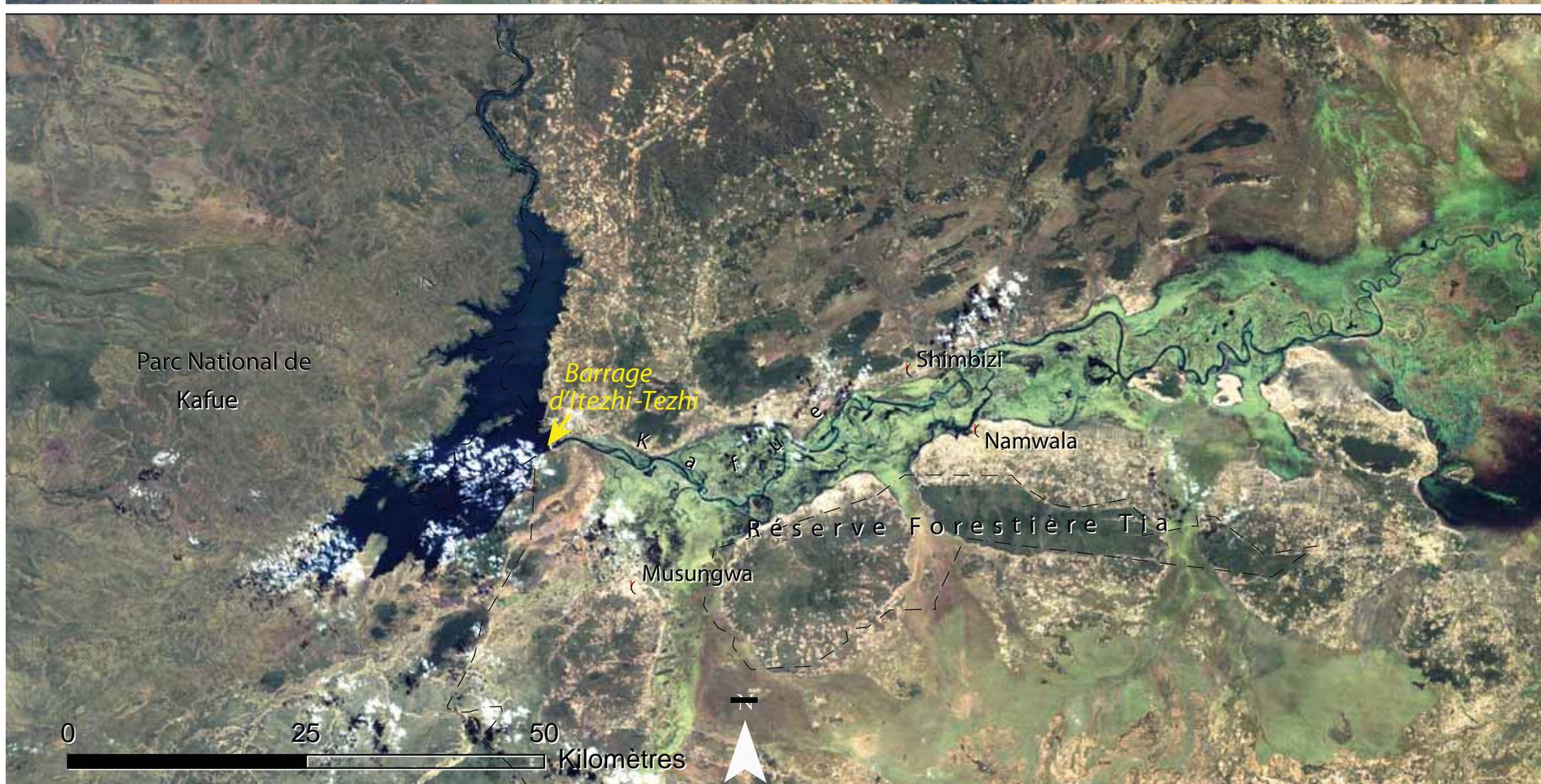


Figure 2.14.5 : Les Kafue Flats, avant et après relâchement d'eau

Les Kafue Flats

Le fleuve Kafue, sur l'un des principaux affluents du Zambèze, traverse une vaste plaine inondable d'environ 255 km de long, au moment où il passe entre les barrages d'Itezhi-tezhi et de Kafue. Avant la construction du barrage d'Itezhi-tezhi sur le fleuve, en 1978, l'inondation avait commencé en décembre et couvrait la majeure partie de la plaine jusqu'au

milieu de la saison sèche. Bien que le barrage ait été construit pour permettre le déversement d'une quantité d'eau suffisante pour imiter l'inondation saisonnière naturelle, il n'est pas clair dans quelle mesure cela a été fait dans le passé. Cette plaine inondable fournit un important habitat pour des espèces rares et endémiques, comme le Kafue lechwe et la grue de Wattled. Par ailleurs, elle soutient les moyens de subsistance locaux, surtout l'élevage de



bétail et la pêche (Schelle et Pittock 2005). Suite à la construction du barrage, l'inondation saisonnière limitée a été liée à un déclin de la production de pêche, et à une réduction du nombre de Kafue lechwe. Le nombre de lechwe a diminué de 90 000 avant la construction du barrage, à environ 37 000 en 1998 (CEH 2001).

En 2004, un partenariat entre le Fonds mondial pour la nature, le Ministère zambien de l'Énergie et de la Mise en Valeur de l'Eau, et la Société zambienne

de Fourniture d'Electricité (Zambian Electricity Supply Company) a établi de nouvelles règles pour que l'eau relâchée par le barrage imite les schémas d'inondation naturelle (WWF 2007).

L'image satellite de la Figure 2.14.5 est prise durant la saison sèche, lorsque les eaux d'inondations ont reculé. L'image de 2009, prise sept mois plus tard, montre l'étendue des inondations annuelles durant la saison humide, aidée par les rejets contrôlés.

Aquifères Transfrontaliers

Tout comme il existe des bassins fluviaux partagés à l'échelle internationale, il existe des ressources hydriques et des aquifères partagés ou transfrontaliers, cachés sous terre. Certains des aquifères transfrontaliers du monde contiennent suffisamment de ressources en eau douce, pour fournir de l'eau potable et de bonne qualité, pour satisfaire les besoins de toute l'humanité durant des décennies (UNESCO 2001) (Figure 2.15.1). Les systèmes aquifères contiennent généralement de l'eau d'excellente qualité, en partie grâce à leur relative isolation des impacts de surface. Cependant, la nature cachée de l'eau souterraine transfrontalière

et le manque de cadres légaux pour la gérer, laissent place à l'incompréhension par de nombreux décideurs politiques. Il n'est donc pas surprenant d'apprendre que la gestion des aquifères transfrontaliers est encore à son stade embryonnaire, puisque les eaux souterraines sont difficiles à évaluer, et qu'une volonté institutionnelle et des financements font défaut pour recueillir les informations nécessaires. Bien qu'il existe des estimations détaillées, relativement fiables, des ressources hydriques des fleuves partagés par deux ou plusieurs pays, il n'existe pas d'estimations équivalentes pour les aquifères transfrontaliers (Salman 1999).



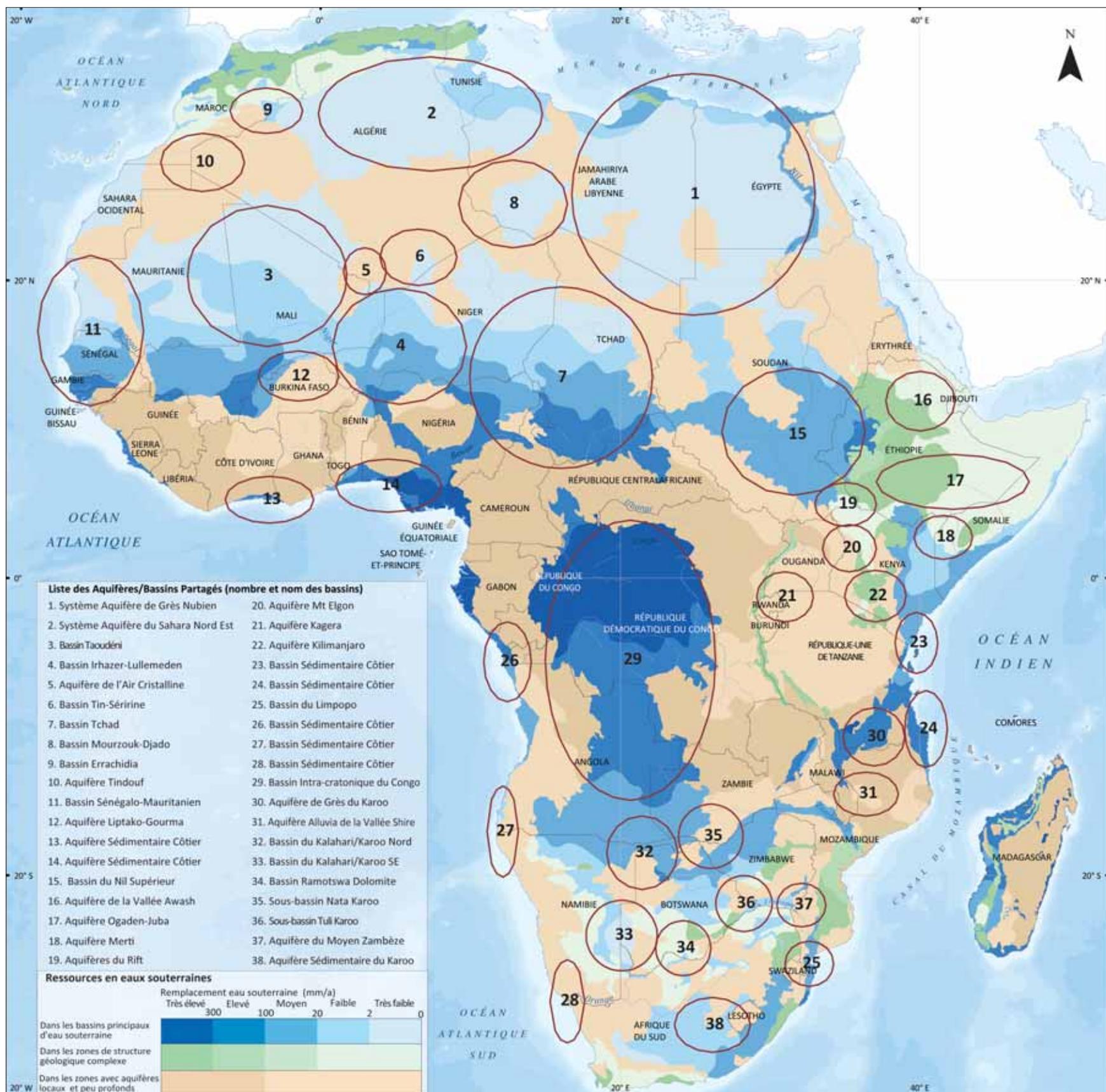
En Afrique, l'eau souterraine est une source d'eau douce importante. Elle est également vitale pour compléter les ressources hydriques de surface, dans une région devenant davantage vulnérable à la sécheresse récurrente. L'Afrique est dotée d'importantes ressources aquifères, souvent sous-utilisées, surtout dans les grands systèmes sédimentaires partagés du Sahara, de l'Afrique Centrale et Australe. Il existe également des ressources aquifères côtières importantes, lesquelles qui subviennent aux grandes populations urbaines, concentrées dans des zones côtières d'expansion rapide (Figure 2.15.2).

Les grandes ressources aquifères partagées représentent souvent la seule sécurité face à la sécheresse, et la seule source vitale pour les grandes populations des zones semi-arides. Tandis que les liens entre l'eau de surface et l'eau souterraine sont essentiels pour la recharge d'un aquifère, les bassins versants, dans plusieurs zones de réalimentation d'aquifères, sont menacés par la dégradation accélérée du sol, et la désertification et l'infiltration réduite. Dans les zones irriguées, ces bassins versants sont menacés



Yongxin Xu/UNESCO

Figure 2.15.1 : Aquifères transfrontaliers (Source : adaptée de UNESCO-IHP/ISARM 2004)



par l'engorgement et la salinisation. Ces menaces qui affectent de très grandes superficies, ont atteint des échelles sous-régionale et transfrontalière en Afrique (UNESCO 2004).

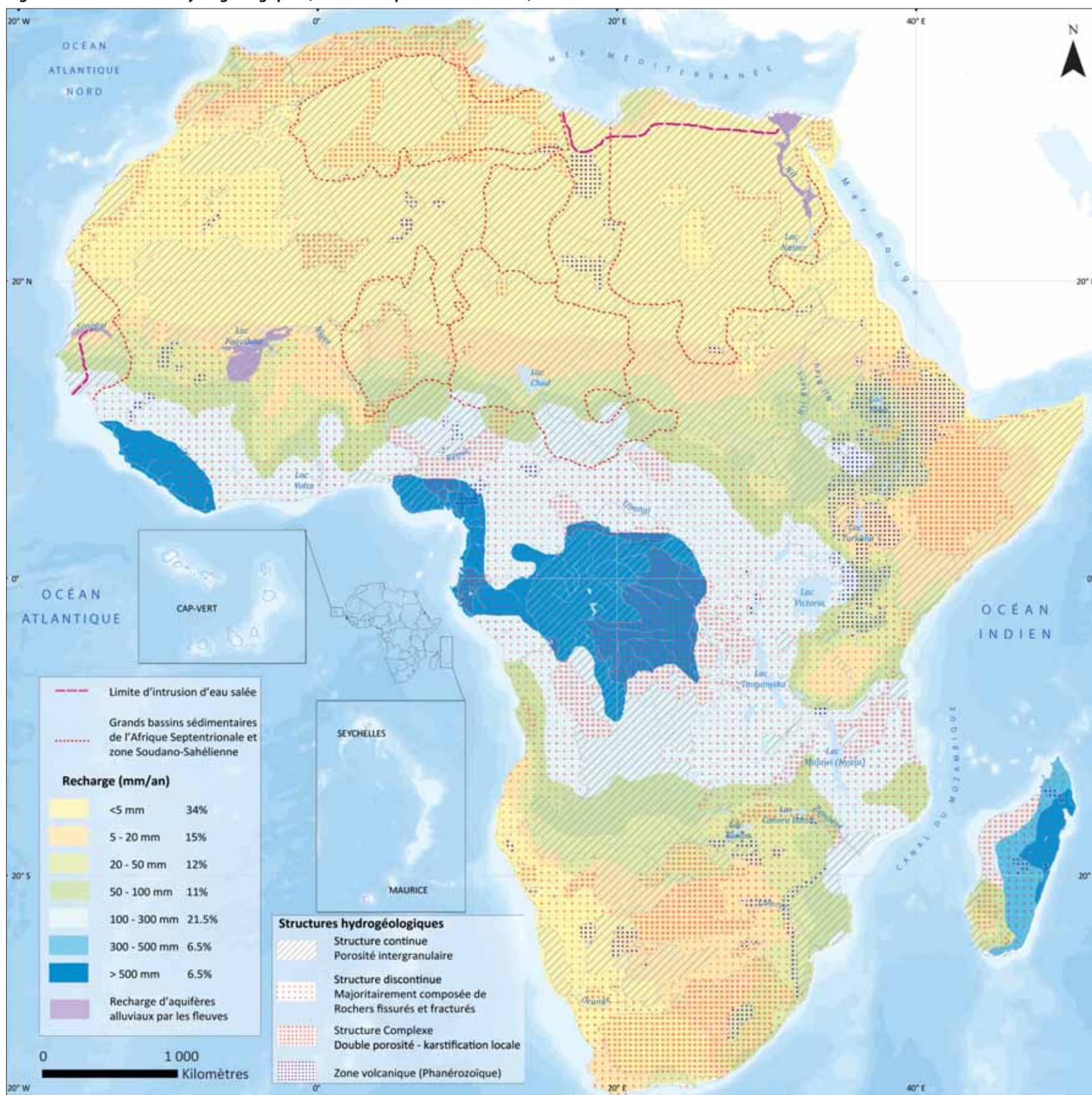
Les systèmes sédimentaires sous-régionaux du Sahara et d'Afrique Centrale et Australe dominent les aquifères transfrontaliers en Afrique. Du Nord au Sud, les systèmes incluent le Saharien-Libyen, le bassin du Sahel avec le Taoudenni, l'Iullemeden, le Tchad et le Congo, et en Afrique Australe, le Kalahari et le Karoo. Les systèmes aquifères les plus larges et de la plus haute importance, sont pour la plupart situés dans les zones arides et semi-arides du continent, lesquelles sont continuellement menacées par la dégradation accélérée des sols, la perte de terres productives et la désertification causée par les activités humaines. Ainsi, les questions de gestion et les implications transfrontalières s'étendent au-delà des questions de l'équilibre hydrique et de contrôle des systèmes

hydrauliques, pour inclure l'utilisation et la protection des terres dans les zones de réalimentation et de rejet. En plus des aquifères sous-régionaux, il existe une multitude de systèmes transfrontaliers locaux, partagés par deux ou plusieurs pays voisins (UNESCO 2004).

Eaux Souterraines : Etudes de Cas

Tout comme avec les bassins d'eau de surface, il est utile d'aborder la question des eaux souterraines à l'échelle du bassin. Tandis que les systèmes aquifères ne sont généralement pas aussi bien définis que les bassins fluviaux et lacustres, il existe plusieurs intérêts communs entre les individus vivant au-dessus des ressources hydriques souterraines. Ces intérêts comprennent le développement d'une base scientifique adéquate pour comprendre la ressource, protéger la qualité de l'eau et assurer une utilisation durable et équitable.

Figure 2.15.2 : Structures hydrogéologiques (Source : adaptée de BRGM 2005)



Aquifère de Grès Nubien



Le Système Aquifère de Grès nubien se trouve en-dessous d'une large partie de l'Égypte, de la majeure partie de l'est de la Jamahiriya arabe libyenne et de grandes portions du nord du Tchad et du Soudan (CEDARE 2001). Il peut être globalement décrit comme deux systèmes aquifères distincts séparés verticalement par des couches de moindre perméabilité, qui permettent une fuite par le haut (Alker 2008). Le Système Aquifère de Grès nubien d'une plus grande profondeur est plus âgé et s'étend sur toute la zone, tandis que le Post Système Aquifère nubien se situe au-dessus de cette zone, au sein des formations géologiques plus récentes, et couvre environ la moitié nord du système plus étendu (CEDARE 2001).

Les individus ont extrait de l'eau souterraine, à un degré limité, pendant des milliers d'années dans le désert nord-africain (Shahin 1987). Les taux historiques d'utilisation sont relativement insignifiants, comparés au taux actuel d'abstraction dans l'Aquifère de Grès nubien, lequel a augmenté d'environ 500 pour cent depuis le début des années soixante, lorsque le développement à grande échelle a commencé (Bakbakhi 2006) (Figure 2.16.2). Une modélisation du bilan hydrique de l'aquifère montre que le taux actuel d'utilisation de l'eau souterraine, et l'accélération de son déclin, surpasseront rapidement les taux historiques (Ebraheem et al. 2003).

Figure 2.16.1: Le Système Aquifère de Grès nubien



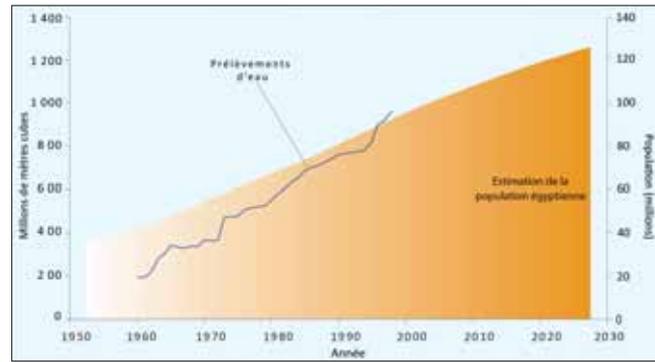


Figure 2.16.2 : Prélèvement d'eau par la population (Source : CEDARE 2001)

Il est clair que le système aquifère détient une énorme réserve d'eau, mais les estimations de sa quantité varient considérablement, entre 15 000 km³ (Alker 2008) et 135 000 km³ (Gossel et al. 2004), et 457 570 km³ (Bakbakhi 2006). On croit généralement que l'eau de l'aquifère a été produite à une époque où les climats étaient plus humides (5 000–10 000 et 20 000–25 000 ans BC) et qu'aucune réalimentation significative ne s'est produite dans les conditions climatiques actuelles (Gossel et al. 2004, CEDARE 2001, Ebraheem et al. 2003). Les experts acceptent généralement que le système

a été en déséquilibre pendant des millénaires, et que les niveaux des eaux souterraines déclinaient bien avant que l'extraction artificielle ne débute (Heinl et Brinkman 1989, Gossel et al. 2004). Ainsi, tout prélèvement d'eau de l'aquifère, dans le climat actuel, serait considéré comme une extraction d'eau similaire à une extraction minière, à un taux excédant la réalimentation.

Précipitations

Les conditions arides et hyper arides dans la majeure partie de la région amplifient l'importance de l'aquifère de façon spectaculaire. Presque toute l'eau utilisée par les individus vivant au-dessus de l'aquifère provient soit de l'extraction souterraine, soit de la diversion du Nil. Les précipitations moyennes annuelles sont de moins de 50 mm, et de vastes zones au-dessus du système aquifère reçoivent des précipitations non quantifiables en moyenne. La zone la plus humide se trouvant au sommet le plus au nord de la Jamahiriya arabe libyenne, reçoit environ 425 mm de pluie. Le nord du Darfour au Soudan est la zone la plus humide au Sud, mais ne reçoit que 200 mm de précipitations chaque année en moyenne (Figure 2.16.4).

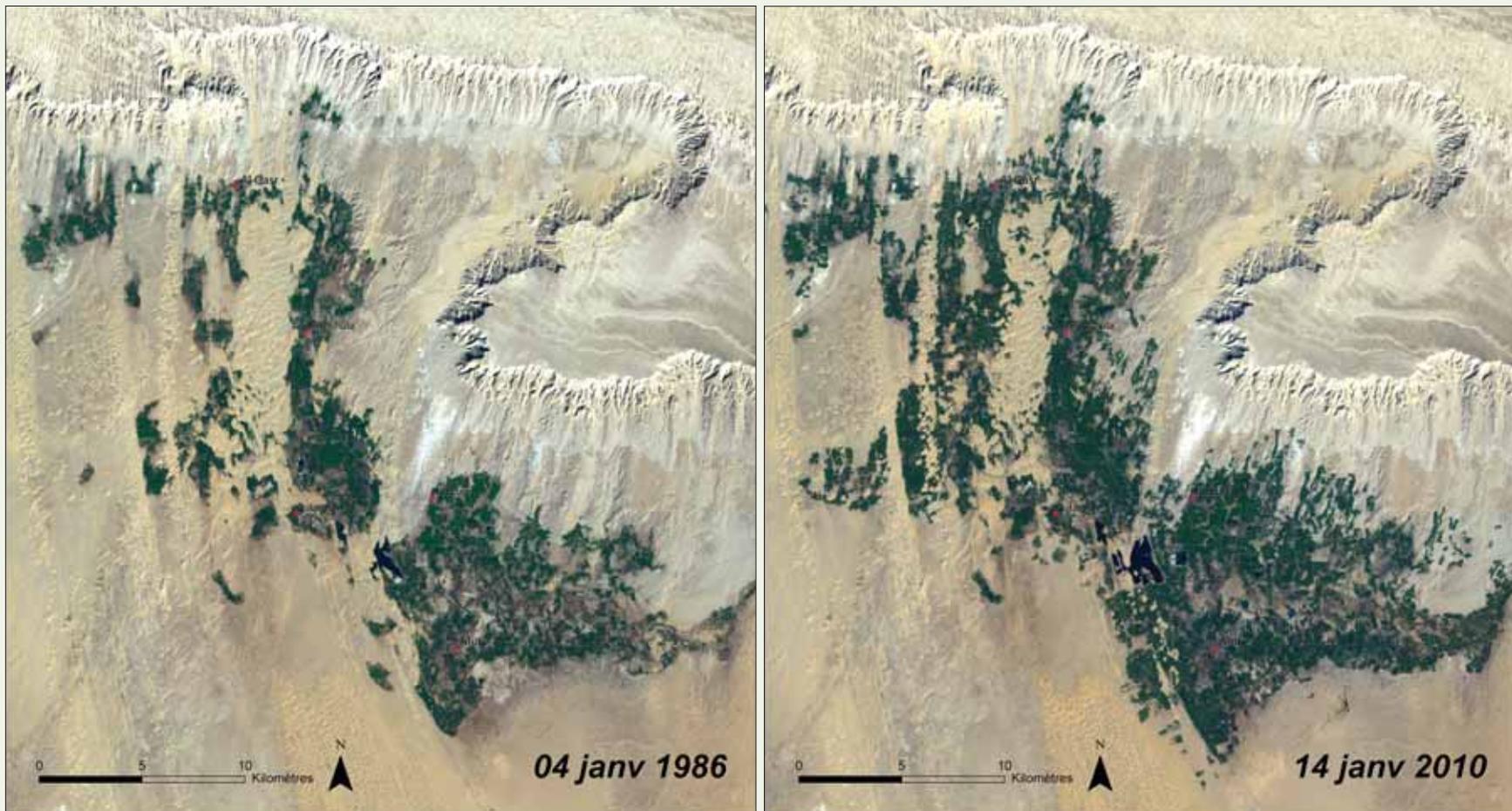


Figure 2.16.3 : Oasis de Dakhla, 1986-2010

Mise en Valeur d'Oasis Désertique – Oasis de Dakhla

L'Oasis de Dakhla se situe à 300 km à l'ouest du Nil et est entouré des paysages désertiques les plus secs. Cependant, sa situation au-dessus du versant sud de l'Aquifère Post Nubien permet un accès à des puits peu profonds et profonds, au sein du Système Aquifère de Grès nubien. Bien qu'il n'abrite que moins de 100 000 habitants, les archéologues croient que l'Oasis de Dakhla a été continuellement colonisé depuis 8 000 ans (Dakhleh Project sans date). L'extraction d'eau de l'Aquifère de Grès nubien, plus profond, à l'Oasis, a décuplé

depuis 1960 (CEDARE 2001). La croissance de l'agriculture, liée à ce phénomène, est visible sur la paire d'images satellites qui montrent quelques-unes de ces années : 1986 à 2010 (Figure 2.16.3). Faisant face à des populations de plus en plus nombreuses le long du Nil, le gouvernement égyptien a davantage encouragé la colonisation et l'agriculture dans l'oasis du Désert de l'ouest. Quelques études suggèrent que les taux d'extraction d'eau pour ces zones ne sont cependant pas soutenables, car ils conduiront à des dépressions locales dans la nappe phréatique, rendant l'eau de plus en plus coûteuse à accéder (Ebraheem et al. 2003).



Figure 2.16.4 : Précipitations moyennes annuelles du Système Aquifère de Grès nubien



Figure 2.16.5 : Densité de population du Système Aquifère de Grès nubien

Population

La population de plus de 80 millions de l'Égypte représente presque 98 pour cent de la population totale vivant au-dessus du Système Aquifère de Grès nubien (SAGN) (Figure 2.16.5). La population de l'Égypte a doublé depuis 1975, et il est projeté qu'elle augmentera à plus de 129 millions, à l'horizon 2050 (UNESA 2008). Cette situation signifie que d'ici la seconde moitié du siècle présent, cinq fois plus de personnes se partageront les mêmes ressources hydriques qu'en 1960. Du fait de la forte concentration démographique dans la vallée du Nil, le gouvernement égyptien a cherché des moyens d'attirer les individus loin du fleuve, comme par

exemple vers des régions de mise en valeur de champs de captage ou d'expansion à Oweinat est, Bahariya, Farafra et Dakhla, lesquelles dépendront de l'eau du Système Aquifère de Grès nubien (Ebraheem et al. 2003). En plus du nombre accru d'utilisateurs, il y aura moins d'eau disponible à partager, au moment où les niveaux baisseront. Une modélisation du bilan hydrique du système aquifère montre que les taux actuels d'extraction sont responsables des changements mesurables de stockage de l'eau (Ebraheem et al. 2003). De plus, là où le pompage intense se pratique, des dépressions coniques se forment au niveau des eaux souterraines, ce qui pourrait rendre le coût du pompage pour l'irrigation prohibitif à l'avenir (Ebraheem et al. 2003).





Jacques Taberlet

Le lac Yoa du bassin d'Ounianga Serir se trouve dans le désert aride du Sahara, mais est réalimenté par l'eau du Système Aquifère de Grès nubien

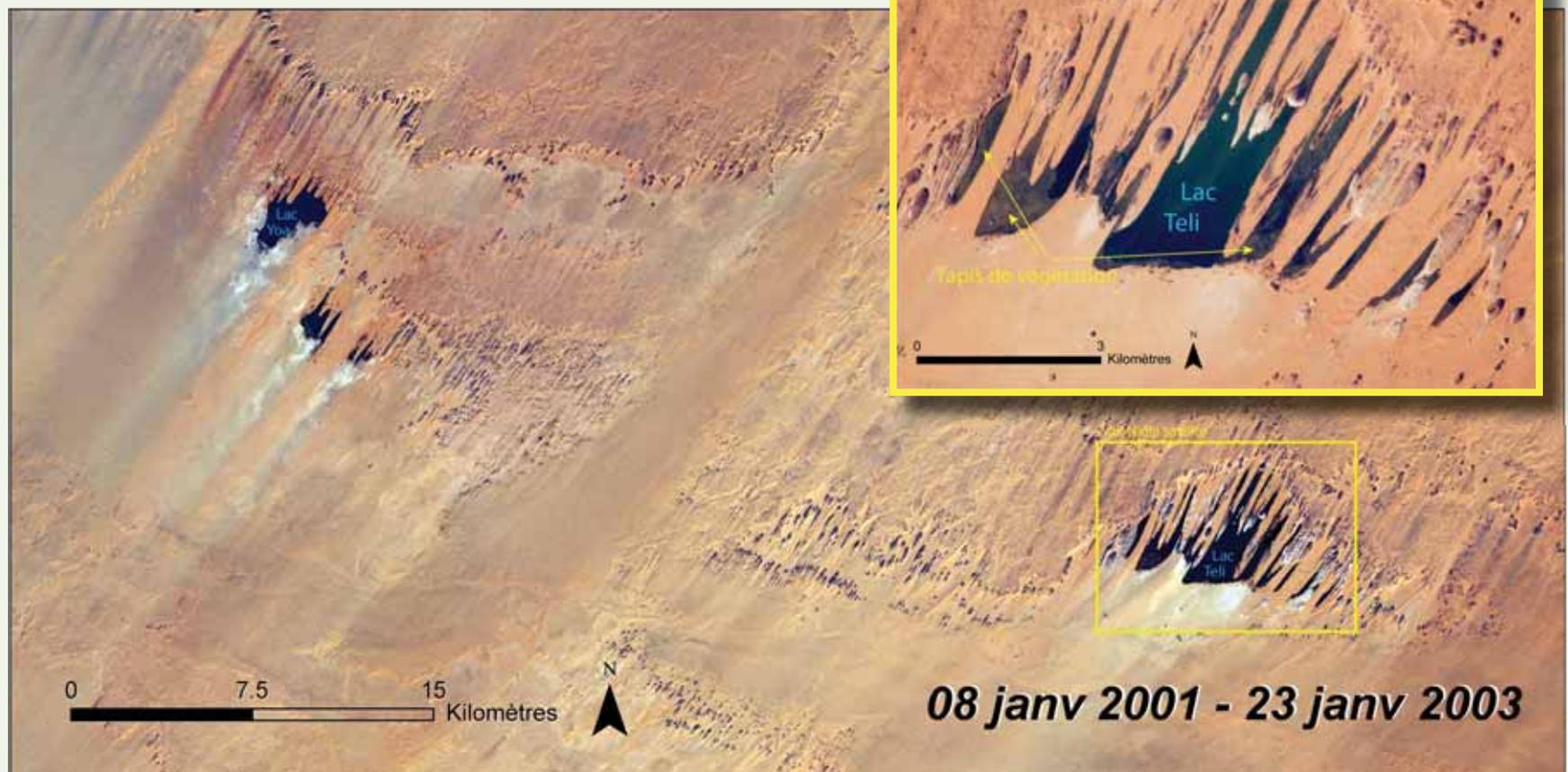
Lacs du Bassin d'Ounianga dans le Sahara

La dépression d'Ounianga se situe dans le nord-est du Tchad, entre les montagnes Tibesti et Ennedi, au milieu du désert du Sahara. La zone ne reçoit en moyenne que quelques millimètres de pluie annuellement, mais a un potentiel d'évaporation de plus de 6 000 mm, parmi les plus élevés au monde (Kröpelin 2009). Néanmoins, une série de lacs, alimentés par un apport continu en eau provenant du Système Aquifère de Grès nubien, survivent dans ce désert (Eggermont et al. 2008, Grenier et al. 2009, Kröpelin et al. 2008). L'évaporation extrême dans ce type d'environnement hyper aride concentre les sels dissouts, rendant les lacs très salins. Les deux plus grands lacs sont le Yoa et le Teli. Plusieurs des petits lacs entourant

le lac Teli, sont néanmoins des lacs d'eau douce, du fait d'une combinaison de facteurs incluant des tapis végétaux qui réduisent l'évaporation, et une configuration de l'écoulement qui soutire de l'eau douce à travers de petits lacs s'écoulant vers le lac Teli (Kröpelin 2007). La figure ci-dessous montre les tapis de végétation couvrant une grande partie de la superficie des plus petits lacs (Figure 2.16.6).

Malgré les conditions extrêmes, les individus vivent dans le bassin d'Ounianga Senior. Un village, Ounianga Kebir, est situé sur la rive ouest du lac Yoa (le lac le plus à l'ouest sur l'image satellite) ci-dessous. L'extraction de sel, la culture de dattiers et le pâturage constituent des moyens de subsistance (Hughes et Hughes 1992).

Figure 2.16.6 : Les lacs du bassin d'Ounianga 2001-2003





Le Projet du Grand Fleuve Artificiel

La Jamahiriya arabe libyenne est un des pays africain possédant le moins d'eau renouvelable. Elle dépend des eaux souterraines pour satisfaire 95 pour cent de ses besoins hydriques. L'eau est essentiellement 'fossile' et provient d'aquifères qui ne se réalimentent pas, tels que le Système Aquifère de Grès nubien, le Système Aquifère nord-ouest et le Système Aquifère du Bassin de Murzuq (Alker 2008). Bien que la Jamahiriya arabe libyenne ait certains aquifères à réalimentation limitée dans le nord, l'intrusion par le sel causé par le surpompage et la demande croissante, ont forcé la Jamahiriya arabe libyenne à rechercher d'autres sources pour satisfaire ses besoins en eau (Ghazali et Abounahia 2005). La découverte d'eau dans des aquifères profonds situés sous le désert libyen du sud, dans les années soixante, a inspiré un énorme projet de transfert d'eau : Le projet du Grand Fleuve Artificiel.

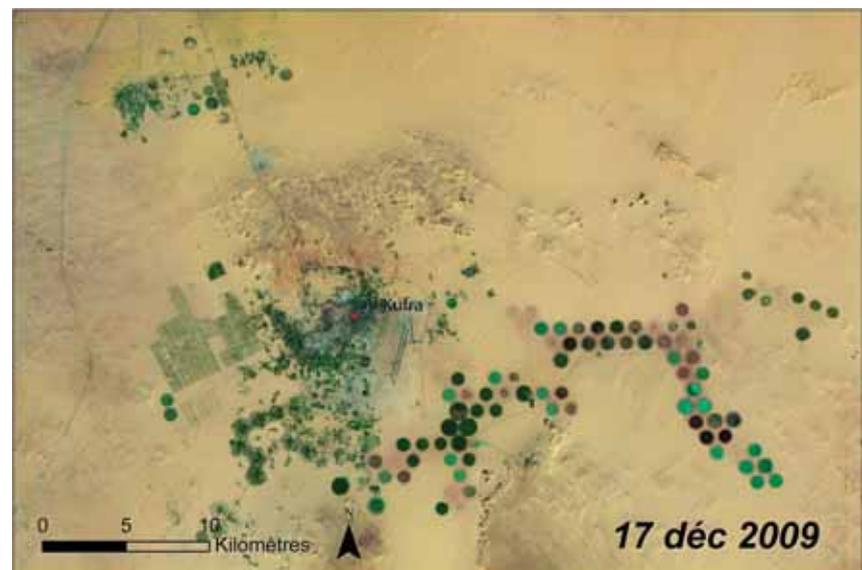
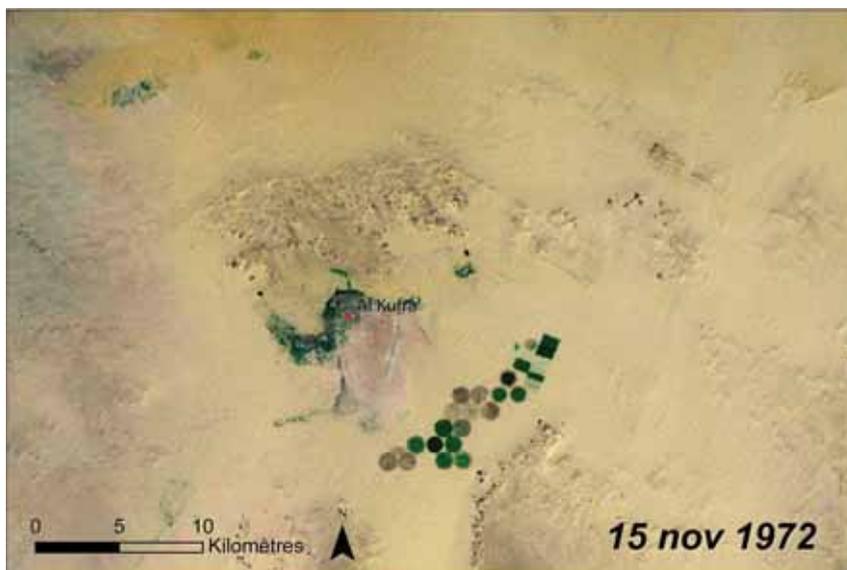
Les travaux du projet du Grand Fleuve Artificiel en Jamahiriya arabe libyenne ont débuté il y a environ 30 ans. Le projet transporte de l'eau des champs de captage du Sahara à la population de la Jamahiriya arabe libyenne, qui est généralement



Figure 2.16.7: Les champs de captage de l'est et du nord-est de Jabal fournissent de l'eau pour l'irrigation sur le bassin de Murzuq, à Tripoli et à la Plaine Jeffara dans le nord

concentrée dans les plaines du nord, le long de la côte méditerranéenne. L'eau est destinée à l'industrie, à l'usage domestique et à soutenir les

Figure 2.16.8 : L'expansion de l'irrigation à pivot central (cercles verts et marrons), entre 1972 et 2009, est alimentée par des puits tirant leur eau du Système Aquifère de Grès nubien, lesquels font partie du projet du Grand Fleuve Artificiel



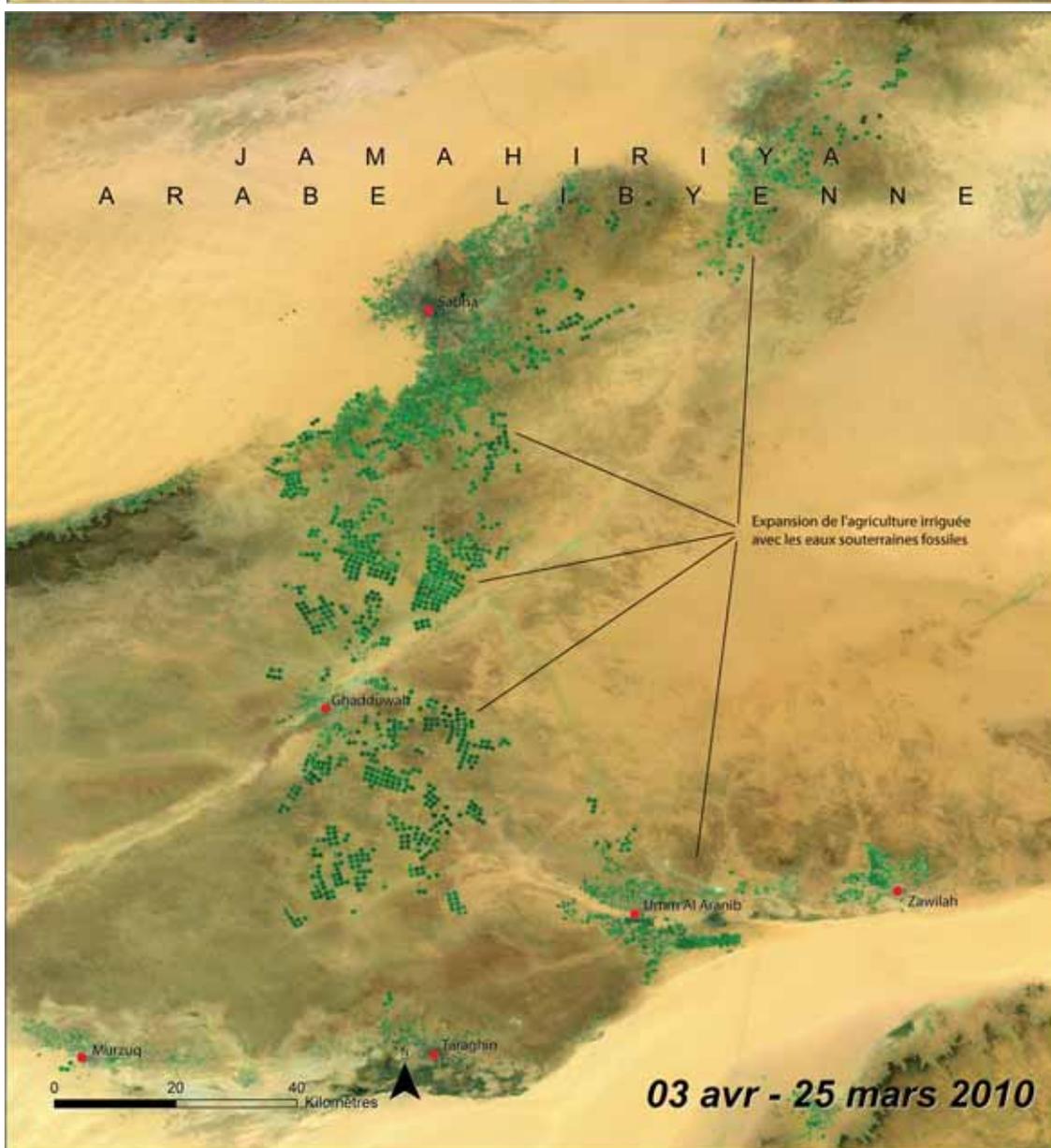
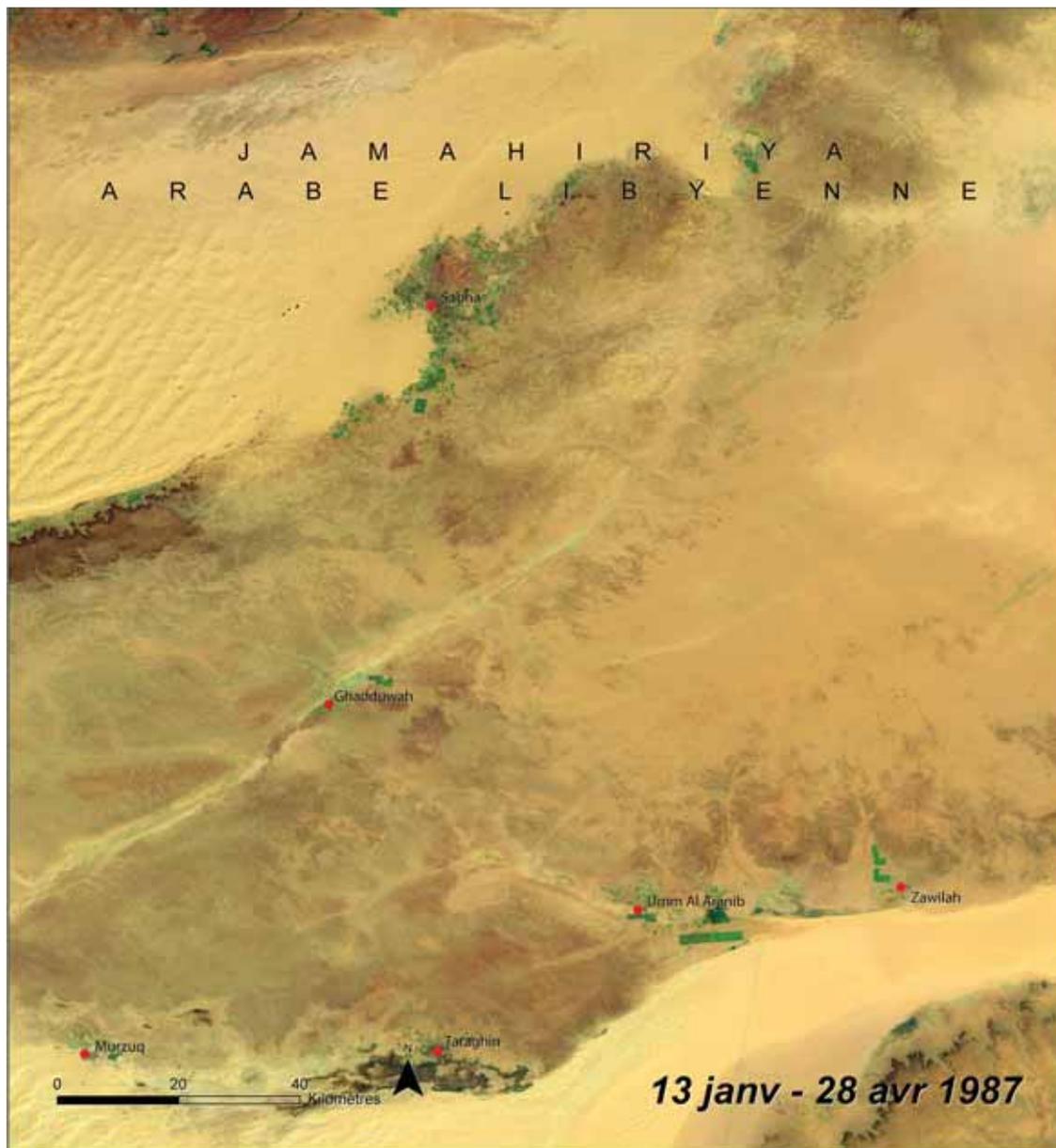


Figure 2.16.9 : Expansion de l'agriculture irriguée dépendante de l'eau souterraine fossile

fermes irriguées qui nourrissent la population croissante de la Jamahiriya arabe libyenne. Le système est l'un des plus grands projets de génie civil au monde.

La majeure partie de l'eau du système vient des deux plus grandes ressources souterraines de la Jamahiriya arabe libyenne : les bassins souterrains de Murzuq et de Kurfa (Alghariani 2007). Situés dans le désert sud de la Jamahiriya arabe libyenne, ils détiennent plus de deux tiers des réserves en eau souterraine du pays (Alghariani 2007). Aucun des deux systèmes aquifères ne bénéficie d'une réalimentation significative. Par conséquent, toute soustraction d'eau réduit les réserves totales. Bien que le volume d'eau total dans les deux aquifères soit énorme, la baisse des niveaux d'eau par utilisation intensive pourrait éventuellement rendre le coût d'extraction d'eau prohibitif (Shaki et Adeloje 2006, Alghariani 2003). L'image de juillet 2010 (Figure 2.16.7, page précédente) montre certains des puits de l'est et les champs de captage du Nord-est de Jabal Hasaouna, lesquels extraient environ deux millions de m³ d'eau quotidiennement de l'Aquifère du bassin de Murzuq (Abdelrhem et al. 2008).

La paire d'images satellites (Figure 2.16.9) montre la forte augmentation de l'irrigation à pivot central à deux endroits ; l'un extraie de l'eau du bassin de Kufra dans les sud-est et l'autre du bassin de Murzuq, dans le sud-ouest. La majeure partie de l'eau souterraine de la Jamahiriya arabe libyenne (80 pour cent) (Alghariani 2003), est utilisée pour l'agriculture, comme pour la culture du blé, de la luzerne, de légumes et de fruits. La population de la Jamahiriya arabe libyenne, avec son est à l'origine de la demande en eau et en agriculture taux de croissance d'un peu plus de deux pour cent en 2008, (par rapport à cinq pour cent au début des années quatre-vingt) (World Bank 2010), est à l'origine de la demande croissante en eau et en produits agricoles. Depuis l'initiation du projet en 1983, le coût des sources alternatives d'eau, surtout par désalinisation, est devenu compétitif, du fait de l'apport en eau par le projet du Grand Fleuve Artificiel (Alghariani 2003) ; ce coût est susceptible de baisser à l'avenir.

Le projet est entrepris en plusieurs phases. La première phase fournit deux millions de mètres cubes d'eau par jour, tirées des puits, situés à Sarir et à Tazerbo, dans les villes de Benghazi et de Sirte au nord. La deuxième phase permet de fournir de l'eau à la Plaine de Jeffare et à Tripoli. La troisième phase du projet débute la construction, bien que certaines composantes de cette phase aient été annulées (WaterTechnologyNet sans date).



Figure 2.17.1 : Système Aquifère du nord-ouest du Sahara

Système Aquifère du Nord-Ouest du Sahara



Le Système Aquifère du nord-ouest du Sahara (SANOS) couvre une superficie totale de plus d'un million de km², dont 700 000 km² en Algérie, 80 000 km² en Tunisie et 250 000 km² en Jamahiriya arabe libyenne (Figure 2.17.1). Il contient des dépôts sédimentaires qui ont deux principaux niveaux d'aquifères : le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT). Les trois pays du SANOS ont adopté une approche de gestion commune. Cette approche est basée sur une connaissance

approfondie de l'aquifère, y compris des projections et des simulations des impacts d'extraction d'eau. Le SANOS est vital au développement de la partie nord-est du désert du Sahara, essentiellement pour assurer la sécurité alimentaire d'une population croissante, à proximité de ses frontières, et même bien au-delà de celles-ci. Il est également vital pour satisfaire la demande agricole, industrielle et en construction.



Bassin d'Eau Souterraine d'Iullemeden-Irhazer



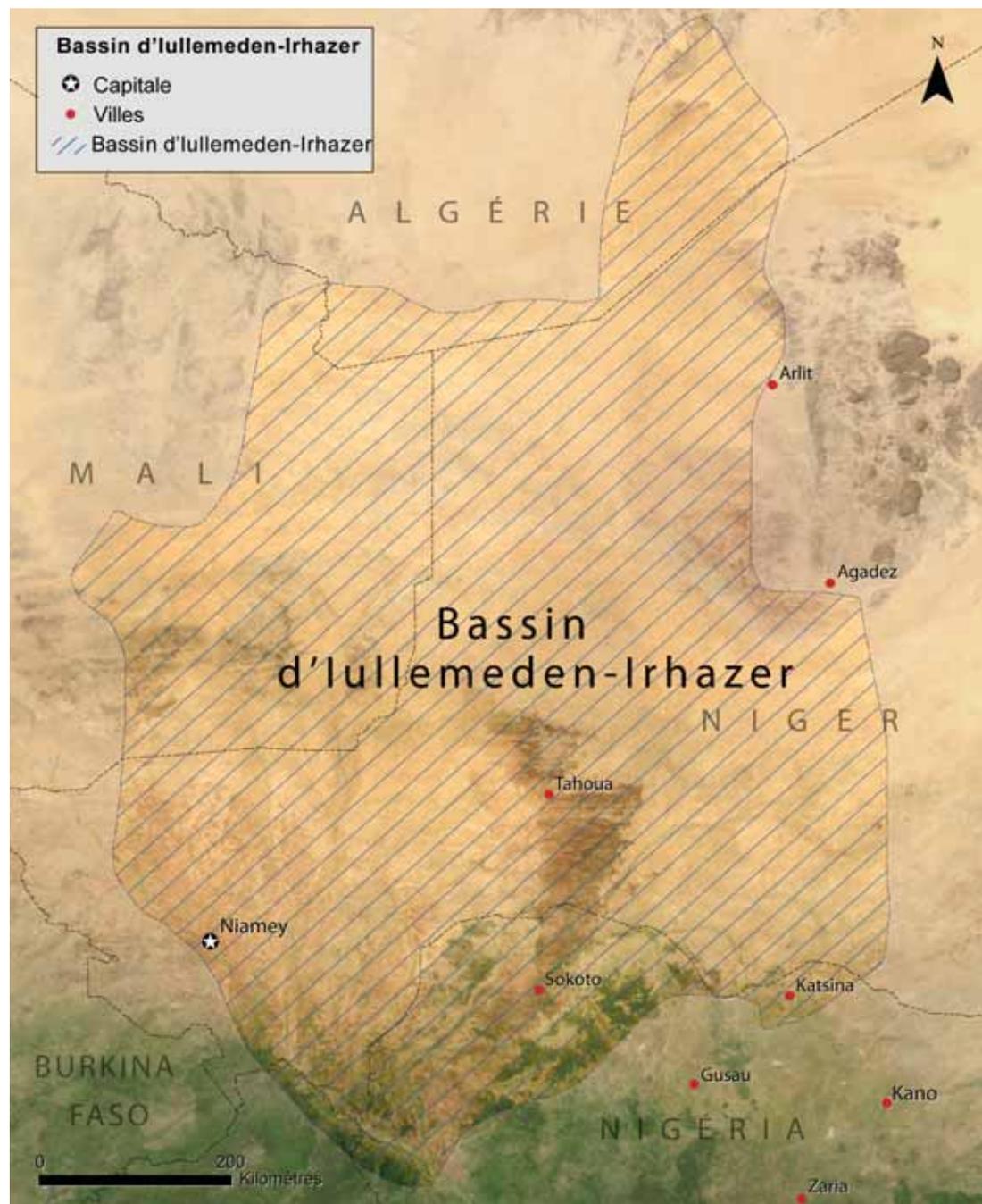
Le bassin sédimentaire d'eau souterraine Iullemeden-Irhazer (SAI) est situé au Mali, au Niger et au Nigéria avec des sections mineures, non-connectées, en Algérie et au Bénin. Le système aquifère qui couvre une superficie de 525 000 km² avec 31 000 km² au Mali, 434 000 km² au Niger et 60 000 km² au Nigéria représente un des principaux réservoirs d'eau douce d'Afrique Occidentale, et être lié à plusieurs zones humides et écosystèmes (Figure 2.18.1).

Avec une forte croissance démographique (de six millions d'habitants en 1970 à environ 15 millions en 2000, et probablement 30 millions à l'horizon 2025), les impacts du changement et de la variabilité climatique (y compris la sécheresse régionale au cours des nombreuses dernières décennies), le système aquifère Iullemeden souffre de plus en plus de stress environnemental. Les extractions annuelles d'eau d'environ 50 millions de m³ en 1970 ont augmenté à environ 170 millions de m³ en 2004. Ainsi, de ressource régionale stratégique, le SAI devient un système de mieux en mieux utilisé. Les extractions totales excèdent maintenant

la réalimentation annuelle de l'aquifère. Il existe des impacts visibles de la décadence des nappes phréatiques, de la perte de pression artésienne et de la pollution de l'aquifère dans les hotspots locaux et les zones frontalières. Le SAI interagit avec le fleuve régional du Niger, grâce aux des infiltrations par l'apport d'eau souterraine préservant les ressources hydriques du fleuve durant les périodes de sécheresse prolongée.

Certaines menaces environnementales sur l'aquifère et les écosystèmes qui y sont liés ont été identifiées, y compris : le changement de l'utilisation des terres dans les zones de réalimentation et les zones humides du SAI, le changement climatique, la sur-extraction, la pollution d'origine humaine et la salinisation des sols. Pour faire face à ces menaces et à ces risques, des mécanismes conjoints et des cadres de coopération ont été établis. L'incertitude scientifique au sujet du système aquifère, et les impacts du changement climatique, limitent cependant le champ de gestion transfrontalière du risque et du conflit dans le SAI.

Figure 2.18.1 : Bassin d'Iullemeden-Irhazer



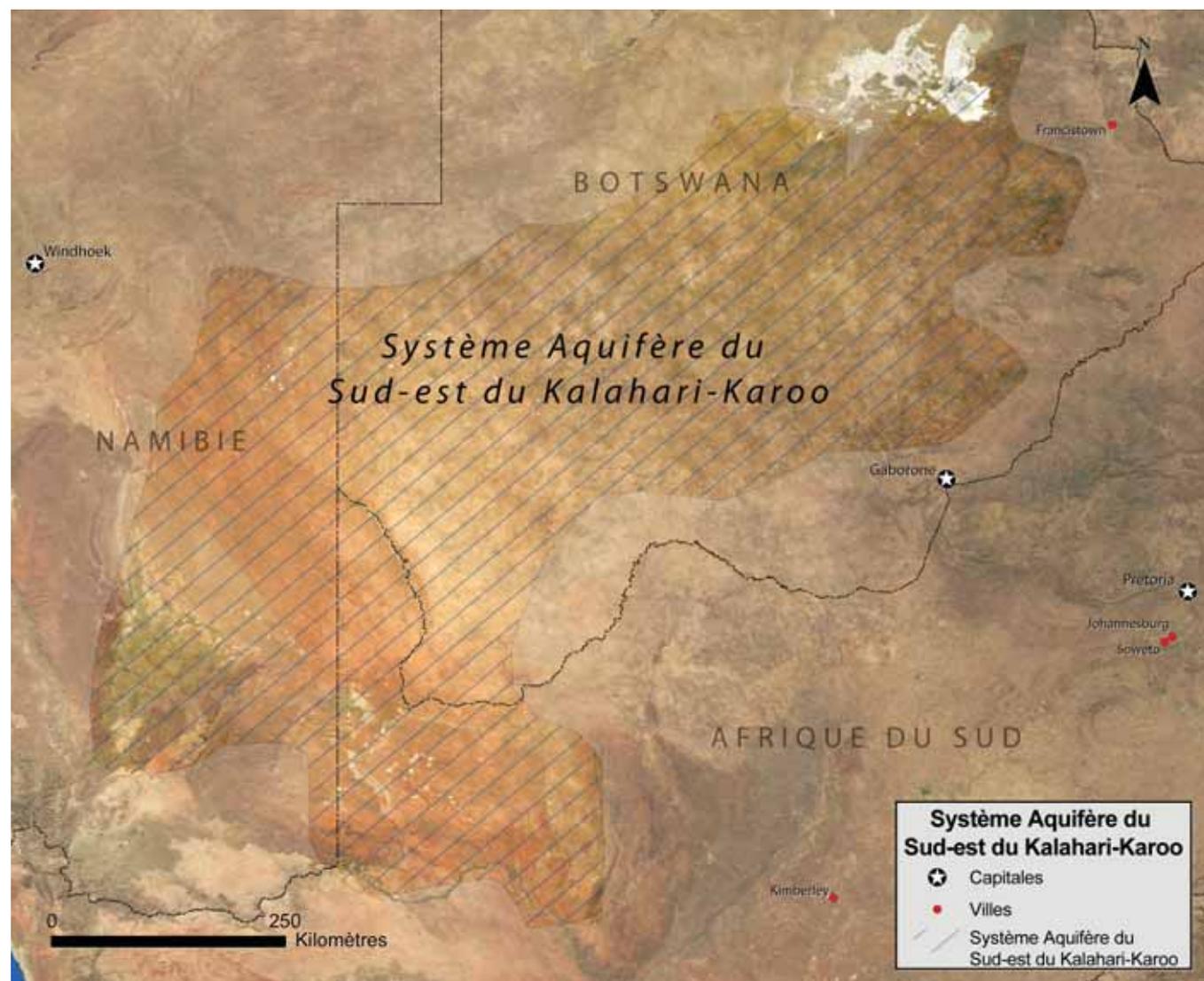


Figure 2.19.1 : Le Système Aquifère du sud-est du Kalahari-Karoo

Système Aquifère du Sud-Est du Kalahari-Karoo



L'aquifère du sud-est du Kalahari-Karoo est partagé par la Namibie, le Botswana et l'Afrique du Sud, bien qu'il soit majoritairement utilisé en Namibie, là où la plupart de la réalimentation se produit (Figure 2.19.1). Il y a comparativement une bonne compréhension de la géologie et de l'hydrologie de l'aquifère en Namibie. L'eau se constitue dans les grès du Groupe Ecca (bas Karoo des Séquences), et dans le Kalahari sous-jacent. Le pendage des formations se situe légèrement vers le sud-est, et de manière générale, la qualité de l'eau se détériore également dans cette direction (d'environ trois degrés).

Le côté namibien de l'aquifère est généralement peu densément peuplé. Ainsi, l'eau est principalement utilisée pour l'irrigation et l'élevage. Bien que le système soit vaste, du fait de l'incertitude actuelle concernant sa réalimentation, il n'est pas possible de savoir s'il peut soutenir de grands projets d'irrigation ; ainsi, l'équilibre adéquat entre l'irrigation et la durabilité n'est actuellement pas établi.

L'Aquifère Artésien du sud-est du Kalahari est bordé par la partie sud-ouest du Botswana, par la

réserve animalière sud-africaine du Kalahari et par du district Gordonia. Dans le Gordonia, la qualité de l'eau des aquifères Karoo semble être de piètre qualité ; il en est de même dans le dit Bloc de Sel dans la partie sud-est du Bassin artésien en Namibie. Actuellement, l'eau est utilisée en Namibie pour l'abreuvement du bétail, et de plus en plus à des fins d'irrigation. Le système fournit également de l'eau à cinq plus petites villes. La plus grande portion de l'aquifère se trouve sans aucun doute en Namibie, laquelle aura probablement la plus forte demande en eau venant du système, et où les besoins augmenteront sûrement à l'avenir.

Questions importantes concernant l'aquifère partagé

La question majeure à ce stade est que les trois pays acquièrent une bonne compréhension de l'aquifère, pour une gestion conjointe de la ressource. Les pays pourront ensuite se pencher sur un cadre légal pour une politique commune d'extraction.

Aquifères Côtiers

Comme avec toute ressource souterraine, le taux d'extraction dans les aquifères côtiers ne peut indéfiniment dépasser le taux de réalimentation sans épuiser l'approvisionnement. Environ 2,7 pour cent de la population africaine vit dans un rayon de 100 km de la côte (UNEP 2008). Bien que ce niveau de concentration soit inférieur à celui des autres continents (Hinrichsen 1995), la population côtière de l'Afrique augmente rapidement (UNEP 2008). Dans plusieurs cas, la pression grandissante sur les ressources souterraines côtières a dépassé les niveaux soutenables (Steyl et al. 2010). De plus, l'extraction excessive des aquifères côtiers peut également conduire à l'intrusion d'eau de mer, à mesure que celle-ci remplace l'eau extraite.

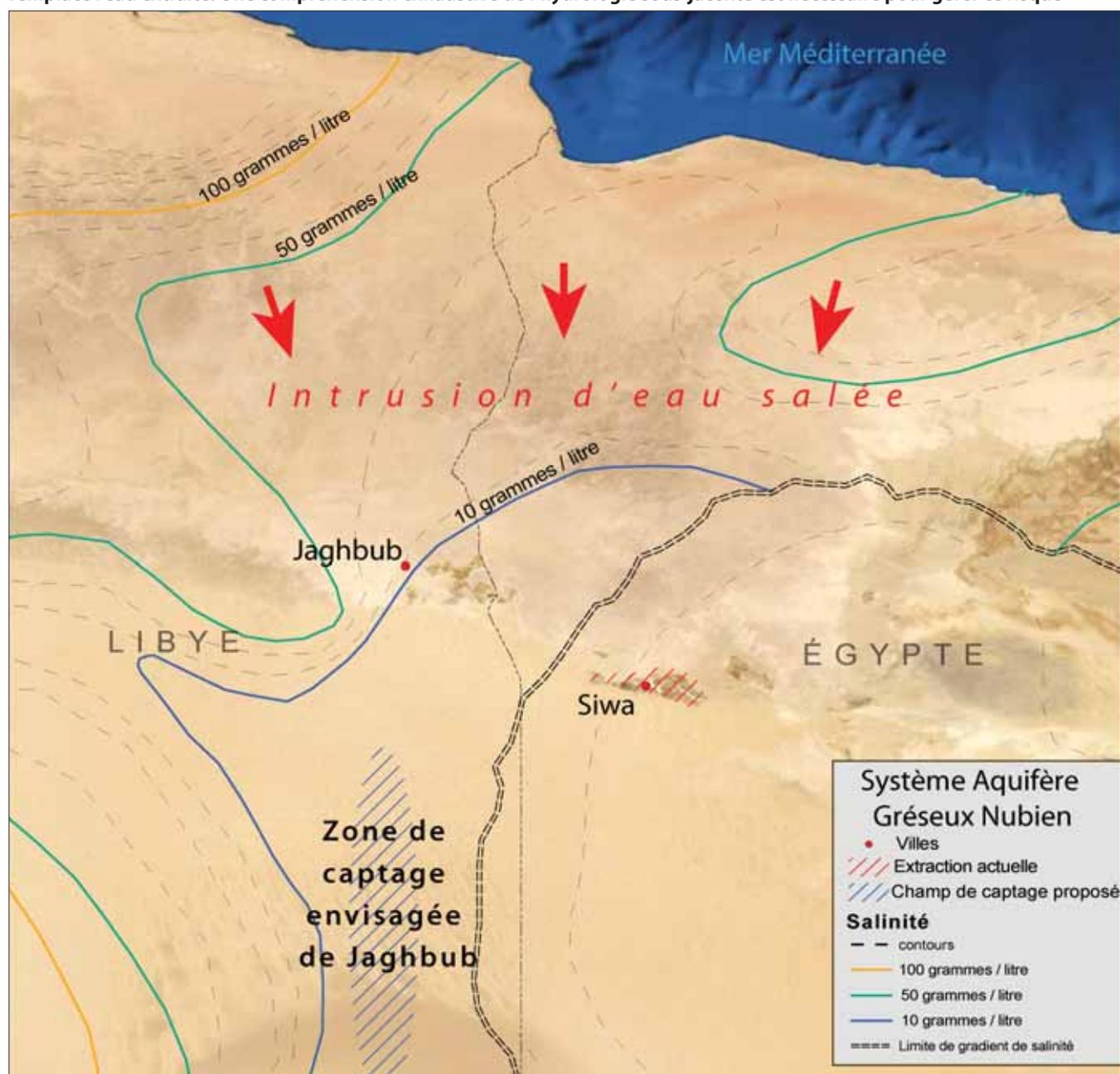
Douze des aquifères souterrains côtiers de l'Afrique sont partagés par deux ou plusieurs des 32 pays côtiers du continent. L'hydrologie partagée dans ces cas fait de la gestion une préoccupation conjointe aux populations et gouvernements des pays concernés.

A travers l'Afrique Septentrionale, la dépendance envers l'eau souterraine est amplifiée par l'environnement aride et le manque de sources alternatives d'eau douce. Presque la moitié de toute l'eau souterraine extraite en Afrique vient des aquifères de cette région. La Tunisie obtient 95

pour cent de son eau douce des eaux souterraines. L'environnement aride implique aussi que la réalimentation soit minimale en dehors de la zone côtière où il pleut, et loin des rivières qui fournissent une réalimentation aux aquifères peu profonds. Par conséquent, plusieurs endroits en Afrique Septentrionale, incluant le Delta du Nil, la Tunisie, la Jamahiriya arabe libyenne, l'Algérie et le Maroc, font l'expérience d'une intrusion saline conséquente. Plusieurs facteurs, tels que la sécheresse, l'urbanisation et l'extraction en faveur de l'agriculture, ont contribué à la réduction alarmante des nappes phréatiques dans le Maghreb (Steyl et al. 2010).

L'oasis de Siwa en Égypte et l'oasis de Jaghbub en Jamahiriya arabe libyenne sont situés en marge de l'interface eau salée-eau douce dans le Système Aquifère de Grès nubien (Figure 2.20.1). Une modélisation de la réponse de l'aquifère à l'extraction actuelle à Siwa montre un léger cône de dépression dans la surface de la nappe phréatique environnante (Elbadawy 2007). Les plans originaux du projet du Grand Fleuve Artificiel en Jamahiriya arabe libyenne comprenait un champ de captage au sud de Jaghbub et au sud de l'interface eau douce-eau salée. La recherche qui a modélisé l'impact que ceci aurait sur l'intrusion d'eau de mer dans la zone a suscité des préoccupations, et une recherche plus poussée a été recommandée avant de débiter cette partie du projet (Schlumberger Water Services 2007).

Figure 2.20.1 : L'extraction d'eau douce des aquifères côtiers peut mener à l'intrusion d'eau salée lorsque l'eau de mer remplace l'eau extraite. Une compréhension exhaustive de l'hydrologie sous-jacente est nécessaire pour gérer ce risque



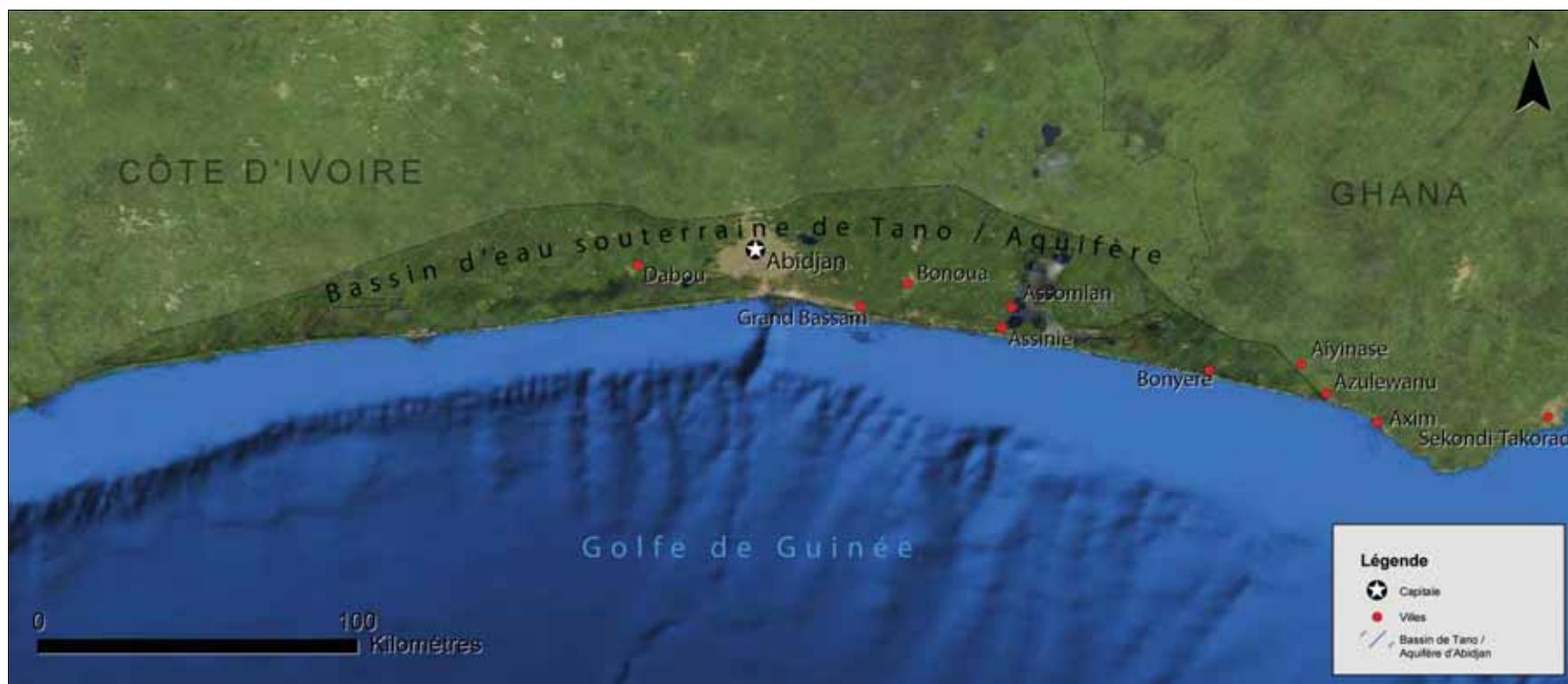


Figure 2.21.1 : Carte du bassin d'eau souterraine de Tano/ Aquifère d'Abidjan

Aquifère de Bassin de Tano-Abidjan



Les systèmes aquifères de l'Afrique Occidentale sont généralement complexes et se situent dans des contextes hydrologiques et d'utilisation variés. A plusieurs endroits en Afrique Occidentale, les aquifères côtiers se détériorent du fait de leur surexploitation, et dans certains cas, à cause de l'infiltration de polluants ménagers, agricoles et industriels.

Les aquifères sédimentaires chevauchant la frontière entre la Côte d'Ivoire et le Ghana sont la principale source d'eau pour plusieurs zones urbaines situées le long du Golfe de la Guinée, y compris Abidjan (Côte d'Ivoire), une ville d'environ quatre millions d'habitants (Oga et al. 2008). Il existe deux aquifères dans un système régional sans confinement : l'Aquifère Quaternaire, le long de la côte et l'Aquifère Continental Terminal, plus imposant,

situé un peu plus vers l'intérieur des terres par rapport au Quaternaire (Oga et al. 2008).

Les aquifères sont soumis à de fortes pressions d'utilisation domestique, industrielle et agricole dans cette région où la croissance démographique est d'environ deux pour cent par an. A certains endroits, la qualité de l'eau s'est détériorée, la surextraction ayant mené à l'intrusion par les eaux salées, même si la salinité dans les aquifères demeure relativement faible (Oga et al. 2008). Il existe également des zones où les déchets domestiques et la pollution agricole ont dégradé la qualité de l'eau, créant de fortes concentrations de nitrates (Oga et al. 2008). Il n'existe actuellement aucune gestion transfrontalière de cette importante ressource souterraine.



Références

Bassins Hydriques d’Eau de Surface

SEDAC. (2010). Gridded Population of the World: Future Estimates. Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC); collaboration with CIESIN, UN-FAO, CIAT. http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw (Last accessed on August 10, 2010).

UNU. (2006). International Rivers and Lake Basin Management, United Nations University. http://www.unu.edu/env/water/transboundary-water.html (Last accessed on September 10, 2010).

UNEP. (2006a). Global Deserts Outlook. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.

UNEP. (2006b). Africa’s Lakes: Atlas of Our Changing Environment. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.

Bassin Fluvial du Congo

Béné, C., Steel, E., Luadia, B., Gordon, A. (2009). Fish as the “bank in the water” –Evidence from chronic-poor communities in Congo. Food Policy. 34:108-118.

Counter Balance. (2009). Conrad’s Nightmare, The World’s Biggest Dam and Development’s Heart of Darkness. http://www.counterbalance-eib.org/component/option,com_datsoagallery/Itemid,98/func,detail/id,128/ (Last Accessed on February 25, 2010).

Dai, A. and Trenberth. (2002). Estimates of Freshwater Discharge from Continents: Latitudinal and Seasonal Variations. Journal of Hydrometeorology. 3:660-687.

Davies, B., Beilfuss, R., Thoms, M. (2000). Cahora Bassa restrospective, 1974-1997: effects of flow regulation on the Lower Zambezi River. Verh. Internat. Verein. Limnol. 27:1- 9.

DeGeorges, A. and Reilly, B. (2006). Dams and Large Scale Irrigation on the Senegal River. Impacts on Man and the Environment. Case Study for 2006 Human Development Report. UNDP.

EIA. (2002). Inga Hydroelectric Facility. Energy Information Administration. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/inga.html (Last Accessed on February 26, 2010).

FAO. (1997). Irrigation potential in Africa: A basin approach – FAO Land and Water Bulletin – 4. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/docrep/w4347e/w4347e00.htm (Last Accessed on February 25, 2010).

FAO. (2001). Information on fisheries management in the Democratic Republic of the Congo. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/fi/oldsite/FCP/en/COD/BODY.HTM (Last Accessed on February 25, 2010).

FAO. (2002). FAO Rice Information. Democratic Republic of the Congo. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/DOCREP/005/Y4347E/Y4347E00.HTM (Last Accessed on February 26, 2010).

FAO. (n.d.). Aquastat Country Profile - République démocratique du Congo. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries/congo_dem_r/indexfra.stm (Last Accessed on February 26, 2010).

IR. (n.d.a.). “Inga 1 and Inga 2 dams”. International Rivers. http://www.internationalrivers.org/en/node/2877 (Last Accessed on February 26, 2010).

IR. (n.d.a.). “Inga 3”. International Rivers. http://www.internationalrivers.org/en/africa/grand-inga-dam-dr-congo/inga-3 (Last Accessed on February 26, 2010).

IR (n.d.c). Grand Inga, Grand Illusions. World Rivers Review. 20(2):6-7. http://www.internationalrivers.org/files/WRR.V20.N2.pdf (Last Accessed on September 10, 2010).

IR. (2008). “Pimping Inga”. International Rivers. http://www.internationalrivers.org/blog/terri-hathaway/pimping-inga-0 (Last Accessed on August 10, 2010).

Kirongozi, H. (2008). Sustaining Congo River and its Communities: Congolese Mining Industry to Grow Green. International River Symposium 2008 paper presentation. http://www.riversymposium.com/index.php?page=2008 (Last Accessed on February 26, 2010).

Kashema, J. (2008). How the DRC could become self-sufficient in fish production. Agricultural International Magazine /KUL-Belgium pp.1-45.

Laraque, A., Mahe, G., Orange, D. and Marieu, B. (2001). Spatiotemporal variations in hydrological regimes within Central Africa during the XXth Century. Journal of Hydrology 245:104-117.

Musa, I. (2008). Saving Lake Chad – Based on Proceedings of Sirte Roundtable, Libya, 17 Dec. 2008. Lake Chad Basin Commission and International Commission of Irrigation and Drainage. http://www.afrwg.icidonline.org/save_lakechad.pdf (Last Accessed on August 10, 2010).

NASA. (2010). GISS Precipitation Data. National Aeronautics and Space Administration. http://data.giss.nasa.gov/precip_cru/maps.html (Last Accessed on February 25, 2010).

National Geographic. (2010). Fish of the Congo River, National Geographic Website.http://channel.nationalgeographic.com/series/explorer/3826/Overview (Last Accessed on February 25, 2010).

Ndala, B. (2009). Congo River Basin: challenges and current initiatives. Presented at the 5th World Water Forum, 2009. http://www.riob.org/IMG/pdf/03_CICOS-PO.pdf (Last Accessed on February 25, 2010).

SADC. (2007). Handbook on Environmental Assessment Legislation in the SADC Region. Development Bank of Southern Africa & SAIEA, Midrand. Southern African Development Community. http://www.saiea.com/dbsa_book/index.htm (Last Accessed on February 26, 2010).

Showers, K. (2009). Gongo River’s Grand Inga hydroelectricity scheme: linking environmental history, policy and impact. Water History 1:31-58.

UNEP. (2008). Freshwater Under Threat, Africa. United Nations Environment Programme. Upper Congo Fishes Project. (n.d.). Discovering the Fishes of a Great River. http://www.congofishes.net/Site/Welcome.html (Last Accessed on February 25, 2010).

USGS. (2009). A Field Trip to the Congo, Hydroacoustic measurements in “the river that swallows all rivers”: Online lecture by John Shelton, Associate Director, Hydrologic Data South Carolina Water Science Center. United States Geological Survey. http://www.usgs.gov/public_lecture_series/archive_lectures.asp (Last Accessed on February 25, 2010).

World Bank. (2008). Democratic Republic of Congo Growth with Governance In the Mining Sector. Report No. 43402. http://siteresources.worldbank.org/INTOGMC/Resources/336099-1156955107170/drcgrowthgovernanceenglish.pdf (Last Accessed on February 25, 2010).

Bassin Juba-Shabelle

Thiemig, V. (2009). Early Flood Warning in Africa: Are the Methodologies of the European flood Alert System (EFAS) Transferable to African Basins? – A Feasibility Study in the Juba-Shabelle River Basin. Masters Thesis, Radboud University Nijmegen, Nijmegen, The Netherlands. http://floods.jrc.ec.europa.eu/flood-research-at-jrc/flood-forecasting-in-africa (Last Accessed on May 21, 2010).

FAO. (2005). FAO Aquastat Country Profile, Somalia. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries/somalia/index.stm (Last Accessed on May 21, 2010).

Artan, G., Gadain, H., Muthusi, F., Muchiri, P. (2007). Improvingflood forecasting and early warning in Somalia – a feasibility study. FAO-SWALIM Project publicationi No W-10. http://www.faoswalim.org/subsites/frfmis/downloads/W-10%20Improving%20Flood%20Forecasting%20and%20Early%20Warning%20in%20Somalia.pdf (Last Accessed on May 21, 2010).

Bassin du Lac Tchad

Boronina, A. and Ramillien, G. (2008). Application of AVHRR imagery and GRACE measurements for calculation of actual evapotranspiration over the Quaternary aquifer (Lake Chad basin) and validation of groundwater models. Journal of hydrology 348:98-109.

CIMA Webpage. (n.d.). “CIMA International in Lake Chad”. http://www.international.cima.ca/cgics/cs.waframe.content?click=105396&lang=2 (Last accessed on February 9, 2010).

Coe, T. and Foley, A. (2001). Human and natural impacts on the water resources of the Lake Chad basin. Journal of Geophysical Research 106(4):3349–3356.

FAO. (2009). Adaptive Water Management in the Lake Chad Basin, Addressing current challenges and adapting to future needs, World Water Week, Stockholm, August 16-22, 2009. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Giannini, A., Saravanan, R. and Chang, P. (2003). Ocean Forcing of Sahel Rainfall on Interannual to Interdecadal Time Scales. Science 302:1027-1030.

GIWA. (2004). Lake Chad Basin, GIWA Regional assessment 43 GIWA Regional assessment reports (GIWA Reg. Assess. Rep.) Global International Waters Assessment. http://www.unep.org/dewa/giwa/publications/r43.asp (Last Accessed on August 10, 2010).

Ishorho, S., Matisoff, G., Wehn, K. (1996). Seepage Relationships Between Lake Chad and the Chad Aquifers. Groundwater 34(5):819-826.

IUCN. (2003). Waza Logone Floodplain, Cameroon: Economic benefits of wetland restoration. Integrating Wetland Economic Values into River Basin Management. International Union for Conservation of Nature. http://www.iwlearn.net/abt_iwlearn/events/ouagadougou/readingfiles/iucn-restoration-benefits-waza-cameroon.pdf (Last accessed on February 9, 2010).

IUCN. (2004). Case Studies in Wetland Valuation #4, Waza Logone Floodplain Cameroon: economic benefits of wetland restoration. International Union for Conservation of Nature. http://cmsdata.iucn.org/downloads/casestudy04waza.pdf (Last accessed on March 29, 2010).

Lemoalle, J., Bader, J., and Leblanc, M. (2008). The variability of Lake Chad: hydrological modelling and ecosystem services. In: 13th IWRA World Water Congress 2008, 01-04 September 2008, Montpellier, France. http://eprints.jcu.edu.au/4918/ (Last accessed on February 8, 2010).

Loth, P. (Ed.).(2004). The Return of the Water: Restoring the Waza Logone Floodplain in Cameroon. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. http://www.wou.edu/~moritzm/return_water.pdf (Last accessed on March 29, 2010).

Musa, I. (2008). Saving Lake Chad – Based on Proceedings of Sirte Roundtable, Libya, 17 Dec. 2008. Lake Chad Basin Commission and International Commission of Irrigation and Drainage. http://www.afrwg.icidonline.org/save_lakechad.pdf (Last Accessed on August 10, 2010).

Ngatcha, B., Budry, J., Leduc, C. (2008). Water resources management in the Lake Chad basin: Diagnosis and action plan. In Applied Groundwater Studies in Africa: IAH Selected Papers on Hydrogeology, volume 13 Editor(s): Segun Adelana, University of Ilorin, Nigeria; Alan MacDonald, British Geological Survey, Edinburgh, Scotland.

Nihoul, C., Zavalov, P., Micklin, P. (2003). Dying and Dead Seas: Climatic versus anthropic causes. North Atlantic Treaty Organization Scientif Affairs Division, NATO Science Series IV, Earth and Environmental Sciences – Vol. 36. 2003. Kluwer Academic Publishers.

Roche, M. (1977). Lake Chad: A subdesertic terminal basin with freshwaters. ORSTOM. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/b_fdi_35-36/41578.pdf (Last accessed on September 10, 2010).

Scholte, P. (2005). Floodplain rehabilitation and the future of conservation & development: Adaptive management of succes in Waza-Logone, Cameroon, PhD. Thesis, Leiden University, The Netherlands. https://www.openaccess.leidenuniv.nl/handle/1887/4290 (Last accessed on March 29, 2010).

SEDAC. (2010). Gridded Population of the World: Future Estimates. Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC); collaboration with CIESIN, UN-FAO, CIAT http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw (Last Accessed on August 10, 2010).

Senay, G., Pengra, B., Bohms, S., Singh, A., Verdin, J. (2010). Africa-wide water balance estimation using remote sensing and global weather datasets. American Geophysical Conference Fall Meeting, Submitted.

Shanahan, T., Overpeck, J., Anchukaitis, K., Beck, J., Cole, J., Dettman, D., Peck, J., Scholz, C., King, J. (2009). Atlantic Forcing of Persistent Drought in West Africa. Science 324:377-380.

UN-WPP (2008) World Population Prospects: The 2008 Revision, United Nations Population Division. http://esa.un.org/UNPP/ (Last accessed on July 20, 2010).

University of Washington. (2009). Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (2009) Sahel rainfall index (20-10N, 20W-10E), 1900 - August 2009. Available online at: http://jisao.washington.edu/data/sahel/ (Last Accessed on February 9, 2010)

Zhang, R. and Delworth, T. (2006). Impact of Atlantic multidecadal oscillations on India/ Sahel rainfall and Atlantic hurricanes. Geophysical Research Letters 33:L17112

Bassin du Lac Turkana

Angelei, I. (2009) Another African Lake on the Endangered List, Ethiopian Dam Endangers Kenya’s Lake Turkana. World Rivers Review 24(1):6-7

ARWG. (2009 A) Commentary on the Environmental, Socioeconomic and Human rights Impacts of the Proposed Gibe III Dam in the Lower Omo river Basin of Ethiopia by African Resources Working Group. http://www.arwg-gibe.org/ (Last accessed on April 6, 2009).

EEEPCo. (2009). GIBE III Hydroelectric Project, Environmental and Social Impact Assessment. Ethiopian Electric Power Corporation, 2009.

Haack, B. (1996). Environmental Auditing, Monitoring Wetland Changes with Remote Sensing: An East African Example. Environmental Management 20(3):411-419.

ILEC. (n.d.). World Lakes Database. International Lake Environment Committee. http://www.ilec.or.jp/database/afr/afr-20.html (Last accessed on April 6, 2009).

Legos. (2005). Fleuves et Lacs du Monde – Veille hydrologique par satellite. http://www.legos.obs-mip.fr/soa/hydrologie/hydroweb/StationsVirtuelles/Turkana.html (Last accessed on April 6, 2009).

Nicholson, S. (2001). Climatic and environmental change in Africa during the last two centuries. Climate Research 17:123-144.

Nyamweru, C. (1989). New evidence for the former extent of the Nile drainage system. The Geographical Journal 155:179-188.

ORNL. (2008). LandScan dataset 2008, Oak Ridge National Laboratory. http://www.ornl.gov/sci/landscan/index.shtml (Last Accessed on August 10, 2010).

SEDAC. (2010). Gridded Population of the World: Future Estimates. Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC); collaboration with CIESIN, UN-FAO, CIAT. Accessed http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw (Last Accessed on August 10, 2010).

Bassi du Fleuve Limpopo

CGIAR. (2003). Limpoppo Basin Profile – ARC-Institute for Soil Climate and Water/ARC-Institute for Agricultural Engineering/IWMI. Consultative Group on International Agricultural Research. http://www.arc.agric.za/limpopo/pdf/basin_profile_intro.pdf (Last accessed on May 21, 2010).

Reason, C., Hachigonta, S., Phaladi, R. (2005). Interannual variability in rainy season characteristics over the Limpopo region of southern Africa. International Journal of Climatology 25:1835-1853.

World Bank (2010). World Bank Development Indicators. http://www.google.com/publicdata?ds=wb-wdi&met=sp_pop_grow&idim=country:AGO&dl=en&hl=en&q=An+gola+population+growth+rate&met=sp_pop_grow&idim=country:MOZ:BWA:ZAF (Last accessed on May 21, 2010).

Bassin du Fleuve Niger

Adedeji A. and Ako, R.(2009). Towards achieving the United Nations’ Millennium Development Goals: The imperative of reforming water pollution control and waste management laws in Nigéria. Desalination 248:642-649.

AFDB. (2008). “Kandadjji” Ecosystems Regeneration and Niger Valley Development Programme, Detailed Environmental and Social Impact Assessment – Executive Summary. African Development Bank. http://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Environmental-and-Social-Assessments/ADF-BD-IF-2008-51-EN-NIGER-KANDADJI-ECOSYSTEMS-REGENERATION-DETAILED-POPULATION-RESETTLEMENT-PLAN.PDF (Last accessed on July 20, 2010).

AFD. (n.d.). Africapolis: Urbanization study in West Africa (1950-2020) Report from Agence Française de Développement. http://www.afd.fr/jahia/Jahia/lang/en/home/publications/NotesetEtudes/Africapolis# (Last accessed on February 24, 2010).

Ajao, E. and Anurigwo, S. (2002). Land-based Sources of Pollution in the Niger Delta, Nigéria. Ambio 31(5):442-445.

Amnesty International. (2009). Petroleum, Pollution and Poverty in the Niger Delta. http://www.amnesty.org/library/asset/AFR44/017/2009/en/e2415061-da5c-44f8-a73c-a7a4766ee21d/afr440172009en.pdf (Last accessed on February 24, 2010).

Anderson, I., Dione, O., Jarosewich-Holder, M., Olivry, J. (2005). The Niger River Basin, A Vision for Sustainable Management. Edited by K.G. Goltizen. Washington D.C.; The World Bank.

BBC. (2009). “Mali villagers fight back against Sahara”. http://news.bbc.co.uk/2/hi/8408568.stm (Last accessed on September 20, 2010)

BGR. (n.d.). Capacity Building for Groundwater Management in West and Southern Africa. W/Downloads/pbgw___executivesummary.templateId=raw,property=publicationFile.pdf/pbgw_executivesummary.pdf (Last accessed on February 24, 2010).

CNEARC. (2004). Le lac Faguibine, un espace agropastoral au Nord Mali : Centre National d’Etudes Agronomiques des Régions Chaudes, 1101, avenue Agropolis – BP 5098 - 34033 Montpellier Cedex 01. http://www.cariassociation.org/gtd/?section=documentation&subsection=gtd (Accessed on December 15, 2006).

Descroix,L., MahéB,G., Lebel,T., Favreau,G., Galle, S., Gautier,E., Olivry J-C., Albergel, J., Amogu, O., Cappelaeere, B., Dessouassi, Diedhiou, R, Le Breton, E., Mamadou, I, and Sighomnou, D. (2009). Spatio-temporal variability of hydrological regimes around the boundaries between Sahelian and Sudanian areas of West Africa: A synthesis. Journal of Hydrology 375(1-2): 90-102.

Giannini, A., Saravanan, R. and Chang, P. (2003). Ocean Forcing of Sahel Rainfall on Interannual to Interdecadal Time Scales. Science 302:1027-1030.

Hamerlynck, O., Chiramba, T., Pardo, M. (2009). Gestion des écosystèmes du Faguibine (Mali) pour le bien-être humain : adaptation aux changements climatiques et apaisement des conflits. http://www.dialoguebarrages.org/dialoguebarrages/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=25&Itemid=39 (Last accessed on March 30, 2010).

L’Hôte, Y., Mahé, G., Somé, B., Triboulet, J. (2002). Analysis of a Sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000; the drought continues. Hydrological Sciences 47(4):563-572.

Ludec, C., Favreau, G., Schroeter, P. (2001). Long-term rise in a Sahelian water-table: the Continental Terminal in South-West Niger. Journal of Hydrology 243:43-54.

Lutz, A., Thomas, J., Pohl, G., Keita, M., McKay W. (2009). Sustainability of groundwater in Mali, West Africa. Environmental Geology 58:1441-1450

Mahé, G., Bamba, F., Soumaguel, A., Orange, D., and Olivry, J. (2009). Water losses in the inner delta of the River Niger: water balance and flooded area. Hydrological Processes 23:3157-3160.

Nicholson, S. (1983). Sub-Saharan Rainfall in the Années 1976-80: Evidence of Continued Drought. Monthly Weather Review. 111:1646-1654

NNPC (2009) 2009 Third Quarter Petroleum Information – Nigérián National Petroleum Corporation. http://www.nnpcgroup.com/ (Last accessed on February 24, 2010).

OSS. (2008). Iullemeden Aquifer System (Mali, Niger, Nigéria): concerted management of shared water resources of a sahelian transboundary aquifer. Tunis, Tunisia; Sahara and Sahel Observatory (OSS).

Ramsar. (2004). Mali designates Inner Niger Delta for the Ramsar List. http://www.ramsar.org/cda/ramsar/display/main/main.jsp?zn=ramsar&cp=1-63-78%5E18383_4000_0___ (Last accessed on February 24, 2010).

Ramsar. (2010). The List of Wetlands of International Importance – 28 January 2010. http://www.ramsar.org/pdf/sitelist.pdf (Last accessed on February 23, 2010).

Shanahan, T., Overpeck, J., Anchukaitis, K., Beck, J., Cole, J., Dettman, D., Peck, J., Scholz, C., King, J. (2009). Atlantic Forcing of Persistent Drought in West Africa. Science 324:377-380.

UNEP. (n.d.). Rehabilitating Lake Faguibine Ecosystem – Project Fact Sheet. United Nations Environment Programme. http://www.unep.org/Themes/freshwater/PDF/Factsheet_LakeFaguibine.pdf (Last accessed on March 30, 2010).

UNEP. (2007). Dams and Development Project Compendium on Relevant Practices, Social Impact Assessment of Affected People. http://www.unep.org/DAMS/includes/compendium.asp United Nations Environment Programme. (Last accessed on February 23, 2010).

Vandersypen, K., Verbist, B., Keita, A., Raes, D.,Jamin, J. (2009). Linking Performance and Collective Action-the Case of the Office du Niger Irrigation Scheme in Mali. Water Resource Management 23:153-168.

Yo-Essien, L. (2008). Oil Spill Management in Nigéria: Challenges of Pipeline Vandalism in the Niger Delta Region of Nigéria. Presented at 15th Annual International Petroleum & Biofuels Environmental Conference, Nov. 10-13 2008, Albuquerque, NM. http://ipec.utulsa.edu/Conf2008/Manuscripts%20&%20presentations%20received/Eyo_Essien_2.pdf (Last accessed on February 23, 2010).

Zhang, R. and Delworth, T. (2006). Impact of Atlantic multidecadal oscillations on India/ Sahel rainfall and Atlantic hurricanes. Geophysical Research Letters 33:L17712.

Zwarts, L., Van Beukering, P., Kone, B. & Wymenga, E. (2005). The Niger, a Lifeline: Effective Water Management in the Upper Niger Basin. Lelystad, Sévaré, Amsterdam, Veenwouden: RIZA, Wetlands International, Institute for Environmental Studies (IVM), Altenburg & Wymenga Ecological Research.

Zwart, S. and Leclert, L. (2009). A remote sensing based irrigation performance assessment: a case study of the Office du Niger in Mali. Irrigation Science (in press)

Bassin Fluvial du Nil

Ahmad, A. (2008). Post-Jonglei planning in southern Sudan: combining environment with development. Environment and Urbanization 20:575-586.

Albright, T.P., Moorhouse, T.G. and McNabb, T.J. (2004). The Rise and Fall of Water Hyacinth in Lake Victoria and the Kagera River Basin, 1989-2001. Journal of Aquatic Plant Management 42:73-84.

Barnaby, W. (2009). Do nations go to war over water? Nature 458:282-283.

Baskin, Y. (1992). Africa’s troubled waters. BioScience 42(7):476-481.

Bohonann, J. (2010). The Nile Delta’s Sinking Future, Climate change and damming the Nile threaten Egypt’s agricultural oasis. Science 327:1444-1447.

Cascão, A. (2009). Changing Power Relations in the Nile River Basin: Unilateralism vs. Cooperation? Water Alternatives 2(2):245-268.

Cavalli, R.M., Laneve, G., Fusilli, L., Pignatti, P., Santini, F. (2009). Remote sensing water observation for supporting Lake Victoria weed management. Journal of Environmental Management 90:2199-2211.

EAWAG. (2006). Teodoru, C., Wuest, A., Wehrli, B., Independent review of the environmental impact assessment for the Merowe Dam project (Nile River, Sudan). EAWAG: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. http://www.wrq.eawag.ch/media/2006/20060323/Independent-Review-20060323.pdf (Last accessed on August 10, 2010).

El Din, S. (1977). Effect of the Aswan High Dam on the Nile flood and on the estuarine and coastal circulation pattern along the Mediterranean Egyptian coast. Limnology and Oceanography, 22(2):194-207.

FAO. (2008). Fishery Country Profile – February 2008. Food and Agriculture Organization of the United Nations. ftp://ftp.fao.org/FI/DOCUMENT/fcp/en/FL_CP_SD.pdf (Last accessed on September 20, 2010).

Frihy, O. and Lawrence, D. (2004). Evolution of the modern Nile delta promontories: development of accretional features during shoreline retreat. Environmental Geology 46:914-931.

GRLM. (2010). Global Reservoir and Lake Monitor -United States Department of Agriculture. http://www.pecad.fas.usda.gov/cropeexplorer/global_reservoir/index.cfm (Last accessed on September 30, 2010).

Goudswaard, K., Witte, F., Katunzi, E. (2008). The invasion of an introduced predator, Nile perch (Lates niloticus, L.) in Lake Victoria (East Africa): chronology and causes. Environmental Biology of Fishes 81:127–139.

ILEC. (n.d.). “Lake Kyoga”International Lake Environment Committee. http://www.ilec.or.jp/database/afr/afr-15.html (Last accessed on September 27, 2010).

Independent. (2008). Death on the Nile: new dams set to wipe out centuries of history by Boulding, C. http://www.independent.co.uk/news/world/africa/death-on-the-nile-new-dams-set-to-wipe-out-centuries-of-history-817236.html (Last accessed on September 27, 2010).

IR. (n.d.). “Merowe Dam, Sudan”. International Rivers Website. http://www.internationalrivers.org/en/africa/merowe-dam-sudan (Last accessed on September 20, 2010).

IR. (2006). “Ethiopia’s Water Dilemma”. International Rivers Website. http://www.internationalrivers.org/node/2492 (Last accessed on September 20, 2010).

IR. (2006b). “Hundreds Forced to Flee Homes as Merowe Dam Reservoir Waters Rise Without Warning”. International Rivers Website. http://www.internationalrivers.org/en/africa/hundreds-forced-flee-homes-merowe-dam-reservoir-waters-rise-without-warning (Last accessed on September 20, 2010).

Hildyard, N. (2008). Bystanders and Human Rights Abuses: The case of Merowe Dam. Sudan Studies 37, April 2008, published by the Sudan Studies Society of the United Kingdom.

Howell, P., Lock, M., Cobb, S. (1988). Jonglei Canal: Impact and Opportunity (Cambridge: Cambridge University Press).

- Kiwango, Y. and Wolanski, E. (2008). Papyrus wetlands, nutrients balance, fisheries collapse, food security, and Lake Victoria level decline in 2000-2006. *Wetlands Ecology Management* 16:89-96.
- Krishnamurthy, V. (1980). The Impact Forseen of the Jonglei Canal Scheme on The Fisheries on the Sudd Region: The Problems and Solutions. In CIFA Technical Paper No. 8: Seminar on River Basin Management and Development, Blantyre, Malawi, 8-10 December.
- Kull, D. (2006). Connections Between Recent Water Level Drops in Lake Victoria, Dam Operations and Drought. Hydrologic Engineer, Nairobi, Kenya.
- Laki, S. (1994). The impact of the Jonglei Canal on the economy of the local people. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 1:89-96
- Lahmeyer Int. (n.d). Merowe Dam and Hydropower Plant - Lahmeyer International Engineering and Consulting Services Website. <http://www.lahmeyer.de/en/projects/details/browse/0/project/298/mode/1/show/showAll/> (Last accessed on September 20, 2010).
- Lehman, J. (2009). Lake Victoria. In: Dumont, H.J. (ed) The Nile: Origin, Environments, Limnology and Human Use, Springer Science, 2009.
- Machiwa, P. (2003). Water quality management and sustainability: the experience of Lake Victoria Environmental Management Project (LVEMP)—Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth* 28:1111-1115.
- Minakawa, N., Sonye, G. Dida, G.O., Futami, K., Kaneko S. (2008). Recent reduction in the water level of Lake Victoria has created more habitats for *Anopheles funestus*. *Malaria Journal* 7:119.
- Moussa, A. and Bethmann F. (2007). Case study Merowe / Hamdab Dam Project. From the seminar The Science and Politics of Large Dam Projects – Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. http://www.eawag.ch/research_e/apec/seminars/Case%20studies/2006/Merowe-dam.pdf (Last accessed September on 20, 2010).
- NBI. (2005a). National Nile Basin Water Quality Monitoring Baseline Report for Sudan. Nile Basin Initiative. http://nile.riverawarenesskit.com/French/NRAK/Resources/Document_centre/WQ_Baseline_report_Sudan.pdf (Last accessed on July 20, 2010).
- NBI. (2005b). National Nile Basin Water Quality Monitoring Baseline Report for Egypt. Nile Basin Initiative. http://nile.riverawarenesskit.com/French/NRAK/Resources/Document_centre/WQ_Baseline_report_Egypt.pdf (Last accessed on July 20, 2010).
- Nicholson, S. and Yin, X. (2000). On the feasibility of using a lake water balance model to infer rainfall: an example from Lake Victoria. *Hydrological Sciences* 45(1):75-95.
- Njiru, M., Kazungu, J., Ngugi, C.C., Gichuki, J., Muhoozi, L. (2008). An overview of the current status of Lake Victoria fishery: Opportunities, challenges and management strategies. *Lakes and Reservoirs: Research and Management* 13:1-12.
- SEDAC. (2010). Gridded Population of the World: Future Estimates. Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC); collaboration with CIESIN, UN-FAO, CIAT. <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw> (Last accessed on August 10, 2010).
- Scheren, P., Zanting, H., Lemmens, A. (2000). Estimation of water pollution sources in Lake Victoria, East Africa: Application and elaboration of the rapid assessment methodology. *Journal of Environmental Management* 58:235-248.
- Stanley, D. and Warne, A. (1993). Nile Delta: Recent Geological Evolution and Human Impact. *Science* 260:628-634.
- Sudan Tribune. (2009). Jonglei canal project needs to be revised, South Sudan says. <http://www.sudantribune.com/spip.php?article32062> (Last accessed September on 20, 2010)
- Sutcliffe, J. and Petersen, G. (2007). Lake Victoria: derivation of a corrected natural water level series. *Hydrological Sciences* 52(6):1316-1321.
- Swensen, S. and Wahr, J. (2009). Monitoring the water balance of Lake Victoria, East Africa from space. *Journal of Hydrology* 370:163-176.
- UN News Centre (2006). UN agency hails inclusion of vast wetlands in south Sudan on conservation list. *UN News Centre*. <http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=20439&Cr=sudan&Cr1> (Last accessed on December 14, 2007).
- UNESA. (2007). The 2006 Revision and World Urbanization Prospects: The 2007 Revision. Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, World Population Prospects: <http://esa.un.org/unup> (Last accessed on September 20, 2010).
- UNESA. (2008). Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, World Population Prospects: The 2008 Revision, <http://esa.un.org/unpp> (Last accessed on September 20, 2010).
- UNEP. (2007). Sudan Post-Conflict Environmental Assessment. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- USAID. (2009). Cooperation and competition: Managing Transboundary Water Resources in the Lake Victoria Region. United States Agency for International Development. Working Paper No. 5.
- Yoffe, S., Wolf, A., Giordano, M. (2003). Conflict and Cooperation over international freshwater resources: Indicators of Basins at Risk. *Journal of the American Water Resources Association* 39(5):1109–1126.
- Yongo, E., Keizire, B., Mbilinyi, B. (2008). Socio-economic Impacts of Fish Trade. In The State of the fisheries Resources of Lake Victoria and Their Management – Proceedings of the Regional Stakeholders' conference, Entebbe, 24th-25th February 2005).
- Wahaab, R. and Badawy M. (2004). Water Quality Assessment of the river Nile System: An Overview. *Biomedical and Environmental Sciences* 17:87-100.
- WaterTech. (n.d.). "Toshka Project – Mubarak Pumping Station / Sheikh Zayed Canal, Egypt" <http://www.water-technology.net/projects/mubarak/> (Last accessed on September 20, 2010).
- Williams, A., Duthie, H., Hecky, R. (2005). Water hyacinth in Lake Victoria: Why did it vanish so quickly and will it return? *Aquatic Botany* 81:300-314.
- Bassin du Fleuve Ogooué**
- SEDAC. (2010). Gridded Population of the World: Future Estimates. Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC); collaboration with CIESIN, UN-FAO, CIAT. <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw> (Last accessed on August 10, 2010).
- Laurance, W., Alonso, A., Lee, M., Campbell, P. (2006). Challenges for forest conservation in Gabon Central Africa. *Futures* 38:454-470.
- Bassin Makgadikgadi du Delta de l'Okavango**
- Gieske, A. (1997). Modelling outflow from the Jao/Boro River System in the Okavango Delta, Botswana. *Journal of Hydrology* 193:214-239.
- Scudder, T. (2008). Okavango River Basin. In, *Water Resources Development and Management Management of Transboundary Rivers and Lakes*. Eds. Varis, O., Tortajada, C. and Biswas, A.K. <http://www.springerlink.com/content/10184t6h40l31v85/fulltext.pdf> (Last accessed on May 21, 2010).
- Ramberg, L., Hancock, P., Lindholm, M., Meyer, T., Ringrose, S. Sliva, J., Van As, J., VanderPost, C. (2006). Species diversity of the Okavango Delta, Botswana. *Aquatic Sciences* 68:310-337.
- SAIEA. (2009). Pre-Feasibility Study for the Popa Falls Hydro Power Project: Preliminary Environmental Assessment - Impact Assessment Case Studies from Southern Africa. http://www.saiea.com/case_studies09/08%20PopaFallsHydropower.pdf (Last accessed on May 21, 2010).
- Bassin du Fleuve Orange**
- Earle, A., Malzbender, D., Turton, A., Manzungu, E. (2005). A Preliminary Basin Profile of the Orange/Senqu River. AWIRU, University of Pretoria, South Africa. http://www.acwr.co.za/pdf_files/05.pdf. (Last accessed on May 21, 2010).
- SADC-GTZ. (2007). Orange River Integrated Water Resources Management Plan, Prepared for the Orange Senqu River Commission (ORASECOM). <http://www.orasecom.org/publications/iwrm+plan.aspx> (Last accessed on May 21, 2010).
- Senay, G., Pengra, B., Bohms, S., Singh, A., Verdin, J. (2010). Africa-wide water balance estimation using remote sensing and global weather datasets. *American Geophysical Conference Fall Meeting*. Submitted.
- Bassin du Fleuve Sénégal**
- Bâ, A. (2004). Case 1: Parc National Du Diawling. In: Report of the African Pre-Conference on water for food and ecosystems, Addis Ababa, 4-6 Nov. 2004. http://www.fao.org/ag/wfe2005/docs/annex_d.pdf (Last accessed on October 17, 2007).
- Barbiéro, L., Mohamedou, A., Laperrousaz, C., Furian, S., Cunnac, S. (2004). Polyphasic origin of salinity in the Senegal delta and middle valley. *Catena* 58:101-124.
- Boivin, P., Maeght, J., Hammecker, C., Barbiéro, L., Favre, F., Wopereis, M. (1998). Evolution of irrigated soils in the Senegal river valley: alkaline or neutral salinization process? Paper presented at: 16e ISSS World Congress, August, 1998. <http://nates.psu.ac.th/Link/SoilCongress/bdd/symp29/1260-T.pdf> (Last accessed on March 8, 2007).
- Connor, D., Comas, J., Gómez-Macpherson, H., Mateos, L. (2008). Impact of small-holder irrigation on the agricultural production, food supply and economic prosperity of a representative village beside the Senegal River, Mauritania. *Agricultural Systems* 96:1-15.
- DeGeorges, A. and Reilly, B. (2006). Dams and Large Scale Irrigation on the Senegal river. Impacts on Man and the Environment. Case Study for 2006 Human Development Report. UNDP.
- Duvail, S. and Hamerlynck, O. (2003). Mitigation of negative ecological and socio-economic impacts of the Diama dam on the Senegal River Delta wetland (Mauritania), using a model based decision support system. *Hydrology and Earth System Sciences* 7(1):133-146.
- Fall, O., Hori, N., Kan, H., Diop, M. (2003). Toward an Integrated Management Plan of the Djoudj Park Water Resources: Senegal River Mouth. *Environmental Management* 31(1):14-28.
- FAO. (1997). Irrigation potential in Africa: A basin approach – FAO Land and Water Bulletin – 4. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/docrep/w4347e/w4347e00.htm> (Last accessed on February 24, 2010).
- Horowitz, M. and Salem-Murdoch, M. (1993). Development-Induced Food Insecurity in the Middle Senegal Valley *GeoJournal* 30(2):179-184.
- IR. (1999). A Case Study on the Manantali Dam Project (Mali, Mauritania, Senegal). *International Rivers*. <http://www.internationalrivers.org/en/africa/case-study-manantali-dam-project-mali-mauritania-senegal> (Last accessed on March 8, 2010).
- Isupova, M. and Mikhailov, V. (2008). Hydrological and Morphological Processes in Senegal River Mouth Area. *Water Resources* 35(1):30-42.
- Lahtela, V. (2003). Managing the Senegal River: National and Local Development Dilemma. *Water Resources Development* 19(2):279-293.
- Lebel, T. and Ali, A. (2009). Recent trends in the Central and Western Sahel rainfall regime (1990-2007). *Journal of Hydrology* 375:52-64.
- Mietton, M., Dumas, D., Hamerlynck, O., Kane, A., Coly, A., Duvail, S., Pesneaud, F., Baba, M. (2007). Water management in the Senegal River Delta: a continuing uncertainty. *Hydrological Earth Systems Sciences Discussions* 4:4297-4323.
- OMVS. (n.d.). Aménagements hydroagricoles. L'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal website. <http://www.omvs.org/fr/realisations/irrigation.php> (Last accessed on September 27, 2010).
- Poussin, J. and Boivin, P. (2002). Performances des systemes rizicoles irrigues sahéliens. *Cahiers Agricultures* 11:65-73.
- Tappan, G., Sall, M., Wood, E., Cushing, M. (2004). Ecoregions and land cover trends in Senegal. *Journal of Arid Environments* 59(3):427-462.
- Van Asten, P., Barbiéro, L., Wopereis, M., Maeght, J., van der Zee, S. (2003). Actural and Potential salt-related soil degradation in an irrigated rice scheme in the Saheliann zone of Mauritania. *Agricultural Water Management* 60:13-32.
- Verhey, W. (1995). Impact of climate and soil conditions on conception and implementation of irrigation schemes in the Senegal River basin. *Agricultural Water Management* 28:73-94.
- Wopereis, M., Ceuppens, J., Boivin, P., Ndiaye, A., Kane, A., (1998). Preserving soil quality under irrigation in the Senegal River Valley. *NJAS wageningen. Journal of Life Sciences*, Vol 46(1):1-8.
- UNDP. (2009). Human Development Report – Overcoming Barriers: Human mobility and development. United Nations Development Programme. <http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2009/> (Last accessed on March 8, 2010).
- UNESCO. (2003). World Water Report: Water for People, Water for Life- Chapter 20 Senegal River Basin, Guinea, Mali, Mauritania, Senegal. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr1/table_contents/index.shtml (Last accessed on March 8, 2010).
- UNESCO. (n.d.) List of World Heritage in Danger. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. <http://whc.unesco.org/archive/repcom00.htm#djoudj> (Last accessed on March 8, 2010).
- WMO. (2004). Integrated Flood Management Case Study Mauritania: Managed Flood Releases and Livelihoods – Lower Delta Senegal river. World Meteorological Organization. http://www.apfm.info/pdf/case_studies/cs_mauritania.pdf (Last accessed on March 8, 2010).
- Bassin du Fleuve Volta**
- Barry, B., Obuobie, E., Andreine, 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. IWMI. http://www.iwmi.cgiar.org/assessment/files_new/research_projects/River_Basin_Development_and_Management/VoltaRiverBasin_Boubacar.pdf (Last accessed on September 20, 2010).
- Bassin du Fleuve Zambeze**
- Beiffuss, R. and Brown, C. (2006) Assessing Environmental Flow Requirements of the Marromeu complex of the Zambezi Delta. Museum of Natural History – University of Eduardo Mondlane, Maputo, Mozambique. <http://www.internationalrivers.org/files/Beiffussfinalreport.pdf> (Last accessed on March 25, 2010).
- CEH. (2001). Managed Flood Releases: A working conference on guidelines for managed flood releases and lessons learned from Itzhi-tezhi. Lusaka 13-14 March 2001. Center for Ecology and Hydrology, Workshop Report.
- Chenje, M. (2000) State of the Environment Zambezi Basin 2000. SADC/IUCN/ZRA/SDRDC, Maseru/Lusaka/Harare, 2000.
- Davies, B., Beiffuss, R., Thoms, M. (2000). Cahora Bassa restrospective, 1974-1997: effects of flow regulation on the Lower Zambezi River. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 27:1-9.
- ETH. (2004). Zambezi River Basin, from: ETH Seminar: Science and Politics of International Freshwater Management 2003/2004. Swiss Federal Institute of Technology Zurich. http://www.eawag.ch/research_e/apec/seminars/Case%20studies/2003/Zambezi.pdf (Last accessed on March 25, 2010).
- IR. (2006). "Damning the Zambezi – Risks outweigh benefits of proposed Mphanda Nkuwa Dam." *International Rivers*. <http://www.internationalrivers.org/en/node/846> (Last accessed on March 25, 2010).
- IFPRI. (2009) The Impact of climate Variability and change on Economic Growth and Poverty in Zambia. International Food Policy Research Institute. <http://www.ifpri.org/publication/impact-climate-variability-and-change-economic-growth-and-poverty-zambia> (Last accessed on March 25, 2010).
- Magadza, C. (n.d.). Kariba Reservoir, Experience and Lessons Learned Brief. http://www.worldlakes.org/uploads/14_Kariba_Reservoir_27February2006.pdf (Last accessed on March 25, 2010).
- Magadza, C. (2006). Kariba Reservoir: Experience and lessons learned. *Lakes and Reservoirs: Research and Management* 11:271-286.
- Manatsa, D., Chingombe, W., Matarira, C. (2008). The impact of the positive Indian Ocean dipole on Zimbabwe droughts. *International Journal of Climatology* 28:2011-2029.
- Marshall, B. and Junor, F. (1981). The decline of *Salvinia molesta* on Lake Kariba. *Hydrobiologia* 83:477-484.
- McDermott-Hughes, D. (2006). Whites and Water: How Euro-Africans Made Nature at Kariba Dam. *Journal of Southern African Studies* 32(4):823-838.
- Moore, A., Cotterill, F., Main, P., Williams, H. (2007). The Zambezi River. In *Large Rivers: Geomorphology and Management*. Edited by A Gupta, Chichester, UK. 2007, John Wiley & Sons.
- Morrissey, J. (2006). Livelihoods at Risk: The case of the Mphanda Nkuwa Dam - Community risk assessment for the proposed Mphanda Nkuwa hydroelectric dam. <http://www.internationalrivers.org/files/MphandaRA2006.pdf> (Last accessed on March 25, 2010).
- Ngalande, P. (2004) Country Review Zambia. In: Proceedings of the International Workshop on the Fisheries of the Zambezi Basin, Livingstone, Zambia 31 May – 2 June 2004. http://www.worldfishcenter.org/resource_centre/CP75_301007.pdf (Last accessed on March 25, 2010).
- Nicholson, S. and Kim, J. (1997). The Relationship of the El Niño-Southern Oscillation to African Rainfall. *International Journal of Climatology* 17:117-135.
- Schelle, P. and Pittock, J. (2005). Restoring the Kafue Flats, A partnership approach to environmental flows in Zambia. Presented at 10th International Riverssymposium & Environmental Flows Conference, Brisbane, Australia, September 3, 2005.
- Scudder, T. (2005). The Kariba Case Study. Social Science working Paper 1227 – California Institute of Technology.
- UTIP. (n.d). Unidade Técnica de Implementação Dos Projectos Hidroeléctricos. <http://www.utip.org.mz/home/index.htm> (Last accessed on March 25, 2010).
- WWF. (2007). Towards Effective Conservation Strategies – The application of strategic principles to increase the impact and sustainability of WWF conservation efforts. Prepared by AID Environment for WWF Netherlands, WWF US & WWF UK. World Wildlife Fund. http://assets.panda.org/downloads/wwf_nl_strategic_principles_03_29_07.pdf (Last accessed on June 6, 2007).
- Aquifers Tranfrontaliers**
- BRGM. (2005). Hydrogeological Map of Africa: a prototype at 1/10 000 000 scale. Bureau de Recherches Géologiques et Minières. http://www.sigafrique.net/datavwebmaster/doc/Carte_Hydro_Afrique.pdf (Last accessed on July 15, 2010).
- Salman, S. (1999). Groundwater, Legal and Policy Perspectives. Proceedings of a World Bank seminar (November 1999). Washington, World Bank. WBTP 456.
- UNESCO. (2001). Internationally Shared (Transboundary) Aquifer Resources Management. Their significance and sustainable management. A framework document. IHP-VI, IHP Non Serial Publications in Hydrology. November 2001, UNESCO, Paris.
- UNESCO. (2004). Managing shared aquifer resources in Africa. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- UNESCO - IHP/ISARM. (2004). Managing Shared Aquifer Resources in Africa. IHP-VI, Series on Groundwater 8. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization International Hydrological Programme. Internationally Shared Aquifer Resources Management. <http://www.isarm.net/publications/299> (Last accessed on July 15, 2010).
- Aquifère de Grès Nubien**
- Abdelrhem, I., Rashid, K., Ismail, A. (2008). Integrated Groundwater Management for Great Man-Made River Project in Libya. *European Journal of Scientific Research* 22(4):562-569.
- Alghariani, S. (2007). Reducing Agricultural Water Demand in Libya through Improving Water Use Efficiency and Crop Water Productivity. Proceedings of WRM 2007, Honolulu Hawaii.
- Alker, M. (2008). The Nubian Sandstone Aquifer System. In: Conceptualizing cooperation on Africa's transboundary groundwater resources. Ed: Waltina Scheumann and Elke Herrfahrtd-Pähle. German Development Institute. <http://www.isn.ethz.ch/isn/Current-Affairs/Security-Watch/Detail/?q51=Mali&ots591=0c54e3b3-1e9c-be1e-2c24-a6a8c7060233&lng=en&id=103285> (Last accessed on May 21, 2010).
- Bakbakhki, M. (2006). Nubian Sandstone Aquifer System. In: Non-Renewable Groundwater Resources – A guidebook on socially-sustainable management for water-policy makers. Eds. S. Foster and D. Loucks. UNESCO 2006.
- CEDARE. (2001). Regional Strategy for the Utilisation of the Nubian Sandstone Aquifer System – Executive Summary. Centre for Environment and Development for the Arab Region and Europe – International Fund for Agricultural Development. Cairo, CEDARE 2001.
- Dakhleh Oasis Project (n.d.) Dakhleh Oasis Project – Monash University Department of Archaeology webpage. <http://arts.monash.edu.au/archaeology/excavations/dakhleh/index.php> (Last accessed on May 21, 2010).
- Ebraheem, A., Riad, S., Wycisk, P., Seif El-Nasr, A. (2003). Simulation of impact of present and future groundwater extraction from the non-replenished Nubian Sandstone Aquifer in southwest Egypt. *Environmental Geology* 43:188-196.
- Eggemont, H., Verschuren, D., Fagot, M., Rumes, B., Van Bocklaer, B. (2008). Aquatic community response in a groundwater-fed desert lake to Holocene desiccation of the Sahara. *Quaternary Science Reviews* 27:2411-2425.
- Ghazali, A. and Abounahia, M.(2005). An Optimum Approach for the Utilization of the Great Man-Made River Water in Libya. Proceedings Ninth International Water Technology conference, IWTC9, 2009 Sharm El-Sheikh, Egypt.
- Gossel, W., Ebraheem, A., Wycisk, P. (2004). A very large scale GIS-based groundwater flow model for the Nubian sandstone aquifer in Eastern Sahara (Egypt, northern Sudan and eastern Libya) *Hydrogeology Journal* 12:698-713.
- Grenier, C., Paillou, P. and Maugis, P. (2009). Assessment of Holocene surface hydrological connections for the Ounianga lake catchment zone (Chad). *C.R. Geoscience* 341:770-782.
- Heinl, M. and Brinkman, P. (1989). A groundwater model of the Nubian aquifer system. *Hydrological Sciences Journal* 34(4):425-447.
- Hughes, R. and Hughes, J. (1992). A Directory of African Wetlands. IUCN, Gland, Switzerland/ UNEP, Nairobi, Kenya/WCMC, Camberidge, U.K.
- Kröpelin, S. (2007) The Saharan lakes of Ounianga Serir-A unique hydrological system. In: Bubbenzer, O., Bolten, A. & Darius, F. (eds.) (2007): Atlas of Cultural and Environmental Change in Arid Africa. *Africa Praehistorica* 21. Cologne.
- Kröpelin, S., Verschuren, D., Lézine, A.-M., Eggemont, H., Cocquyt, C. Francus, P., Cazet, J.-P., Fagot, M., Rumes, B., Russell, J., Darius, F., Conley, D., Schuster, M., von Suchbodoletz, H. Engstrom, D. (2008). Climate-Driven Ecosystem Succession in the Sahara: The Past 6000 Années. *Science* 320:765-768.
- Kröpelin, S. (2009). Lakes in the Sahara. *German Research February* 2009.
- Shahin, M. (1987). Groundwater resources in Egypt: potentials and limitations. Water for the Future: Hydrology in Perspective (Proceedings of the rome Symposium, April 1987). IAHS Publ. no. 164.
- Shaki, A. and Adeloye, A. (2006). Evaluation of quantity and quality of irrigation water at Gadawa irrigation project in Murzuq Basin, southwest Libya. *Agricultural Water Management*. 84:193-201.
- UNESA. (2008). World Population Prospects: The 2008 Revision Population Database. Department of Economic and Social Affairs. <http://esa.un.org/unpp/index.asp?panel=3> (Last accessed on May 21, 2010).
- Water Technology.net (n.d.) "GMR (Great Man-made river) Water Supply Project, Libya." <http://www.water-technology.net/projects/gmr/> (Last accessed on May 21, 2010).
- World Bank. (2010). World Bank Development Indicators. http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators?cid=GPD_WDI (Last accessed on July 21, 2010).
- Aquifères Transfrontaliers**
- Elbadawy, O. (2007) Management of Shared Aquifer using GIS: A regional case study, Nubian Sand Stone Aquifer. Environmental technologies, including GIS, environmental simulation and process simulation. December 10-12 2007, Tunis, Tunisia.
- Hinrichsen D. 1995. Coasts in Crisis. American Associate for the Advancement of Science (AAAS), Washington D.C. USA. <http://www.aaas.org/international/ehnf/fisheries/hinrichs.htm> (Last accessed on May 21, 2010).
- Schlumberger Water Services. (2007). Groundwater Modeling in the Al Kufrah Basin and the Al Jaghub Area – Case Study. http://www.waterloohydrogeologic.com/e_news/guest_articles/Kufra-Jaghub-CASE-Study.pdf (Last accessed on May 21, 2010).
- Steyl, G. and Dennis, I. (2010). Review of coastal-area aquifers in Africa. *Hydrogeology Journal* 18:217-225.
- UNEP. (2008). Africa Atlas of Our Changing Environment. United nations Environment Programme. Division of Early Warning and Assessment. Nairobi.
- Aquifère de Bassin de Tano-Abidjan**
- Oga, M., Marlin, C., Dever, L., Filly, A., Njitchoua, R. (2008). Hydrochemical and isotopic characteristics of coastal groundwater near Abidjan (southern Ivory Coast). In *Applied Groundwater Studies in Africa – Sequan Adelana and Alan MacDonal editors*, Taylor and Francis 2008.

DÉFIS ET OPPORTUNITÉS **3** LIÉS À L'EAU

