

Ressources en eau dans la région de Tillabéri (Niger)

Potentiel de mise en valeur par l'agriculture irriguée



Rapport technique

Guillaume FAVREAU

Yahaya NAZOU MOU

Octobre 2010

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AHA	: Aménagement Hydro-Agricole
CNEDD	: Conseil National de l'Environnement pour un Développement Durable
CT	: Continental Terminal
DMN	: Direction de la Météorologie Nationale
DRE	: Direction des Ressources en Eau
DRH	: Direction Régionale de l'hydraulique ;
FAO	: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FCFA	: Franc de la Communauté Financière Africaine
FED	: Fond Européen de Développement
FIT	: Front Inter Tropical
GIRE	: Gestion Intégrée des Ressources en Eau
GMP	: Groupement Mutualiste de Production
ha	: hectare
hbt	: habitant
ICRISAT	: International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics
INRAN	: Institut National de Recherches Agronomiques du Niger
INS	: Institut National de la Statistique
IRD	: Institut de Recherche pour le Développement
LUCOP	: Programme Nigéro-Allemand de Lutte Contre la Pauvreté Tillabéri et Tahoua-Nord
MDA	: Ministère du Développement Agricole
MH	: Ministère de l'Hydraulique
MHE/LCD	: Ministère de l'Hydraulique, de l'Environnement et de la Lutte Contre la Désertification
OMD	: Objectifs du Millénaire pour le Développement
ONAHA	: Office National des Aménagements Hydro-Agricoles
ONG	: Organisation Non Gouvernementale
OP	: Organisation Paysanne
ORSTOM	: L'institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (devenu IRD)
PIV	: Périmètre Irrigué Villageois
PNEDD	: Plan National de L'Environnement pour un Développement Durable
PNUD	: Programme des Nations Unies pour le Développement
PPIP	: Projet de Promotion de l'Irrigation Privée
PRE	: Programme de Relance Economique
SDR	: Stratégie de Développement Rural
SDRP	: Stratégie accélérée de Développement et de Réduction de la Pauvreté
SE/SDR	: Secrétariat Exécutif de la SDR
SIGNER	: Système d'Information Géographique du Niger
SNDI/CER	: Stratégie Nationale de Développement de l'Irrigation et de Collecte des Eaux de Ruissellement
SRP	: Stratégie de Réduction de la Pauvreté
UGE	: Unité de Gestion de l'Eau

Photographie insérée dans les limites de la région de Tillabéri (couverture):

Petite irrigation à partir d'un forage artésien à Yérima Dey, Département de Kollo, Février 2009.
Photographie : M. Oï (IRD, Niamey, Niger).

Ce rapport a bénéficié d'un appui technique par un stage à l'IRD de Mr Ibrahim Mainassara, effectué en vue de l'obtention d'un Master en « GIRE » à l'école 2iE (Ouagadougou, Burkina-Faso) sur la période de mars à juillet 2010.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ

1.	INTRODUCTION	1
1.1	Cadre de l'étude	1
1.2	Contexte et justification	2
2.	MÉTHODOLOGIE	3
2.1	Objectifs.....	3
2.2	Inventaire des études	4
2.3	Collecte des données.....	5
2.4	Actualisation des données	5
2.5	Dépouillement et analyse critique des données.....	6
2.6	Visites de terrain.....	6
3.	GÉOMORPHOLOGIE	7
4.	CLIMAT	9
4.1	Précipitations	9
4.2	Température, humidité, vent et évaporation	10
5.	CONTEXTE HYDROLOGIQUE	11
5.1	Cours d'eau	11
5.2	Mares naturelles et artificielles	14
6.	CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE	17
6.1	Aperçu géologique	17
6.1.1	Socle cristallin du Liptako.....	17
6.1.2	Bassin sédimentaire des Iullemmeden	18
6.2	Hydrogéologie	20
6.2.1	Nappes alluviales	20
6.2.2	Nappe phréatique du Continental Terminal	21
6.2.3	Nappes profondes	24
7.	RESSOURCES EN EAU DE SURFACE	25
7.1	Vallée du fleuve.....	25
7.2	Mares naturelles et artificielles	30
8.	RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE	32
8.1	Nappes alluviales	33
8.1.1	Nappes alluviales des affluents actifs de la zone de socle.....	33
8.1.2	Nappes alluviales des vallées fossiles du dallol Bosso et du kori de Ouallam	33
8.2	Nappe phréatique du Continental Terminal	34
8.3	Nappes profondes	36
8.3.1	Nappes profondes de la zone du socle du Liptako.....	36
8.3.2	Nappes profondes du Continental Terminal	37
9.	SITUATION ACTUELLE EN MATIÈRE D'IRRIGATION.....	38

10.	POTENTIEL D'IRRIGATION.....	39
10.1	Potentiel en terres irrigables.....	39
10.1.1	Inventaire des sols	39
10.1.2	Classification des sols	41
10.2	Potentiel d'irrigation des ressources en eau	43
10.2.1	Profondeur d'accès aux ressources en eau.....	43
10.2.2	Qualité des eaux et leur aptitude à l'irrigation	43
11.	PROJETS ET PROGRAMMES EN COURS	46
12.	CONCLUSION : QUELQUES RECOMMANDATIONS	47
12.1	Mesures d'aménagement pour une meilleure valorisation des eaux.....	47
12.1.1	Dans la vallée du fleuve et de ses affluents.....	47
12.1.2	Autour des mares permanentes et semi-permanentes.....	47
12.1.3	Dans les vallées fossiles du dallol Bosso et des Koris à l'est du fleuve	47
12.1.4	Captage et l'exhaure	48
12.1.5	Système de distribution	49
12.1.6	Autres mesures	50
12.2	Caractère écologiquement soutenable de la mise en culture irriguée	51
12.3	Technologies d'irrigation adaptées.....	51
13.	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	53
14.	ANNEXES	57

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des bassins versants des principaux affluents actifs de la Rive droite (MHE/LCD, com. pers.).....	12
Tableau 2 : Principaux barrages et mini-barrages de la région de Tillabéri (données SIGNER et division hydrologie du MH/E, pers. com).	17
Tableau 3 : Caractéristiques des écoulements des principaux cours d'eau (MH/E/LCD, pers. com.) .	25
Tableau 4 : Principales classes et les types de cultures dans la région de Tillabéri (MDA, 2009).....	38
Tableau 5 : Superficies irriguées (en ha) en 2008/2009 dans la région de Tillabéri (MDA, 2009)	39
Tableau 6 : Superficies estimées des sols potentiellement irrigables.....	43
Tableau 7 : Projets et programmes en cours (10/2010) dans la région de Tillabéri comportant un volet « Irrigation ».	46
Tableau 8 : Coûts des équipements de captage et d'exhaure (Source : Cochand J., la petite irrigation privée dans le sud Niger, enquête de terrain, 2006-2007).	48
Tableau 9 : Technologies d'irrigation adaptées proposées pour la région de Tillabéri.....	52

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte administrative de situation de la région de Tillabéri.	2
Figure 2 : Carte des points d'eau recensés dans la région de Tillabéri (Données SIGNER et Ministère de l'Hydraulique, Niger).....	4
Figure 3 : Relief de la région (SRTM 90 m; http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/). L'enclave polygonale dans les limites de la région représente la Communauté Urbaine de Niamey.....	7
Figure 4 : Bloc diagramme représentant les flux surface-souterrain au centre de la région de Tillabéri (Continental Terminal, 50 km à l'E-NE de Niamey). Photographie aérienne de novembre 1992 en superposition (IGNN, Niamey, Niger ; d'après Massuel, 2005).	8
Figure 5 : Chronique des précipitations annuelles à Tillabéri sur la période 1923-2008 et répartition saisonnière des précipitations à Niamey (DMN, pers. com.).....	9
Figure 6 : Carte des isohyètes 1950-89 de la région de Tillabéri (d'après L'Hôte et Mahé, 1996, modifié).....	10
Figure 7 : Réseau hydrographique et stations hydrométriques de la région de Tillabéri.....	12
Figure 8 : Exemple d'évolution du réseau de drainage (en bleu) et de l'augmentation de la superficie d'une mare à ~40 km à l'E-SE de Ouallam, observées par télédétection (photographies aériennes IGNN, Niamey (1950-92) et image Spot, 2005). Noter également la forte diminution de la brousse tigrée arbustive sur les plateaux entre 1950 et 2005 (in Favreau et al., 2009).	14
Figure 9 : Répartition des mares permanentes et semi-permanentes par département.	15
Figure 10 : Exemple de création d'une mare temporaire sous l'effet du déboisement : Kafina, département de Filingué (in Leblanc et al., 2008). Photographie aériennes au ~1/50,000 ^e , IGNN, Niamey, Niger. Enquête de terrain IRD, 2003.	16
Figure 11 : Carte des affleurements géologiques de la région de Tillabéri. Fond géologique d'après Greigert et Pognet (1965).	18
Figure 12 : Coupe géologique schématique à 13°40'N à travers le degré-carré de Niamey (d'après Monfort, 1996 ; in Favreau, 2000). Noter l'épaississement des séries aquifères vers l'est de la région, ainsi que la faiblesse des réserves au contact du socle.....	20

Figure 13 : Carte piézométrique de la nappe phréatique du Continental Terminal dans la région de Tillabéri (d'après Boeckh, 1965, modifié). Noter la présence du « biseau sec » sans continuité piézométrique clairement définissable au nord de Tillabéri.	23
Figure 14 : Hausse piézométrique de la nappe phréatique du Continental terminal à l'est de Niamey, région de Tillabéri (d'après Favreau et al., 2009). L'augmentation des réserves à long terme (1950s-2000s) sous l'effet du déboisement induit localement que le niveau de la nappe phréatique dépasse le niveau du sol, créant localement des risque de salinisation des eaux et des sols par évaporation (notamment, départements de Ouallam et de Kollo).....	23
Figure 15 : Ecoulements moyens interannuels des affluents de rive droite du fleuve (périodes de calcul indiquées sur les fig. 16 à 23 ; base de données MH/E, pers. com.).....	27
Figure 16 : Caractéristiques des écoulements du Fleuve à Niamey.....	27
Figure 17 : Caractéristiques des écoulements du Gorouol à Alcongui.	27
Figure 18 : Caractéristiques des écoulements du Dargol à Kakassi.....	28
Figure 19 : Caractéristiques des écoulements de la Sirba à Garbé-Kourou.....	28
Figure 20 : Caractéristiques des écoulements du Goroubi à Diongoré.	28
Figure 21 : Caractéristiques des écoulements du Diamangou à Tamou.	29
Figure 22 : Caractéristiques des écoulements de la Tapoa au Parc W.....	29
Figure 23 : Caractéristiques des écoulements de la Mékrou à Barou.	29
Figure 24 : Eléments de bilan d'une mare au Sahel nigérien.	30
Figure 25 : Exemple de relation entre pluviométrie, dynamique du niveau de mare semi-permanente et recharge de l'aquifère : Banizoumbou, département de Kollo. Les suivis hydrologiques permettent d'évaluer dans le temps la ressource disponible. Noter l'importance de l'infiltration de l'eau accumulée dans la mare pour la recharge de l'aquifère.....	31
Figure 26 : Carte de distribution spatiale de la profondeur de la nappe phréatique du Continental Terminal. Elle montre que la profondeur à la nappe est essentiellement régie par la topographie du paysage (distribution spatiale plateaux / vallées).	34
Figure 27 : Carte de distribution spatiale de la salinité de la nappe phréatique du Continental Terminal (données d'après Boeckh, 1965, in Greigert et Bernert, 1979).	35
Figure 28 : Exemple de possibilité d'investigation des réserves locales d'un aquifère par résonance magnétique protonique (Kolo Bossey, département de Kollo). Cette technique géophysique novatrice permet de déterminer la distribution des teneurs en eau de l'aquifère en zone sédimentaire et de préciser les zones à teneur en eau significative en zone de socle (d'après Boucher et al., 2009).....	37
Figure 29 : Répartition des superficies irriguées en 2008/2009 (MDA, 2009).	39
Figure 30 : Carte de distribution des terres en fonction de leur aptitude à l'irrigation, région de Tillabéri.	42
Figure 31 : Superficies estimées des terres potentiellement irrigables par département.	43
Figure 32 : Classification du potentiel des terres irrigables en fonction des zones de profondeur de la nappe phréatique	45
Figure 33 : Techniques de captage et d'exhaure à faible coûts, inventoriées dans le cadre de la petite irrigation privée. De gauche à droite : Forage manuel en PVC ; exhaure avec motopompe sur puits maraicher ; niveau d'eau dans un puits maraicher autour de mare de Tinga ; exhaure avec Pompe à la main, généralement utilisée par les femmes ; exhaure avec Pompe à pédale, exhaure avec puisette	48
Figure 34 : Réseau Californien, principe et variantes. La photographie illustre une application de ce réseau en rive droite de la mare de Tinga, dans le département de Ouallam (bornes de distributions visibles, perpendiculaires à l'axe de la mare).	50

LISTE DES ANNEXES

- A – 14.1** Mares Permanente et Semi-permanente (Source, Schéma Directeur, 2003)
- A – 14.2** Répartition des mares par communes dans la région de Tillabéri
- A – 14.3** Principaux barrages de la région de Tillabéri
- A – 14.4** Principaux barrages en projet
- A – 14.5** Mini barrages réalisés dans le cadre du PSPR (Source : MHE)
- A – 14.6** Superficies irriguées, rendements et productions des LEGUMES dans la région de Tillabéri durant la campagne 2008/2009.
- A – 14.7** Superficies irriguées, rendements et productions des racines et tubercules dans la région de Tillabéri durant la campagne 2008/2009.
- A – 14.8** Superficies irriguées, rendements et productions des légumineuses dans la région de Tillabéri durant la campagne 2008/2009.
- A – 14.9** Superficies irriguées, rendements et productions des épices et stimulants dans la région de Tillabéri durant la campagne 2008/2009.
- A – 14.10** Répartition du nombre de pieds d'arbres en production dans la région de Tillabéri durant la campagne 2008/2009.
- A – 14.11** Critères utilisés dans l'évaluation de la capacité des sols à supporter l'irrigation
- A – 14.12** Aptitudes à l'irrigation des unités de sols
- A – 14.13** Recommandations spécifiques pour la mare de Tinga (Ouallam)
- A – 14.14** Termes de Référence (TDR).

RÉSUMÉ

Le Sahel sub-saharien dispose de ressources en eau considérables, essentiellement portées par de grands systèmes aquifères régionaux (aquifères du Sénégal, de Taoudenni au Mali, des lullemeden au Niger, du Tchad). De nombreuses mares et points d'eau existent le long d'affluents temporaires des grands fleuves régionaux, constituant des ressources en eau temporaires ou permanentes. Pourtant, l'exploitation des ressources en eau en vue de l'irrigation demeure limitée, essentiellement concentrée le long des étroites vallées des grands axes fluviaux régionaux (fleuves Niger, fleuve sénégal). Il en résulte que seulement 1% de la superficie cultivée est irriguée en Afrique subsaharienne, alors même qu'à l'échelle du globe, la proportion atteint les 11% (Siebert et al., 2005). La région de Tillabéri au sud-ouest du Niger présente des caractéristiques favorables à l'irrigation : en eau de surface tout d'abord, avec des eaux de surface mobilisables le long des koris (ou vallées sableuses) et des affluents du fleuve Niger aux débits importants. En eau souterraine secondairement, avec des aquifères alluviaux le long des vallées, même temporaires, et l'existence d'une nappe phréatique généralisée sur une grande partie Est de la région. Dans cette partie la plus favorisée de la région de Tillabéri, les vallées du Dallol Bosso, à la nappe phréatique sub-affleurante, ainsi que la présence d'aquifères captifs localement artésiens offrent des avantages indéniables en terme de coût d'exhaure réduit. Dans ce rapport technique, une estimation quantitative du potentiel en terre irrigables est également présenté par département voire par commune, par représentation des informations collectées sous forme de SIG. L'état de l'art scientifique sur les liens existants entre ressources en eau, en sol (érosion) et du couvert végétal est également abordé sous l'angle de l'évolution des ressources sous impact climatique et d'usage des sols, afin d'assurer le caractère durable des recommandations émises en conclusion.

Au final, dans la région de Tillabéri, la hausse régionale plurimétrique des ressources en eau souterraine (+4 m depuis les années 1960s), facteur de salinisation des sols, ainsi que l'augmentation de l'ordre de +30 à +60% des coefficients d'écoulement et l'érosion accrue en rive droite du fleuve, militent pour un accroissement raisonné des surfaces irriguées, pour le bénéfice de l'environnement.

1. INTRODUCTION

1.1 Cadre de l'étude

La région de Tillabéri occupe l'essentiel de la partie ouest du Niger, entre 11°57' et 15°39' de latitude Nord, et entre 0°12' et 4°16' de longitude Est (Fig.1). Elle est limitée au Nord par le Mali, au Nord-est par la région de Tahoua, à l'Est par celle de Dosso, à l'Ouest par le Burkina Faso et au Sud par le Bénin. Sa superficie est d'environ 97251 km², soit 7,68% de la superficie totale du pays, répartie entre la zone du socle cristallin à l'ouest du fleuve et la zone sédimentaire du bassin des lullemeden à l'Est. Sur le plan administratif, la région est subdivisée en six départements (Tillabéri, Kollo, Filingué, Ouallam, Say et Téra) et 44 communes (Lois n° 58-30 du 14 septembre 1998 et n° 2002-014 du 11 juin 2002).

La population était estimée à 1.858.342 habitants en 2001 (Recensement Général de la Population, 2001), avec un taux d'accroissement annuel de l'ordre de 3%. La densité de la population est très variable, allant de 12,7 hbt/km² dans le département de Ouallam à 31,7 hbt/km² dans celui de Kollo. Les départements traversés par le fleuve (Kollo, Téra, Tillabéri) sont les plus densément habités en raison de leurs ressources naturelles. La population est essentiellement jeune (49 % ont moins 14 ans) et rurale (96% vivent dans les zones rurales).

Les principales activités économiques sont l'agriculture, l'élevage, la pêche et l'exploitation forestière. L'agriculture est de loin la branche d'activité principale des ménages et elle contribue à plus de 50% dans le PIB du secteur primaire de la région (CNEDD, 2004).

La région de Tillabéri dispose d'importantes potentialités en ressources naturelles. En effet, elle draine l'essentiel des ressources en eau de surface du pays avec le fleuve Niger, seul cours d'eau permanent, qui traverse la région du Nord-ouest au Sud-est sur environ 420 km. Le fleuve bénéficie des écoulements de sept affluents principaux de rive droite, à savoir (du nord au sud) le Gorouol, le Dargol, la Sirba, le Goroubi, le Diamangou, la Tapoa et la Mékrou. En matière de ressources en eau souterraine, la région dispose d'importantes nappes alluviales peu profondes (0 à 20 m) localisées dans les vallées fossiles des Dallols (« Dallol » : large vallée), et koris (« kori » : vallée à eaux de surface temporaires, localisées et/ou discontinues), d'une nappe phréatique généralisée sur la majeure partie située à l'Est du fleuve, et de plusieurs nappes d'extension régionale (Continental Terminal, Continental Intercalaire, et pro parte, nappe des altérations du socle).

Les ressources en terres potentiellement irrigables sont également importantes. Les sols de la vallée du fleuve constituent l'une des meilleures opportunités pour l'intensification agricole. Les sols profonds alluviaux des vallées (actives et fossiles) sont également aptes aux cultures vivrières et maraîchères. La majorité des sols de la région (vallées sablonneuses et plateaux) sont moins propices à l'agriculture, mais constituent souvent des aires de pâturage ou de forêt sèche. Tous ces sols présentent une forte vulnérabilité à l'érosion. Environ 20% des superficies cultivables se trouvent dans un état de dégradation avancée du fait des effets combinés du climat, de la pression de l'homme et du surpâturage. L'érosion éolienne est surtout active dans la partie Nord, mais se révèle sensible aux pratiques culturales (Touré, 2010).

Malgré cet important potentiel en ressources naturelles, les revenus des ménages essentiellement ruraux de la région sont parmi les plus faibles du pays. En effet la "Stratégie de Développement Accéléré et de Réduction de la Pauvreté, SDRP 2008 – 2012" classe la région de Tillabéri au 3^{ème} rang de l'indice de profondeur de la pauvreté avec 26,8% de la population, c'est-à-dire la proportion de pauvres dont la dépense de consommation est éloignée du seuil de pauvreté. Si la maîtrise de l'agriculture pluviale reste aléatoire en raison de l'irrégularité spatio-temporelle des précipitations, le potentiel en terres irrigables notamment le long du fleuve et de ses affluents actifs, dans le dallol Bosso et autour des mares naturelles et des retenues d'eau, largement sous exploité aujourd'hui, pourrait constituer une alternative en matière de lutte contre la pauvreté et une ressource en vue d'une mitigation des aléas pluviométriques dans un contexte de changement climatique.

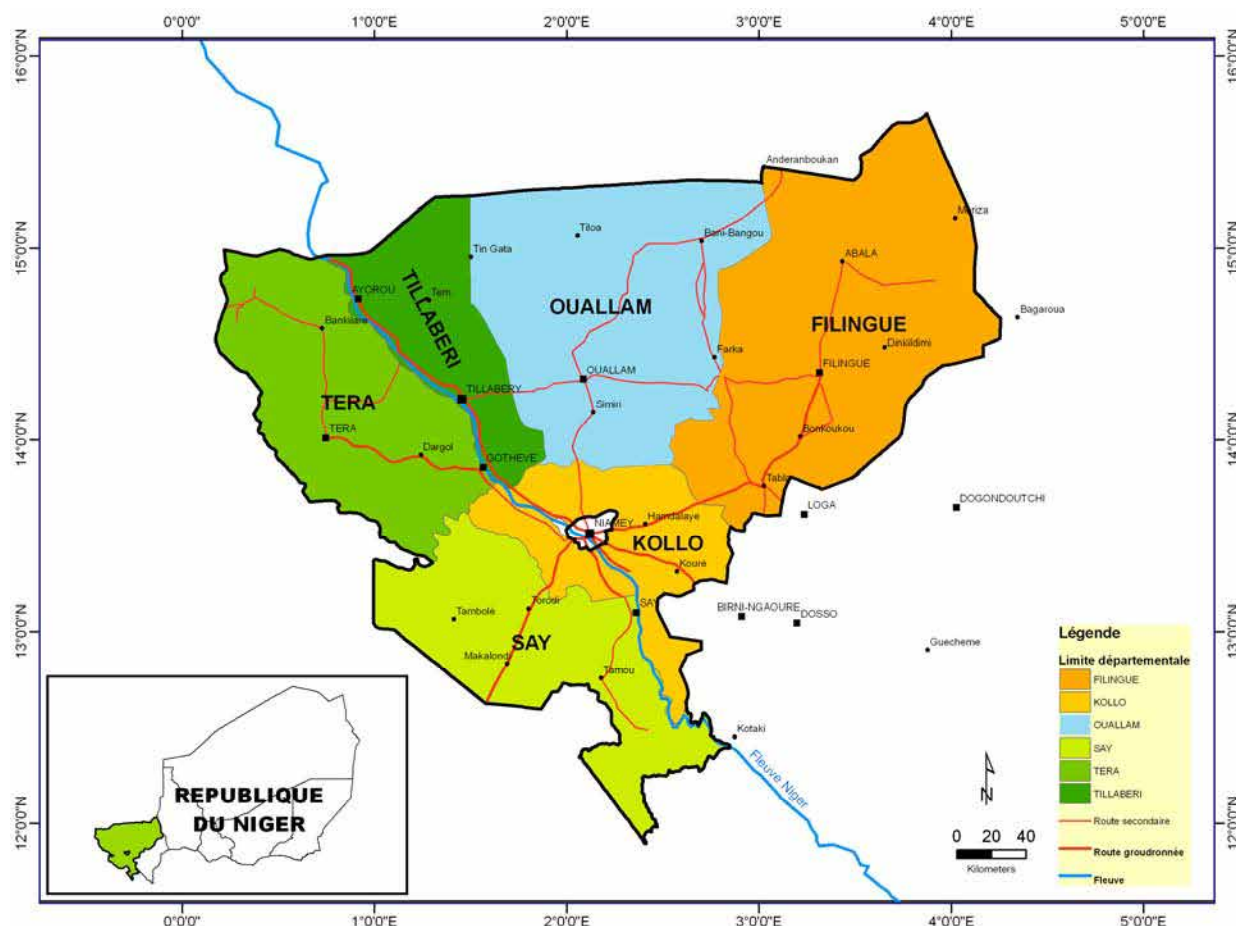


Figure 1 : Carte administrative de situation de la région de Tillabéri.

1.2 Contexte et justification

L'analyse des caractéristiques de la pauvreté et les enseignements tirés de la mise en œuvre de la Stratégie de Réduction de la Pauvreté SRP 2002-2005 ont conduit le Niger à élaborer la nouvelle "Stratégie de Développement Accéléré et de Réduction de la Pauvreté, SDRP 2008 - 2012" en tant que cadre prospectif du développement national, pour lequel les stratégies et politiques sectorielles dont la Stratégie de Développement Rural (SDR) serviront de cadre opérationnel, et dans lequel tous les programmes de développement futurs devraient progressivement s'insérer. L'objectif global assigné à la SDRP est la réduction de la pauvreté pour l'horizon 2015.

En tant que déclinaison sectorielle de la SDRP, la Stratégie de Développement Rural vise la réduction de la pauvreté et l'amélioration durable des conditions de vie des populations en milieu rural. Elle s'inscrit ainsi dans la perspective des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) et contribue plus spécifiquement à la réalisation de l'objectif 1 (réduction de l'extrême pauvreté et de la faim) et l'objectif 7 (assurer un environnement durable).

La réalisation des objectifs de la SDR est basée sur la mise en œuvre de dix programmes structurants et de quatre programmes sectoriels prioritaires au nombre desquels les programmes "Réduction de la vulnérabilité des ménages" et "Lutte contre l'insécurité alimentaire par le développement de l'irrigation". La stratégie Nationale de Développement de l'irrigation et de collecte des eaux de Ruissellement (SNDI/CER) élaboré en 2003 qui est la déclinaison de ces programmes entre autre, devrait contribuer à l'augmentation de la valeur ajoutée agricole, l'amélioration de l'emploi et des revenus en milieu rural, mais aussi la préservation des ressources naturelles et du capital productif.

Pour appuyer les efforts de l'Etat nigérien dans la lutte contre la pauvreté en milieu rural dans la région de Tillabéri, et conformément aux programmes d'actions de la SDR, la coopération Allemande intervient dans les départements de Téra, Tillabéri, Ouallam et Filingué (sources <http://niger.ded.de>) à travers le programme Lutte Contre la Pauvreté LUCOP-Tillabéri. Les interventions du programme à travers sa composante « gestion des ressources naturelles » sont axées notamment sur le renforcement des capacités des acteurs, la gestion durable des ressources naturelles, l'appui logistique dans l'aménagement et la récupération des terres dégradées et le développement des filières agro-sylvo-pastorales. Aussi, des expériences dans la mise en valeur de quelques sites irrigables ont été menées par la coordination régionale du programme et ont conduit à des résultats fort prometteurs.

Pour contribuer davantage à l'augmentation des revenus des ménages ruraux dans toutes ses zones d'intervention (Tillabéri et Tahoua Nord), la coopération Allemande souhaite accroître, à partir de juin 2010, ses appuis dans le domaine agricole et notamment dans l'irrigation. Dans le cadre de la préparation du futur programme, le LUCOP-Tillabéri confie à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) une étude préliminaire de courte durée, objet du présent rapport, sur les potentialités des ressources en eau de la région de Tillabéri pouvant être mises en valeur pour l'irrigation. Cette étude a été menée en collaboration avec le Département de Géologie de la Faculté des Sciences de l'Université Abdou Moumouni de Niamey.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1 Objectifs

Conformément aux termes de référence, l'étude sur les potentialités de ressources en eau pour l'irrigation dans la région de Tillabéri vise deux (2) objectifs majeurs :

- Etablir un inventaire actualisé des ressources en eau dans la région ;
- Evaluer leur potentiel pour l'irrigation.

L'inventaire détaillé et précis des plans d'eau (mares naturelles et artificielles - barrages) et des nappes souterraines suivis, dans la mesure de la disponibilité des données, d'une estimation de leurs volumes et réserves en eau sont les éléments de base de tout projet de leur mise en valeur à des fins d'irrigation. L'inventaire vise à caractériser les ressources en eau de surface et souterraine de la région, et se base sur l'analyse de toutes les données géologiques et hydrologiques disponibles. Les données de base sont généralement collectées ponctuellement au niveau des points d'eau (plan d'eau ou mares, puits, forages), notamment lors de leur réalisation quand il s'agit d'ouvrages techniques, ces réalisations constituant les sources majeures des informations hydrologiques.

Aussi, l'inventaire consiste en un catalogage précis et détaillé des points d'eau de la région, en rassemblant et synthétisant la totalité des données et autres renseignements disponibles sur chaque point. Rappelons (cf. TDR en annexe) que les relevés, mesures et analyses spécifiques in situ (hydrologiques, pédologiques, enquêtes) ne sont pas prévus dans le cadre de la présente étude. Elle devrait donc se fonder sur les données collectées par les structures de l'Etat et les projets et programmes des partenaires au développement. Si l'on note que la première étude intéressant la région remonte au début du XXe siècle (Garde, 1910), que les premières études régionales d'envergure datent des années 1960s post-indépendance (eg., Boeckh, 1965 ; Greigert, 1968) et que la Décennie Internationale de l'Eau potable et l'Assainissement DIEPA (1981-1990) a vu la réalisation de plus de 2000 points d'eau et que la base de données sur l'eau et l'assainissement du Ministère en charge de l'eau, IRH/SIGNER, dénombre pas moins de 4500 points d'eau dans la région de Tillabéri (Fig. 2), on s'aperçoit très vite que le volume de données à collecter et à analyser est très important.

Outre les données sur les ressources en eau, l'inventaire inclut également les ressources pédologiques de la région (inventaires, cartographies et propriétés agronomiques des sols).

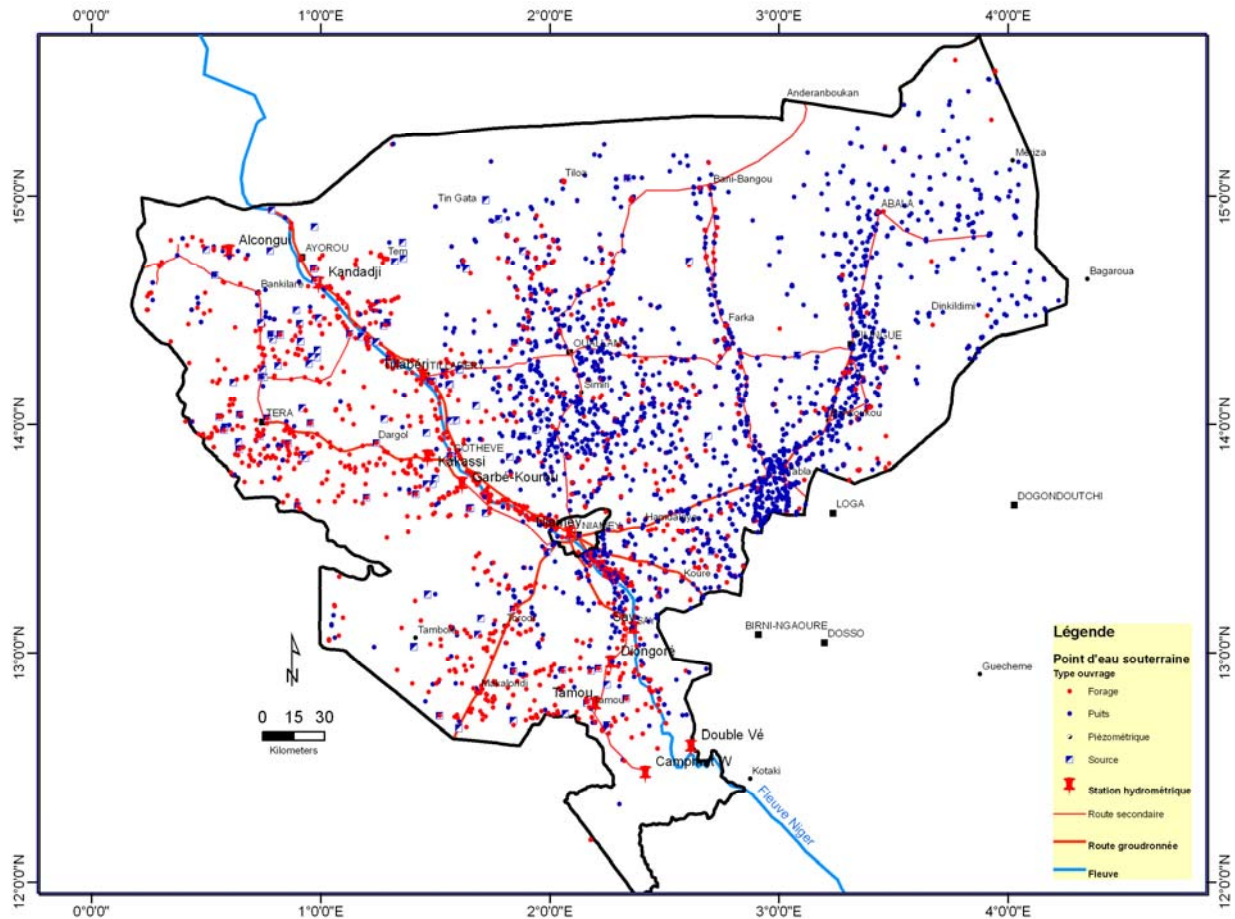


Figure 2 : Carte des points d'eau recensés dans la région de Tillabéri (Données SIGNER et Ministère de l'Hydraulique, Niger).

2.2 Inventaire des études

La première étape méthodologique a consisté au recensement des études géologiques et hydrologiques relatives à la région. En dehors de la zone géologiquement indépendante du Liptako qui occupe la majeure partie située à l'ouest du fleuve, les études et travaux portant sur la rive gauche ont été réalisées généralement dans le cadre du bassin sédimentaire des Iullemmeden. L'hydrogéologie de cette importante partie de la région est donc indissociable de ce vaste bassin sédimentaire qui renferme plus de 50% des ressources en eau du pays. Le recensement documentaire effectué se rapporte à des rapports techniques publiés ou à des thèses, à des ouvrages de synthèse, à une cinquantaine de revues internationales différentes, à des actes de congrès internationaux (AISH, AIEA...), une cinquantaine de références concernant des rapports internes non publiés (IRD, BRGM, SOGETHA, SGF, etc.) ou des rapports universitaires à diffusion restreinte et quelques sites de données sur Internet sont également identifiés. Outre les analyses et commentaires textuels, ces rapports intègrent en annexes des données mesures et de suivis au niveau des points d'eau.

Les références documentaires ont ensuite été localisées, consultées ou demandées au niveau des fonds documentaires des structures nationales (Ministère en charge de l'eau et de l'environnement, Ministère en charge de l'agriculture et des ressources animales, Commissariat chargé du développement, Ministère en charge du transport, etc.), des partenaires au développement (LUCOP, Coopération suisse, ONGs, etc.) des universités (université Abdou Moumouni de Niamey, université Paris XI Orsay, université de Montpellier 2, etc.), des institutions de recherches (IRD, INRAN, AGRHYMET, ICRISAT...) et des bureaux d'études nationaux ou internationaux (BNIC, BSIRA, BRGM, SOGETHA, etc.). Certains documents cartographiques de référence qui ne sont plus disponibles sur place ont été recherchés auprès de bureaux d'études internationaux comme le

"Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM, Orléans, France)". Il s'agit notamment des travaux de Boeckh (1965) et de Greigert (1968) et Greigert et Bernert (1979), dont les annexes des exemplaires du Ministère en charge de l'eau sont incomplètes depuis plusieurs années.

Pour les ressources en sols, la seule carte pédologique de référence couvrant l'ensemble de la région (inventaire et propriétés agronomiques des sols) est celle établie par Gavaud et Boulet (1967). Une version numérique de cette carte a également été acquise auprès de SIGNER.

2.3 Collecte des données

En plus des rapports techniques et d'études ainsi répertoriés, l'inventaire a également concerné les données disponibles sur les points d'eau de la région de Tillabéri. L'essentiel de ces données sont archivées dans la base données IRH/SIGNER du Ministère en charge de l'eau et dans les rapports techniques d'exécution des projets et programmes du secteur de l'eau. L'ensemble des données de base disponibles dans la banque de données ont été acquises non seulement auprès de l'équipe SIGNER, mais également de la Direction des ressources en eau (Division IRH, Division hydrologie), détentrice des données d'inventaires de ressources hydrauliques et d'hydrométriques (débit des cours d'eau) la comparaison de ces bases de données en montrera la complémentarité. Les principales données collectées sont :

- listes des points d'eau (mares, puits, forages) et leurs caractéristiques (coordonnées, types, profondeurs, coupes géologiques, types d'équipement, etc.);
- chroniques (données historiques) des débits du fleuve à Niamey, et des affluents droits (Gorouol, Dargol, Sirba, Goroubi, Diamangou, Tapoa et Mékrou) aux stations les plus aval du réseau (exutoires) ;
- chroniques de mesures d'évaporation au bac « A »;
- chroniques de mesures de température (Direction de la Météorologie Nationale);

A ces données d'inventaires et de chroniques, il faut ajouter les données cartographiques numériques obtenues auprès du SIGNER :

- limites administratives ;
- réseau hydrographique ;
- reconnaissance pédologique du Niger occidental ;
- réseau routier, principal et secondaire.

2.4 Actualisation des données

Les données d'inventaires ont été actualisées et complétées à partir de:

- données des derniers inventaires de 2007 de la région de Tillabéri (départements de Say, Téra et Tillabéri), et des chroniques de débits d'écoulements du fleuve et des ses affluents, obtenues auprès de la Direction des Ressources en Eau ;
- données d'inventaires et de suivis collectées par l'IRD dans le cadre des projets de recherche Hapex-Sahel et AMMA (Analyse multidisciplinaire de la Mousson Africaine) ;
- données d'inventaires du projet FEM (Fonds pour l'Environnement Mondial - Global Environment Facility) intitulé "Gestion des risques hydrogéologiques dans système aquifère des Iullemeden", mis en œuvre par l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS, Tunis, Tunisie) ;
- données météorologiques de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN). Les données moyennes annuelles sont accessibles sur le site Web de l'Institut National de la statistique (INS ; <http://www.stat-niger.org/statistique/>)

2.5 Dépouillement et analyse critique des données

Les documents relatifs aux travaux, études et inventaires sur les ressources en eau et en sols ont été consultés, analysés, et les différentes interprétations ont été confrontées en vue d'une synthèse de l'état actuel des connaissances géologiques, hydrologiques et pédologiques de la région de Tillabéri. Cette synthèse a porté notamment sur :

- identification et classification des formations géologiques ;
- nature, lithologie et propriétés des roches renfermant les ressources eau souterraine ;
- fonctionnement hydrodynamique des aquifères (piézométrie, écoulements souterrains alimentation, exutoire) ;
- qualité géochimique des eaux souterraines ;
- profondeurs des niveaux aquifères (nappes) et sa variabilité spatiale ;
- débits potentiels de production des différentes nappes ;
- inventaire et répartition des mares naturelles et artificielles ;
- débits d'écoulements potentiellement mobilisables à partir du fleuve et de ses affluents ainsi que leur variabilité ;
- caractéristiques des sols et leurs aptitudes à l'irrigation.

L'analyse et l'interprétation des données anciennes sont à l'origine des connaissances acquises sur les ressources en eau. Elles ont été préalablement vérifiées et critiquées dans le cadre des différentes études et travaux de l'époque, auxquels le lecteur pourra se référer pour les détails (Boeckh, 1965 ; Greigert, 1966a et b ; Greigert 1968 ; Greigert et Bernert, 1979). Néanmoins, il n'est pas rare que des erreurs de transcription et des omissions s'y glissent au gré des années d'archivage et de gestion, notamment à la faveur de la numérisation des banques de données.

Les données récentes permettent de préciser localement les grands traits hydrogéologiques dégagés par les études plus anciennes, mais également de se faire une idée quant à l'évolution des ressources. A partir des années 80, la fiabilité des données collectées est douteuse à cause de la faible supervision des travaux et de l'insuffisante qualification des techniciens chargés de la collecte sur le terrain. L'exploitation de ces données est faite au cas par cas.

2.6 Visites de terrain

Une série de visites de terrain s'étalant sur une durée totale de six jours a été organisée afin de s'entretenir avec les services techniques régionaux et départementaux (Eau, agriculture, génie rural) et d'apprécier de visu quelques sites de mise en valeur existants et potentiels à même d'étayer les recommandations du présent rapport. Ces visites ont été organisées suivant trois axes :

- axe Tillabéri-Ayorou : échange avec les services déconcentrés (Direction Régionale de l'Hydraulique, Direction Régionale du Génie Rural, Antenne Régionale du Projet de valorisation des eaux de Dosso et de Tillabéri, Antenne Régionale de l'Office National des Aménagements Hydroagricoles (ONAHA), visite de la mare de Mari, du Site du barrage de Kandadji ;
- axe Téra : visite des sites de Zindigori, Sékomé, Bégorou Tondo et quelques ouvrages sur la route Niamey-Téra ;
- axe Ouallam-Baléyara : visite des mares de Tinga, Sagane, Tolkobeye, Dinginassa, ainsi que certains puits anciens, afin d'apprécier l'évolution locale à long terme de la ressource en eau souterraine (Banimaté, Lahaba et Goumbidanda).

3. GÉOMORPHOLOGIE

En milieu semi-aride, la géomorphologie du paysage est importante pour caractériser la variabilité spatiale de la recharge de la nappe phréatique (Scanlon et al., 1999), et donc des ressources en eau souterraines d'une région.

La région de Tillabéri est peu accidentée. Elle présente l'aspect monotone d'une succession de plateaux latéritiques et de vallées ensablées, avec des dénivelés locaux qui n'excèdent pas 70 m. Les altitudes varient entre +140 m au Sud et au Sud-ouest et +450 m au Nord et Nord-est. Les points les plus bas se trouvent dans la vallée du fleuve Niger tandis qu'au Nord et au Nord-est, les plateaux qui dominent le relief ne dépassent que rarement +400 m d'altitude (Fig. 3). La morphologie générale de l'ouest du Niger, constitue en fait un plateau légèrement incliné du Nord vers le Sud et de l'Est vers l'Ouest, avec une altitude moyenne de 250 m. Ce plateau est largement incisé par le réseau hydrographique du fleuve Niger et de ses affluents actifs et inactifs, créant de nombreuses vallées sableuses. Cette morphologie est largement héritée des épisodes arides / humides qui se sont succédés au cours du Quaternaire (Favreau, 2000) : le Dallol Bosso et les koris régionaux majeurs sont des fossiles hydrographiques de périodes plus humides que l'actuel, tandis que les dunes fixées près de Niamey témoignent d'avancées du désert nettement plus au Sud qu'aujourd'hui. Dans la partie située à l'ouest du fleuve Niger, on note la présence du relief cristallin de Liptako, constitué de massifs cristallins affleurants, très souvent recouverts de sables.

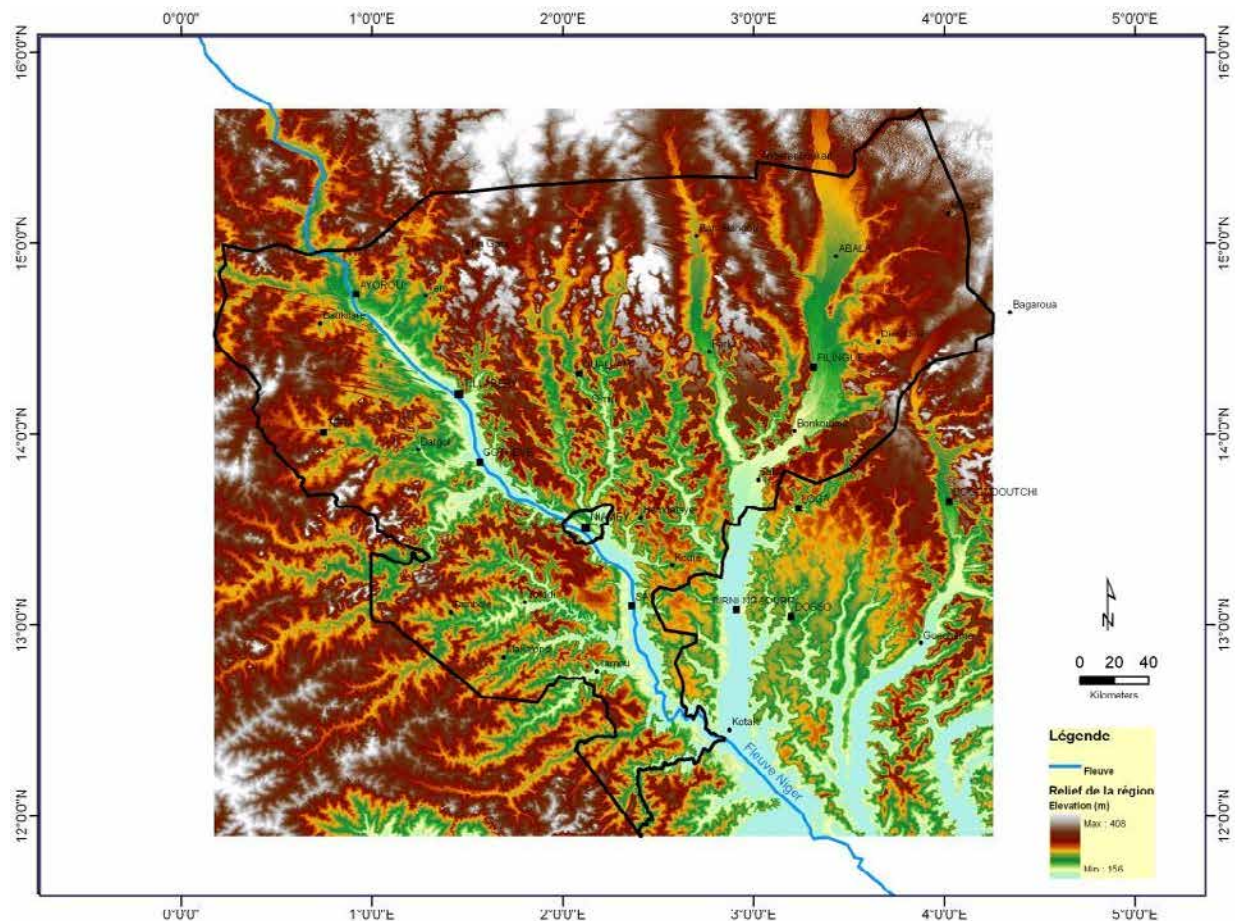


Figure 3 : Relief de la région (SRTM 90 m; <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>). L'enclave polygonale dans les limites de la région représente la Communauté Urbaine de Niamey.

L'essentiel de la superficie régionale présente un endoréisme marqué, c'est-à-dire sans écoulement effectif vers le fleuve Niger. Les eaux de pluie se concentrent par ruissellement dans des ravines

sableuses en direction de mares endoréiques temporaires, le plus souvent en position perchée par rapport à la nappe phréatique (Fig. 4).

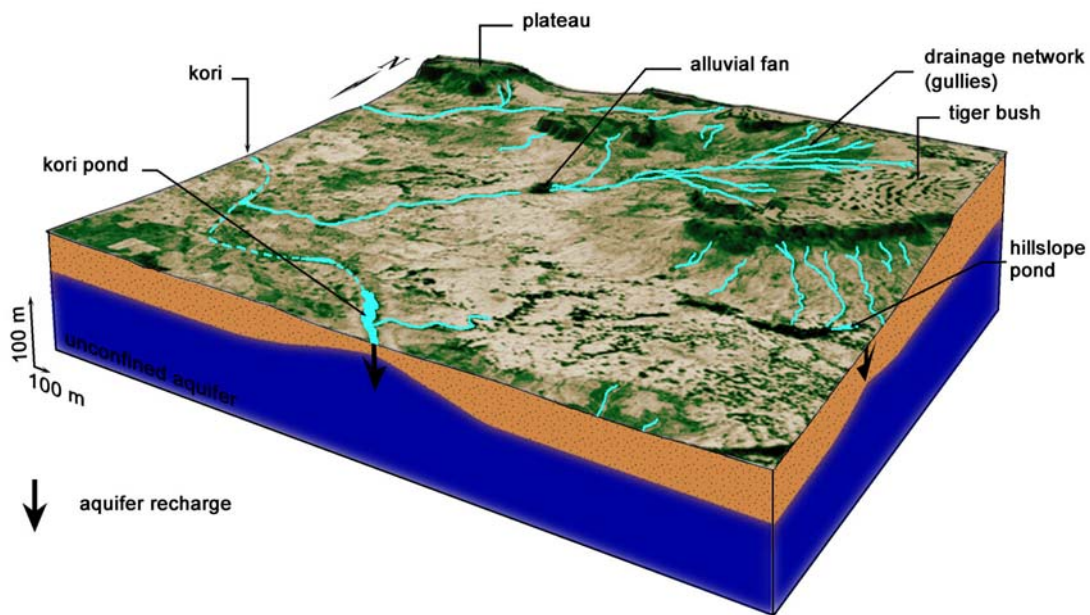


Figure 4 : Bloc diagramme représentant les flux surface-souterrain au centre de la région de Tillabéri (Continental Terminal, 50 km à l'E-NE de Niamey). Photographie aérienne de novembre 1992 en superposition (IGNN, Niamey, Niger ; d'après Massuel, 2005).

A noter que quelques mares pérennes, dont celle de Tinga au sud de Ouallam (cf annexe A-13.13), sont en partie soutenues dans leur niveau par des flux en provenance de l'aquifère libre du Continental Terminal. Ces mares pérennes sont toujours situées dans l'axe du Dallol Bosso ou dans le talweg des grands Koris (Kori de Ouallam, kori de Dantiandou). Leur existence est liée principalement à la hausse généralisée de l'aquifère sur les dernières décennies (Favreau et al., 2009).

SYNOPSIS - Ainsi présentée, la géomorphologie douce de la région de Tillabéri représente un atout certain pour la mise en valeur des terres par irrigation. En effet, l'endoréisme bien marqué favorise le maintien in situ des ressources en eau (augmentation de la recharge dans les bas fonds, concentration des écoulements vers des koris à lits bien marqués et des mares, soutien de certains plans d'eau par le trop plein de la nappe). D'un point de vue purement géomorphologique, les bas fonds, les terrasses du fleuve et les « lits » des koris constituent des zones potentiellement favorables à la mise en valeur. Toutefois, les pentes peuvent localement s'avérer importantes, de l'ordre de 1-3 %, autour de certains plans d'eau (exemple : mare de Tinga amont) rendant leur mise en valeur plus délicate. A cela s'ajoute la forte érodabilité des sols sableux, pouvant entamer à terme le potentiel en terre irrigable.

4. CLIMAT

Sur le plan climatique, la région de Tillabéri appartient à la bande tropicale sahélienne, caractérisée par une courte saison des pluies (~4 mois) suivie d'une longue saison sèche. Les précipitations, la température et l'évaporation sont les principaux paramètres qui caractérisent fondamentalement le climat de la région.

4.1 Précipitations

Malgré l'occurrence occasionnelle de pluies en saison sèche (seul le mois de décembre est strictement sec depuis 1905; DMN, com. pers.), l'essentiel des précipitations (90% du total pluviométrique) interviennent pendant 3 à 4 mois dans l'année, de juin à septembre, correspondant à la saison des pluies. Elles sont caractérisées par une forte variabilité temporelle et spatiale.

La variabilité temporelle des précipitations est effectivement assez forte dans la région. En effet 60% du total pluviométrique est relevé en juillet et en Août. A Tillabéri ville, l'écart-type est de 114 mm pour une pluviométrie interannuelle de 450 mm/an sur la période 1923-2008 (Fig. 5a). Les extrêmes annuels sur la même sont de 219 mm pour l'année 1987 et 746 mm pour l'année 1950. Cette disparité interannuelle est davantage liée au nombre de jours de pluie qu'à la magnitude de précipitations elles-mêmes (Le Barbé et Lebel, 1997 ; Damato et Lebel, 1998). Sur la même période, le nombre de jours de pluie à Tillabéri varie entre 18 et 63 jours pour une moyenne de 42 jours par an. Pour les ressources en eau souterraines, cela implique que même une année sèche peut significativement contribuer à la recharge des nappes à partir seulement de quelques événements pluvieux intenses. Les moyennes mobiles sur une longue chronique (Fig. 5) permettent de définir à l'échelle pluriannuelle des périodes sèches et des périodes humides qui se succèdent sans cycle apparent dans le prolongement d'une variabilité pluviométrique déjà connue sur les siècles précédents (Favreau, 2000).

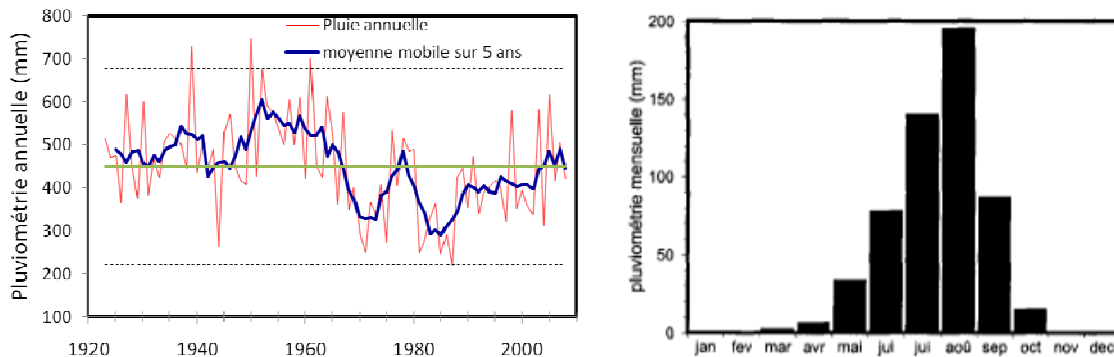


Figure 5 : Chronique des précipitations annuelles à Tillabéri sur la période 1923-2008 et répartition saisonnière des précipitations à Niamey (DMN, pers. com.).

La distribution saisonnière de la pluie est régie par le mouvement Sud-Nord de la zone de convergence intertropicale, matérialisée par le Front Intertropicale (FIT), qui est la zone de rencontre des masses d'air humide austral, la Mousson issue du Golfe de Guinée et des masses d'air chaud et sec septentrionales, l'Harmattan. Cet antagonisme est à l'origine des pluies dites convectives dans le Sahel, caractérisées par de fortes intensités et de courtes durées. En effet plus d'un tiers (1/3) des pluies à Niamey ont une intensité supérieure 50 mm/h et plus de 50% du cumul pluviométrique annuel tombe en moins de 5 h (Lebel et al., 1997).

Les précipitations moyennes interannuelles (Fig. 6) augmentent du Nord au Sud, passant de 250 mm/an dans le Nord de Filingué, à plus de 700 mm/an dans l'extrême Sud du Département de Say. A l'échelle locale également, Lebel et al. (1997) ont relevé en 1991 des différences annuelles atteignant 320 mm sur 27 km dans la région. Seul un cumul de plusieurs années permet de retrouver le gradient

pluviométrique croissant du nord au sud. Cette variabilité spatiale des précipitations est liée à leur l'origine convective.

Les observations pluviométriques réalisées notamment aux stations de Tillabéri et de Niamey montrent (Nazoumou, 2007b) :

- une tendance au glissement des isohyètes vers le sud ;
- une baisse importante de la pluviométrie au cours des 3 dernières décennies ;
- une rupture nette des séries pluviométriques, observée autour des années 1968-1972 avec l'année 1970 comme année charnière ;

Cette tendance à la baisse de la pluviométrie a été démontrée à l'échelle de tout le pays à partir de l'analyse des anomalies pluviométriques au niveau de 59 stations (DMN, pers. com.). Le déficit pluviométrique est en moyenne de l'ordre de 20% mais atteint des valeurs supérieures à 30 % dans certaines régions. Des études récentes menées dans toute la région ouest-africaine (Servat et al., 1998) attribuent en partie la baisse de la pluviométrie à la diminution du nombre d'événements pluvieux.

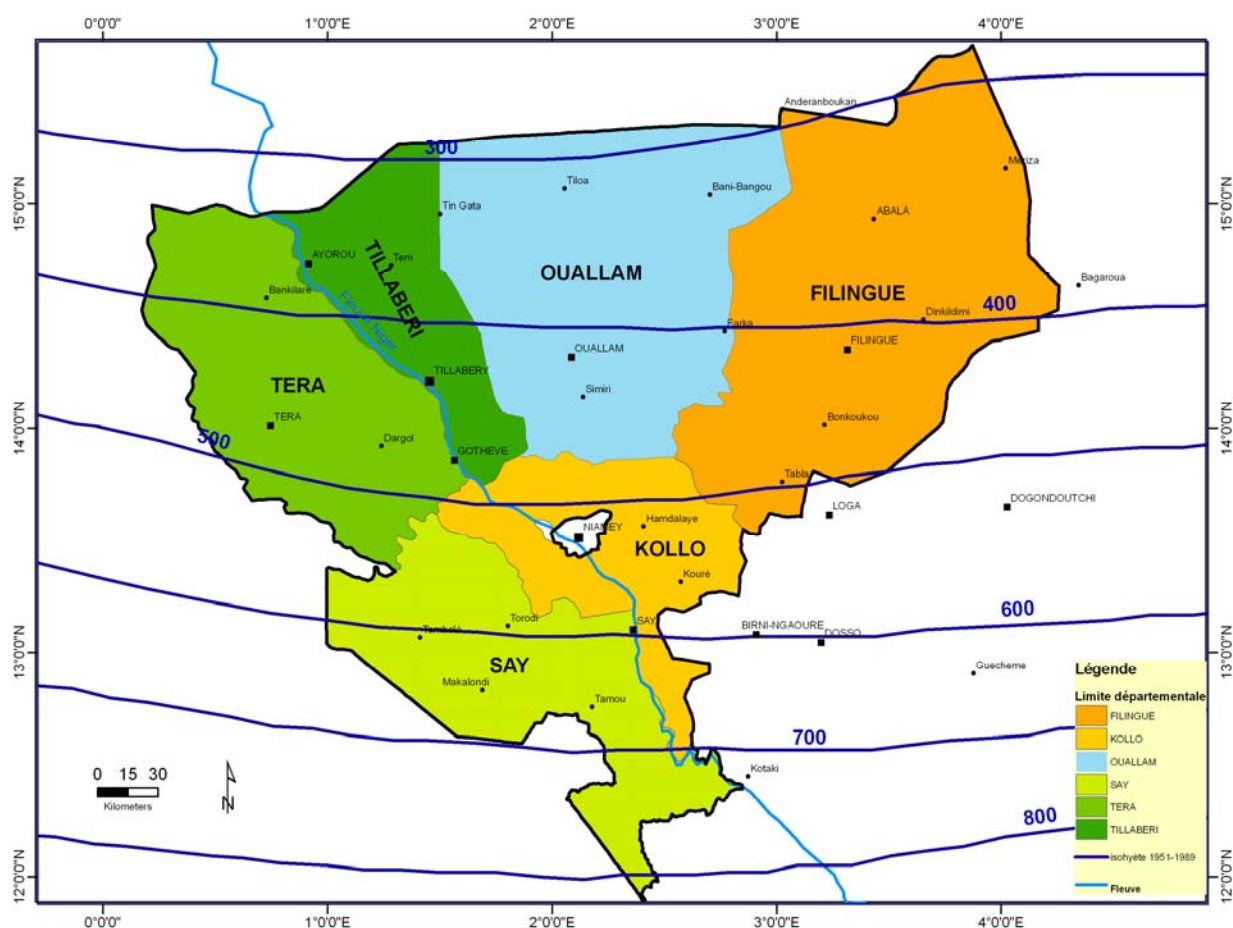


Figure 6 : Carte des isohyètes 1950-89 de la région de Tillabéri (d'après L'Hôte et Mahé, 1996, modifié).

4.2 Température, humidité, vent et évaporation

Les mesures effectuées par l'ICRISAT à Sadoré (30 km au sud de Niamey) entre 1982 et 1998 montrent que la température moyenne de l'air est de 29°C, avec des moyennes mensuelles peu

différenciées, de 24°C en janvier à 34°C en mai. Les moyennes extrêmes journalières sont de 18°C et 38°C, mais les températures peuvent varier entre 9°C (janvier) et 45°C (avril) en cours de journée.

L'humidité relative est liée à l'avancée du FIT. Elle est par conséquent plus contrastée, et présente des différences saisonnières encore plus marquées. En hivernage, la moyenne est de 69% (juin-septembre), contre 31% en saison sèche. Les moyennes mensuelles varient de 20% (février-mars) à plus de 7.5% (août), pour des extrêmes journaliers de 5% (avril) à 98% (août).

Les vents sont toujours faibles, en moyenne de 5,6 km/h et présentent peu de contrastes saisonniers ; les vents sont plus forts en février sous l'influence de l'harmattan (6,6 km/h), et en début de saison des pluies (mai et juin, 6,3 et 6,9 km/h). Les vents de début d'hivernage apportent plus de 50% des dépôts annuels de poussière (Drees et al., 1993) dans la région.

L'évaporation potentielle mesurée au "bac A" sur le même site de Sadoré varie selon la saison, en moyenne de 11,0 mm/j en mars-avril à 5,5 mm/j en août-septembre. Les cumuls annuels sont variables, entre 2500 et 3800 mm/an, pour une moyenne interannuelle de 2900 mm/an.

L'Evapotranspiration Potentielle (ETP) "Penman" mesurée à Banizoumbou sur la période 1991-1994 varie entre 2000 et 2900 mm/an, pour une moyenne interannuelle de 2500 mm/an (in Ehrmann, 1999). Lorsqu'ils sont comparés au total pluviométrique moyen annuel de 450 mm/an à Tillabéri, ces chiffres indiquent un fort déficit hydrique, de l'ordre de 2000 mm/an.

Ces paramètres climatiques, associés à une forte variabilité interannuelle, caractérisent un climat tropical à courte saison des pluies, typiquement semi-aride. On peut néanmoins distinguer deux types de climat dans la région :

- un climat sahélien au Nord avec des précipitations annuelles comprises entre 500 et 250 mm/an. L'hivernage est y relativement plus court (3,5 mois) et la température moyenne annuelle se situe vers les 30°C. L'évaporation potentielle est forte et peu dépasser les 2500 mm/an;
- un climat soudanien au Sud, où tombent des hauteurs de pluie annuelles pouvant atteindre 700 mm/an. La saison de pluie est relativement plus longue et les températures et l'évaporation potentielle sont moins élevées.

SYNOPSIS - Les caractéristiques climatiques semi-arides (déficit hydrique ~2000 mm/an) lié à une courte saison pluvieuse (3 à 5 mois), une forte variabilité spatio-temporelle des précipitations et une évapotranspiration importante rendent l'apport d'eau indispensable à la croissance des cultures de contre-saison. La forte insolation et les températures toujours > ~10°C sont réciproquement favorable aux cultures : il n'existe pas de mois défavorable à la culture irriguée en plein champ. Le développement de l'irrigation implique l'usage de ressources en eau mobilisables de nature pérenne (mares permanentes ou eau souterraine).

5. CONTEXTE HYDROLOGIQUE

5.1 Cours d'eau

Au plan hydrographique, la région de Tillabéri dispose du réseau hydrographique le plus actif et le plus dense du pays. Il est constitué du fleuve Niger, seul cours d'eau permanent du pays, et des ses affluents (Fig. 7). Les caractéristiques des bassins versants des principaux affluents actifs de la Rive droite sont résumées dans le Tableau 1.

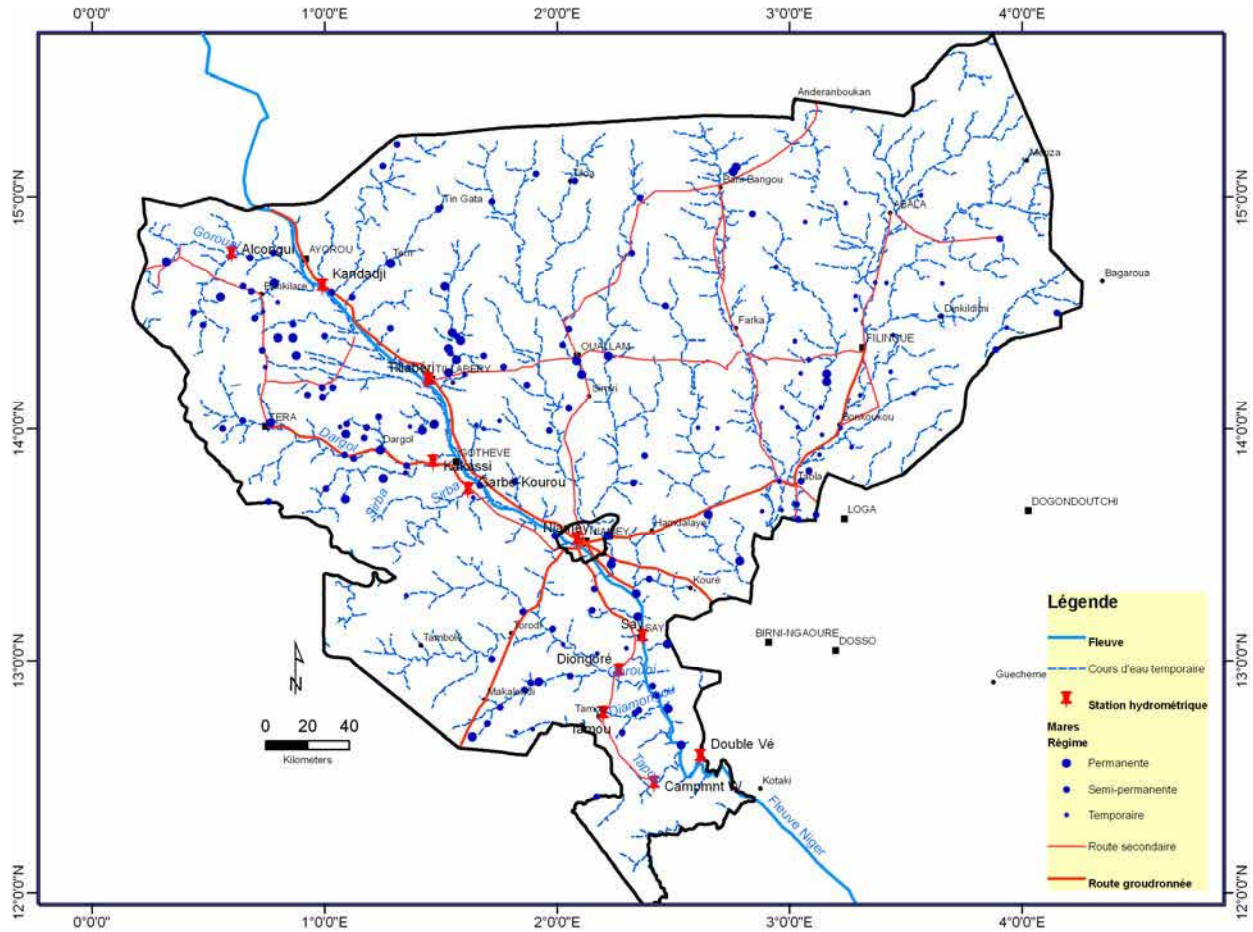


Figure 7 : Réseau hydrographique et stations hydrométriques de la région de Tillabéri.

Cours d'eau	Station hydrométrique	Superficie (km ²)	Long. réseau Tillabéri (km)
Gorouol	Alcongui	44 850	186
Dargol	Kakassi	6 940	142
Sirba	Garbé-Kourou	38 750	100
Goroubi	Diongore	15 500	210
Diamangou	Tamou	4 500	50
Tapoa	Parc du W	5 500	42

Tableau 1 : Caractéristiques des bassins versants des principaux affluents actifs de la Rive droite (MHE/LCD, com. pers.)

Le fleuve traverse la région de Tillabéri du Nord-Ouest au Sud-est sur environ 400 km. Au cours de son parcours, il reçoit de nombreux affluents. Sur la rive droite il s'agit successivement des rivières Gorouol, Dargol, Sirba, Goroubi, Diamangou et Tapoa. Leurs bassins versants débordent généralement les frontières nationales pour prendre leur source au Burkina-Faso. Le Tableau 1 ci-dessus présente quelques caractéristiques de leurs bassins versants. Tous ces affluents temporaires principaux sont actifs et drainent des volumes d'eau plus ou moins importants pendant la saison des pluies. Ils sont à l'origine de la crue dite « locale » du fleuve à Niamey, dont l'importance est grandissante dans les volumes des écoulements du fleuve à Niamey (eg., Mahé et al., 2003). Leurs

écoulements aux exutoires (avant la confluence avec le fleuve) sont mesurés respectivement aux stations hydrométriques d'Alcongui, Kakassi, Garbé-Gorou, Diongoré, Tamou et Campement du W. Jusqu'aux années 1970s, les données ont été collectées par l'IRD (ex-ORSTOM). Depuis, les stations sont gérées par la Direction des ressources en eau. Les données les plus fiables (niveau de confiance de 100%) sont celles des stations de Niamey, Alcongui, Kakassi, Garbé-Gorou et Campement du W. Les données des autres stations (Diongoré, Tamou, Barou) sont aussi d'une qualité acceptable (niveau de fiabilité de 80%). Toutefois, nombre de ces stations ne sont plus opérationnelles depuis quelques années en raison de notamment de (Nazoumou, 2007a) :

- l'insuffisance des moyens alloués par l'Etat à la collecte des données ;
- la vétusté très prononcée des équipements des stations et des brigades hydrologiques ;
- le retrait des partenaires techniques traditionnels (OMM, IRD, etc.) ;
- l'insuffisance du personnel technique qualifié.

En rive gauche, les principaux affluents du fleuve sont fossiles, sans écoulement continu même pendant la saison des pluies. Il s'agit du Kori de Ouallam (ou de Tondi Kiwindi), du dallol Bosso et son affluent principal, l'Azagaret, et dans une moindre mesure le dallol Maouri :

Le kori de Ouallam est issu de la confluence à la latitude de Simiri de deux branches provenant du Mali : le kori Faloufa à l'Ouest qui passe par la ville de Ouallam et le kori Arikiley à l'Est. Le kori de Ouallam rejoint le fleuve à N'Dounga à 25 km en aval de Niamey, après avoir reçu un dernier affluent de rive droite. Il présente localement des écoulements importants qui alimentent un chapelet de mares (e.g., Tinga, Sargan, Adamous) sans jamais atteindre le fleuve de manière continue. A son aval extrême, sur les derniers km, un écoulement atteignant le fleuve peut être saisonnièrement observé.

Le Dallol Bosso est une vallée fossile qui descend des régions de l'ouest et de l'Aïr où son cours adopte la direction générale du réseau (nord-est / sud-ouest) dans sa partie amont. C'est à partir de Baleyara qu'il devient nord-sud et le restera, à quelques sinuosités près (entre Tabla et Bonkougou), jusqu'à sa confluence avec le fleuve à Boumba, à environ 150 km au Sud de Baleyara. En rive droite, le dallol Bosso reçoit l'Azagaret qui prend naissance dans l'Adrar des Iforas et une direction Nord-sud à partir de Ménaka (Mali). Le lit du dallol Bosso présente de fortes variations de largeur et peut atteindre 20 km de large (Bonkougou-Talcho, Abala-Tiguézéfan). La dénivellation entre le fond de la vallée et les plateaux varie de quelques mètres à 70 m et la pente longitudinale moyenne est faible. La dernière période d'écoulement dans le dallol Bosso est située à l'optimum holocène, entre ~ 9000 et 7000 ans B.P. (Talbot, 1980).

Les vallées fossiles dont les cours d'eau sont inactifs aujourd'hui, constituent néanmoins des chapelets de mares permanentes et temporaires plus ou moins étendues qui constituent d'importantes réserves en eau de surface. La nappe phréatique est généralement peu profonde, et portée par des sédiments généralement plus grossiers et perméables que le matériau géologique adjacent (eg., Vouillamoz et al., 2008).

En plus des affluents principaux, de nombreux koris secondaires actifs (e.g., Boubon, Farié) drainent des quantités d'eau plus ou moins importantes vers le fleuve durant la saison des pluies. Ces koris secondaires montrent une intense érosion sur les dernières décennies (Fig. 8), en réponse à la diminution du couvert végétal sous l'effet du déboisement (Ibrahim, 2010). A distance du fleuve, une intensification de l'érosion et une augmentation de la densité de drainage sont également notées depuis les années 1970s dans la région de Tillabéri (Chinen, 1999 ; Leblanc et al., 2008), témoignant de la sensibilité des sols à l'érosion.

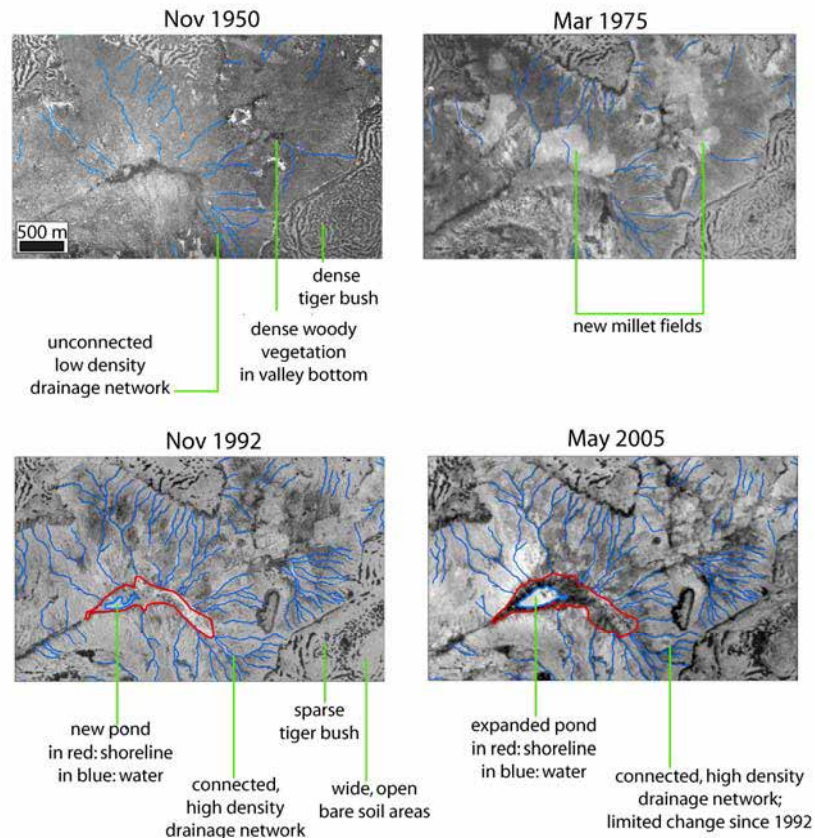


Figure 8 : Exemple d'évolution du réseau de drainage (en bleu) et de l'augmentation de la superficie d'une mare à ~40 km à l'E-SE de Ouallam, observées par télédétection (photographies aériennes IGNN, Niamey (1950-92) et image Spot, 2005). Noter également la forte diminution de la brousse tigrée arbustive sur les plateaux entre 1950 et 2005 (in Favreau et al., 2009).

5.2 Mares naturelles et artificielles

Les vallées fossiles et la morphologie de la région dominée par des plateaux et des vallées (bas-fond) sont à l'origine des nombreuses mares du fait de l'endoréisme des bassins. Ce sont des plans d'eau de quelques hectares à quelques centaines d'hectares, occupant les dépressions et liées au système des koris (cours d'eau intermittent). Selon le délai de tarissement après la saison des pluies, on distingue :

- les mares permanentes qui conservent l'eau toute l'année. Elles se forment dans les élargissements localisés de koris ou en contrebas des lits de rivières. Leur pérennité est assurée par l'alimentation en eaux de ruissellement pendant la saison pluvieuse et/ou par vidange des nappes phréatiques ;
- les mares semi-permanentes qui tarissent seulement en fin de saison sèche (décembre à juin). Elles se forment soit dans les koris, soit en contrebas des plateaux et leur alimentation est uniquement par les eaux de pluie ;
- les mares temporaires qui tarissent quelques mois ($\leq$ décembre) après la saison des pluies ; ces mares sont également alimentées par l'eau de ruissellement.

D'un point de vue de la mise en valeur agricole, seules les mares semi-permanentes et permanentes sont intéressantes. Les mares temporaires sont d'une importance limitée en raison de leur assèchement précoce par évaporation et infiltration. Elles servent néanmoins d'appoint pour la consommation humaine, pastorale et pour certaines cultures de décrue.

Il n'existe pas d'inventaire réellement fiable et exhaustif des mares de la région de Tillabéri. La première liste nationale dressée par la Direction des Ressources en Eau (DRE) en 1982 ne comptait que 182 mares (MHE, 1993). Un deuxième inventaire réalisé en 1987 a recensé dans la seule région de Tillabéri, 112 mares permanentes et semi-permanentes pour lesquelles des fiches signalétiques ont été établies. D'après le MHE (1999), la région de Tillabéri compterait près de 145 mares dont 51 permanentes (35%). A partir de 1994, les inventaires des mares sont inclus dans les inventaires des ressources hydrauliques (IRH) du Ministère en charge de l'eau. Les données sont gérées au sein de la base de données d'Inventaire des Ressources Hydrauliques IRH. Cependant, les derniers inventaires de la région de Tillabéri (MH, 2007a, 2007b) n'ont pas pris en compte les plans d'eau, ce qui exclut ces ressources de la base de données IRH dans son contenu actuel. Toutefois, en se basant sur l'inventaire généralisé de 1994-1995, on peut dénombrer dans la région 171 mares, dont 40 permanentes (23%) et 80 semi-permanentes (47%). Nous retiendrons dans cette étude ces derniers chiffres puisqu'ils nous semblent les plus complets disponibles actuellement sur la région. La liste exhaustive de ces plans d'eau est donnée en annexe. L'analyse de ces données montre que les plans d'eau sont inégalement répartis (Fig. 9) :

- Seulement 23 % des mares connues sont classées « permanentes » contre 46 % de semi-permanentes.
- le département de Téra est le densément loti en mares répertoriées, avec 40% des mares permanentes et semi-permanentes de la région. Il est suivi par les départements de Ouallam et de Kolo.
- le département de Filingué compte en revanche près de 60% des mares temporaires de la région contre seulement 10 % des mares semi-permanentes et permanentes.
- 66 % des mares de la région sont « temporaires » ;

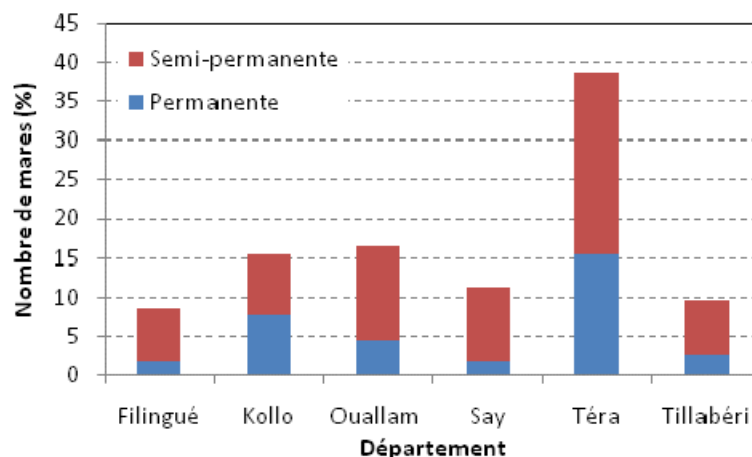


Figure 9 : Répartition des mares permanentes et semi-permanentes par département.

La difficulté d'inventaire fiable des mares provient de leur dynamique de tarissement, leur dispersion et de l'isolement géographique qui rend l'inventaire par les moyens conventionnels long et onéreux. A cela il faut ajouter le fait que certains de ces plans naturels sont d'origine récente (Fig. 10), d'où la nécessité de répétition des inventaires. La télédétection pourrait s'avérer comme une alternative simple, exhaustive, peu chère et rapide pour l'inventaire des mares dont le plan d'eau dépasse un hectare (Puech, 1992). Mais son application reste encore limitée et expérimentale. D'un point de vue technique, du fait de la fugacité de leur remplissage, et de la couverture nuageuse élevée au cours de la saison des pluies, les capteurs optiques des satellites et/ou aériens se révèlent peu adaptés à un inventaire précis. Leur dénombrement actuel représente donc une estimation par défaut de leur importance locale exacte, avec une dégradation potentiellement importante de l'information concernant les mares les plus petites et/ou à remplissage temporaire.

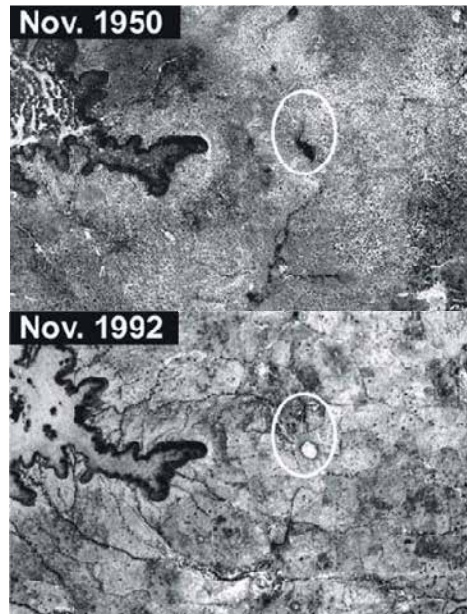


Figure 10 : Exemple de création d'une mare temporaire sous l'effet du déboisement : Kafina, département de Filingué (in Leblanc et al., 2008). Photographie aériennes au $\sim 1/50,000^e$, IGNN, Niamey, Niger. Enquête de terrain IRD, 2003.

A ces plans d'eau naturels s'ajoutent également plusieurs ouvrages artificiels déjà en service ou en projet (Kandadji, sur le fleuve Niger). Le Tableau 2 présente les différents barrages et mini-barrages recensés dans la région (source ME/E/LCD). Les retenues artificielles (barrages) permettent souvent une mobilisation (stockage) de ressources plus importantes.

Certaines mares naturelles ont été aménagées grâce à la réalisation de seuils ou de barrages, permettant ainsi d'accroître leur capacité de stockage et de retenir de l'eau toute l'année (e.g. mares de Mari, cf annexes).

Concernant leur usage, les eaux des mares naturelles et artificielles sont actuellement utilisées dans la région pour, et par ordre d'importance :

- L'abreuvement des animaux domestiques ;
- La satisfaction des besoins en eau domestique des populations riveraines ;
- Les cultures de décrue et d'irrigation à faible échelle (petite irrigation) ;
- La pêche artisanale dans le cas de mares empoissonnées.

SYNOPSIS - La région de Tillabéri dispose de ressources en eau de surface considérables en volume et en surface qui constituent un atout indéniable pour le développement des cultures irriguées. Ces ressources sont généralement de très bonne qualité chimique (alimentation dominante par le ruissellement). Les eaux de surface sont facilement mobilisables le long d'un réseau hydrographique dense (longueur cumulée > 1000 km). En outre, de nombreuses mares permanentes et semi-permanentes disposées en chapelet le long des axes des vallées, notamment dans les Départements de Téra, Kollo et Ouallam constituent des appoints capables de soutenir de petits périmètres irrigués villageois. Le déboisement des sols sur les dernières décennies a augmenté la répartition spatiale et le volume des eaux de surface disponible, via l'augmentation du ruissellement, du nombre de mares ou de l'augmentation des débits des affluents de la rive sud du Fleuve.

bassin	Rivière	Site	Type	Lat.	Long.	Date réalisation	Superficie aménagée	Capacité (Mm ³)
Niger	Dargol	Téra	barrage	14°01'	0°045'	ND	150+	211
Niger	Famalé	Them	barrage	14°43'	1°20'	ND	0 ^(*)	0,25
Niger	Tapoa	Camp chasse	barrage	12°28'	2°24'	ND	0 ^(**)	117
Niger	-	Bartchawel	Mini-barrage	ND	ND	2001	25	0,03
Niger	-	Aboka	Mini-barrage	ND	ND	2001	150	1,5
Niger	-	Bonkor	Mini-barrage	ND	ND	2001	50	1,5
Niger	-	Mari	Mini-barrage	ND	ND	2001	60	2,0
Niger	-	Gaigorou	Mini-barrage	ND	ND	2002	ND	0,13
Niger	-	Hamagorou	Mini-barrage	ND	ND	2002	13	0,03
Niger	-	Fanakoira	Mini-barrage	ND	ND	2002	25	ND
Niger	-	Kandoum	Mini-barrage	ND	ND	2002	40	2,0
Niger	-	Sanam	Mini-barrage	ND	ND	2001	150	1,5
Niger	-	Tchantchergou	Mini-barrage	ND	ND	2002	ND	0,3
Niger	-	Djébou	Mini-barrage	ND	ND	2003-2004	100	ND

Tableau 2 : Principaux barrages et mini-barrages de la région de Tillabéri (données SIGNER et division hydrologie du MH/E, pers. com).

6. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

6.1 Aperçu géologique

Sur le plan géologique, la région de Tillabéri se répartit entre la zone du socle cristallin du Liptako et la bordure ouest du bassin sédimentaire des Iullemeden (Fig. 11).

6.1.1 Socle cristallin du Liptako

Le socle du Liptako constitue la bordure nord-est du craton ouest africain. Dans la région de Tillabéri, le socle affleure essentiellement dans la partie située à l'ouest du fleuve, depuis sa rive droite jusqu'à la frontière avec le Burkina Faso. Sur la rive gauche, le socle n'affleure qu'à l'extrême nord-ouest de la région. Les connaissances géologiques sur le socle cristallin proviennent surtout des travaux de Machens (1973) puis de Pouclet et al. (1990) et de Pons et al. (1995).

Le socle est constitué de roches éruptives et métamorphiques, essentiellement de granites (plus de 65 % des affleurements), avec des intercalations et des filons de roches intermédiaires telles que les migmatites et les dolérites (Machens, 1973). Ces roches habituellement compactes sont fréquemment fissurées et altérées. Au Sud, le socle se présente sous forme de plateaux latéritiques entaillés par quelques vallées, tandis que vers le Nord, seuls quelques îlots restent encore visibles au milieu d'un recouvrement dunaire. La bordure est du socle est recouverte par des roches sédimentaires du bassin des Iullemeden (Continental Terminal), peu épaisses et de faible extension le long de la rive droite du fleuve, entre Namaro et Kirtachi.

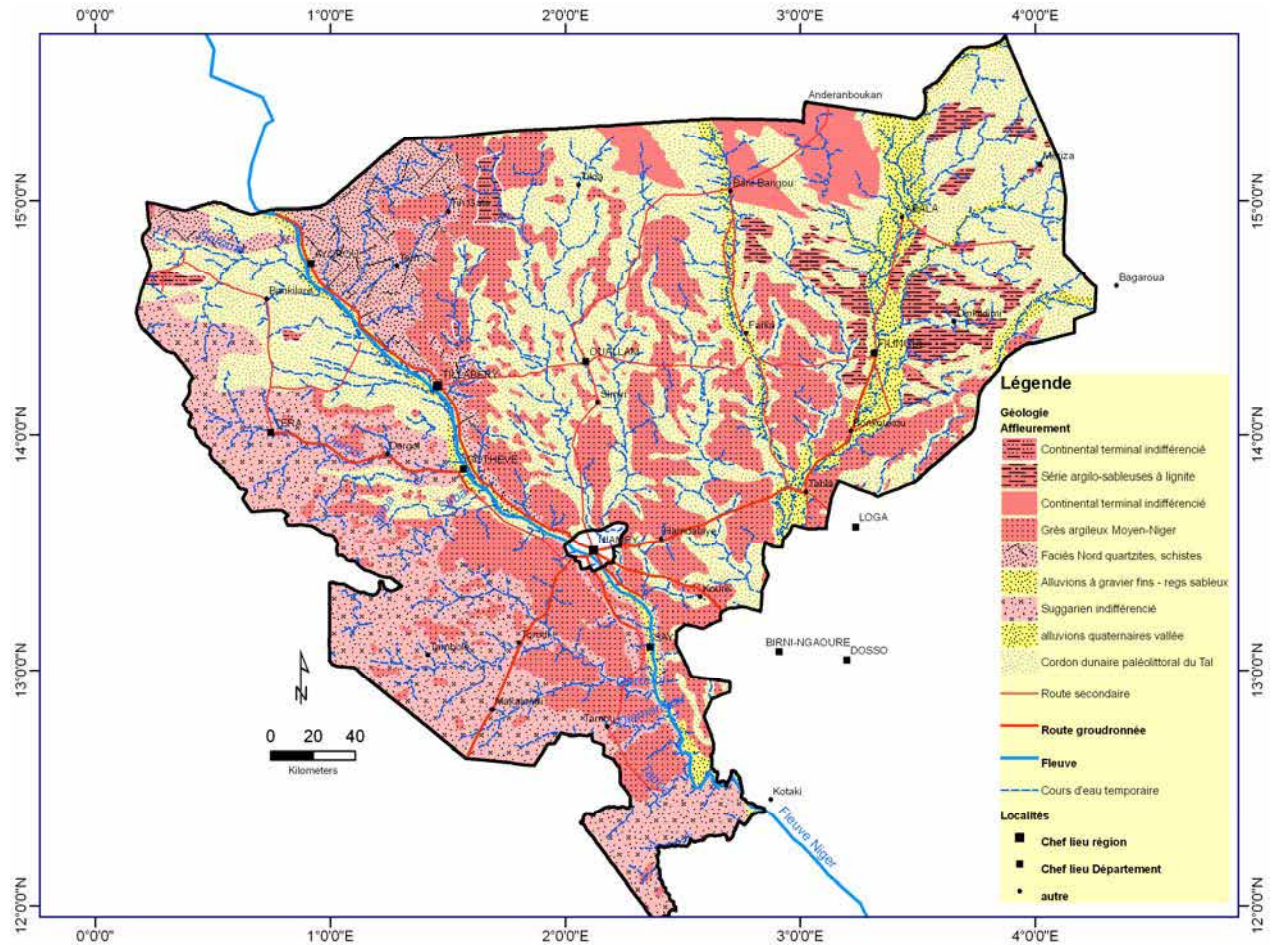


Figure 11 : Carte des affleurements géologiques de la région de Tillabéri. Fond géologique d'après Greigert et Pognet (1965).

Le socle est limité à l'Est par les recouvrements sédimentaires d'âge tertiaire du bassin des lullemmeden. D'un point de vue hydrogéologique, le socle du Liptako renferme des ressources en eau souterraine discontinues, localisée dans des altérites et/ou des fractures du socle. Le taux de renouvellement de ces aquifères d'extension limitée dans l'espace, estimé à partir d'outils de la géochimie isotopique (eg., Ousmane, 1988 ; Abdou Babaye, en cours) est très variable. Il peut localement être très sensible à la variabilité climatique (recharge annuelle irrégulière) et/ou aux pompages (faible réserve disponible, accroissement du renouvellement).

6.1.2 Bassin sédimentaire des lullemmeden

Le bassin sédimentaire des lullemmeden couvre une superficie ~500 000 km², répartie essentiellement entre le Niger, le Nigéria et le Mali. La partie nigérienne limitée à l'ouest par le fleuve Niger, s'étend sur près de 434 000 km² soit 34 % du territoire national (PNUD/NER/002 - SIGNER).

Dans la région de Tillabéri, le bassin des lullemmeden occupe presque toute la partie située à l'Est du fleuve, à l'exception d'un secteur limité de socle dans l'extrême nord-ouest entre Ayorou, d'Inates et Bibiyergou.

A l'état actuel des connaissances géologiques, on distingue trois formations sédimentaires renfermant des ressources en eau dans le bassin des lullemmeden de la région de Tillabéri. De la plus récente (située en surface) à la plus ancienne (profonde), il s'agit successivement de :

- Dépôts alluvionnaires récents du Quaternaire ;
- Continental Terminal (CT) ;
- Continental Intercalaire (CI).

Chacune de ces formations géologiques poreuses renferme une ou plusieurs nappes souterraines hydrauliquement continues.

Dépôts alluvionnaires du Quaternaire

Les dépôts alluvionnaires récents du Quaternaire sont constitués par :

- Les alluvions (galets, graviers, sables et argiles) qui comblent les vallées fossiles des dallols Bosso et Maouri ;
- Les sables éoliens (déposés par le vent) des dunes anciennes fixées et récentes, qui recouvrent indifféremment les formations plus anciennes sous-jacentes ;
- Les alluvions récentes des vallées du fleuve Niger et de ses affluents actifs principaux (le Gorouol, le Dargol, la Sirba, le Goroubi, le Diamangou et la Tapoa) et secondaires (kori Boubon, kori Farié, ... etc).

L'épaisseur des dépôts alluvionnaires, estimée par analyse des logs de forage, est très variable, de quelques mètres sur les affluents secondaires, à plus de 20 m dans le dallol Bosso.

Continental Terminal (CT)

Le Continental Terminal est constitué d'une succession de dépôts silico-clastiques (argiles et sables). L'étude des affleurements, des photographies aériennes et des coupes de forages a permis de distinguer trois (3) formations à l'intérieur du Continental Terminal (Greigert, 1966a), schématisée par la figure 12 :

- Le Continental Terminal 3 (CT3) qui affleure sur toute la partie de la région située à l'Est du fleuve, depuis sa rive gauche jusqu'à Filingué. Il s'agit d'une série de grès ocres, sablo-silteux à argileux dits du moyen-Niger, qui surmonte le socle cristallin vers l'ouest et dont les argiles grises du Continental Terminal 2 constituent le mur (base) vers l'Est. Le sommet de cette série est formé de plateaux gréseux à cuirasse latéritique, entaillés par l'érosion, et dont les reliques dominant encore le relief de la zone. L'épaisseur des sédiments du CT3 qui est quasi-nulle vers l'Ouest (biseautage), augmente progressivement vers l'Est pour atteindre 200 m à la limite de la région.
- Le Continental Terminal 2 (CT2) qui n'affleure qu'à l'extrême nord-est de la région (Nord Banibangou-Filingué). Il est constitué d'une série argilo-sableuse à lignite, formée d'alternances de niveaux argileux (argiles grises et argiles noires, avec parfois des oolithes ferrugineuses) et de séries sableuses (sables fins à moyens), caractérisée par la présence de débris végétaux et de lignite. Les argiles grises à lignites et oolithes représentent la partie argileuse du CT2 (Abdoulkarimou, 1988 ; Monfort, 1996). Leur épaisseur augmente d'Ouest en Est pour atteindre plus de 80 m au niveau du dallol Bosso (Favreau, 2000). La partie sableuse appelée « sables inférieurs » repose en discordance sur le socle vers l'Ouest sur une épaisseur de moins de 3 m, mais s'épaissit et s'enfonce progressivement vers l'Est pour atteindre une épaisseur de plus de 15 m sous les argiles grises.
- Le Continental Terminal 1 (CT1), une série sidérolithique caractérisée par l'abondance de niveaux à oolithes ferrugineuses. Il s'agit d'argiles ferruginisées, de vases noires à verdâtres et de sables fins souvent grésifiés. L'épaisseur maximale de cette formation est d'une centaine de mètres dans les forages de la zone nord du dallol Bosso. Vers l'Ouest, le CT1 n'existerait pas et est relayée par la série argilo-sableuse à lignites du CT2 (Favreau, 2000).

A l'ouest du fleuve, entre la latitude de Niamey et la vallée du Goroubi, le CT est représenté sous une couverture sableuse ou latéritique par des grès argileux du moyen Niger à la base et des niveaux oolithiques reposant sur le socle (Plote, 1961).

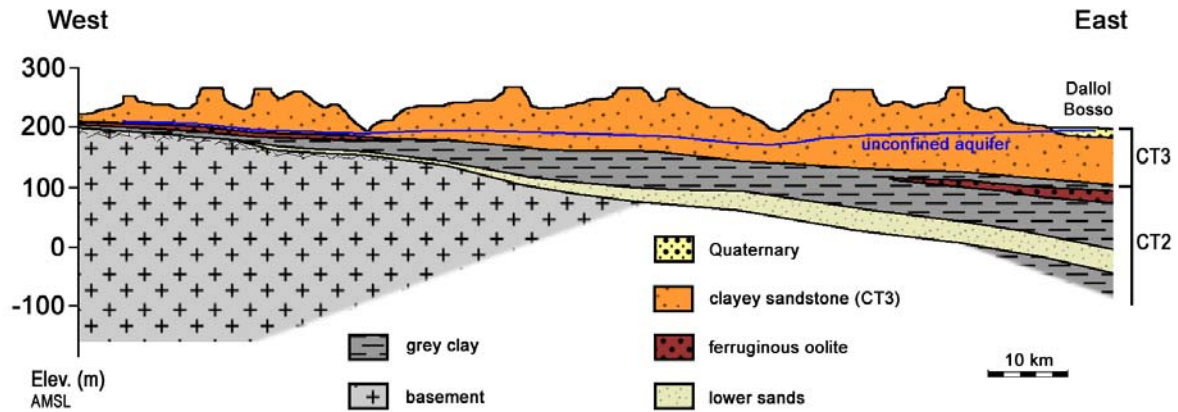


Figure 12 : Coupe géologique schématisée à 13°40'N à travers le degré-carré de Niamey (d'après Monfort, 1996 ; in Favreau, 2000). Noter l'épaississement des séries aquifères vers l'est de la région, ainsi que la faiblesse des réserves au contact du socle.

Continental intercalaire (CI)

Le complexe Continental Intercalaire (CI) est constitué de grès et sables plus ou moins argileux pouvant dépasser plusieurs centaines de mètres d'épaisseur dans certaines zones du bassin des lullemmeden (300 m à Doutchi). Aucun forage n'a encore atteint cette formation dans la région de Tillabéri. On suppose néanmoins que les grès du CI seraient présents sous la seconde moitié Est de la région de Tillabéri, à une profondeur variable mais qui augmente d'Ouest en Est (300 m sous le dallol Bosso à Gao Sabon Gari, 15 km au Sud de Filingué). Compte tenu du gradient géothermique régional, ces eaux, captives, sont probablement de température > 40 °C à la sortie du forage.

6.2 Hydrogéologie

Le contexte géologique de la région de Tillabéri permet d'identifier deux (2) grands ensembles aquifères dont le cours du fleuve constitue la ligne de démarcation approximative :

- Les nappes du socle cristallin du Liptako à l'ouest, contenues soit dans les roches de recouvrement (alluvions et les sables éoliens), soit dans la frange d'altération et dans les fissures des roches cristallines. Il s'agit surtout de nappes isolées ;
- Les nappes du bassin sédimentaire des lullemmeden dans la partie Est, localisées dans les alluvions des vallées et dans les formations du CT et du CI.

Du point de vue de la disponibilité et l'accessibilité des ressources en eau, les nappes de la région de Tillabéri peuvent être classées en :

- Nappes phréatiques, peu profondes, qui sont accessibles par les puits et les forages. On peut classer dans cette catégorie les nappes alluviales situées dans les vallées des dallols et des koris (actifs ou fossiles) et la nappe phréatique du CT3 ;
- Nappes profondes, accessibles uniquement par les forages. Dans la région, il s'agit des nappes d'altération et de fissuration des roches cristallines dans la zone du socle et surtout des nappes inférieures du CT dans la zone sédimentaire du bassin des lullemmeden.

6.2.1 Nappes alluviales

Les nappes alluviales ou nappes du Quaternaire sont renfermées dans les alluvions déposées par les cours d'eau encore actifs (notamment en zone de socle) et surtout fossiles, le dallol Bosso. Pour les besoins de la présente étude, nous distinguons les nappes alluviales des affluents actifs de la zone du socle et les nappes alluviales des vallées fossiles du dallol Bosso et du kori Ouallam.

Nappes alluviales dans la zone de socle

Dans la zone de socle, les nappes alluviales sont contenues dans les alluvions peu développées des vallées actives (nappes de talwegs) et des dépressions du socle à comblement sableux (nappes de fonds de mares). Leur extension latérale est donc limitée au lit de kori et au bas fond. L'épaisseur est réduite en fonction du recouvrement alluvionnaire parfois très faible voire même inexistant. Les nappes alluviales de la zone du socle sont donc potentiellement discontinues même au droit des cours d'eau qui les sous-tendent. Seules des études hydrogéologiques et géophysiques ponctuelles permettent d'en déduire les caractéristiques. Il n'existe pratiquement pas de données tangibles sur ces aquifères. Elles sont essentiellement alimentées indirectement par les infiltrations sporadiques des eaux de mares (notamment sur les berges) et des koris. A priori, seules les alluvions des vallées principales (Gorouol, Dargol, Sirba, Goroubi, Diamangou et Tapoa) sont susceptibles de contenir localement des ressources intéressantes.

Les travaux hydrogéologiques disponibles sont ceux ayant appliqué les techniques isotopiques afin de déterminer les processus et les taux de renouvellement des aquifères (Ousmane, 1985). Au Burkina, des travaux à base de méthodes hydrogéophysiques menés dans une région plus au nord-ouest (Vouillamoz et al., 2007) ont confirmé le caractère discontinu et peu transmissif des fractures aquifères. Signalons une thèse en cours à l'Université Abdou Moumouni de Niamey sur ce sujet, dans la région de Téra (Abdou Babaye M., en préparation).

aquifère alluviaux du Dallol Bosso

Les nappes alluviales du dallol Bosso sont situées dans les dépôts alluvionnaires du dallol et de son affluent principal rive droite, l'Azagaret.

Sur l'Azagaret, les alluvions ne sont pas très épaisses dans l'ensemble (15 m au maximum) et la nappe serait localement discontinue (Tirat, 1964). Des localités importantes comme Bani Bangou ou Soummat sont alimentées par cet aquifère. En revanche en aval à partir de Tondi Koadi, l'aquifère alluvial, bien que présent, reste peu productif.

Sur le lit principal du dallol Bosso, l'épaisseur des alluvions est mal connue mais à l'évidence très variable, allant de quelques mètres à plus de 20 mètres. Ces sédiments renferment une nappe phréatique (alluviale), hydrauliquement continue avec la nappe phréatique du Continental terminal. Elle est généralisée au Sud de la localité de Bonkougou, mais discontinue (localisée) au Nord entre Filingué et Abala où elle se réduit en des aquifères localisés, d'extensions plus limitées (Tirat, 1964). Plus au Nord, dans la région d'Abala-Hamba, la nappe redeviendrait continue.

Une ébauche de carte piézométrique (Tirat, 1964) de la nappe alluviale du dallol Bosso montre des écoulements Nord-Sud suivant l'axe de la vallée. La nappe est alimentée par le dense ruissellement des eaux drainées par le réseau hydrographique ravinatoire qui borde la vallée. Ces eaux s'accumulent souvent aux points bas des vallées ou au niveau d'une rupture de pente, où elles s'infiltrent (eg., Massuel et al., 2006). L'exutoire de la nappe est le fleuve Niger, notamment par un débordement donnant lieu à des écoulements de plus en plus importants à Boumba (obs. pers., sept. 2009).

6.2.2 Nappe phréatique du Continental Terminal

La nappe phréatique du Continental Terminal est localisée dans les grès argileux du CT3. Son mur imperméable est constitué par la couche supérieure d'argiles grises à lignite formant le toit du CT2. Au Nord de l'axe Bani Bangou-Abala, la nappe phréatique serait logée dans la série argilo-sableuse à lignite du CT2. A l'Ouest du fleuve en revanche, cette nappe est surtout portée par un niveau oolithique qui recouvre le socle dans sa bordure Est (Boeckh, 1965 ; Favreau 2000) et longe le fleuve entre Namaro et Kirtachi.

La nappe phréatique du CT3 est donc généralisée sur toute la partie de la région située à l'Est du fleuve, sauf dans l'extrême Nord-ouest (Communes rurales d'Inates, Bibiyergou, Anzourou et Ayorou). Dans cette zone en effet, Plote (1961) identifie un biseau-sec du CT (absence de nappe), mais qui

renferme localement des nappes isolées non négligeables dans le socle cristallin altéré, sous le recouvrement sédimentaire du Quaternaire et du Continental Terminal.

A l'ouest du fleuve, la nappe phréatique du CT est contenue soit dans les grès argileux du Moyen Niger, soit dans les niveaux à fer oolithique qui sont, grâce à leur faciès, les meilleurs aquifères (Leduc et al., 1997).

La nappe phréatique du CT3 est généralement à surface libre. Toutefois, des lentilles argileuses d'extensions variables peuvent s'intercaler localement et la mettre en charge ou favoriser la formation de nappes perchées très localisées (Greigert et Bernert, 1979).

L'unique carte piézométrique publiée de la nappe phréatique du CT3 au Niger est celle établie par Boeckh (1965), reprise quasiment sans modification par Greigert et Bernert (1979) et dont nous empruntons la forme générale dans la région de Tillabéri en figure 13. La comparaison de cette carte ancienne avec celle proposée par Leduc et al. (1997) sur le degré-carré de Niamey montre des différences de détails certes importantes, mais ne remet pas en cause le schéma général des écoulements (Favreau, 2000). La morphologie générale de la surface piézométrique est complexe. A l'exception des abords du dallol Bosso, le gradient hydraulique est très faible dans la région de Tillabéri : les charges les plus fortes sont au Nord et au Nord-ouest (+230 m). Les eaux souterraines s'écoulent d'Ouest Nord-ouest vers l'Est Sud-est, en direction du dallol Bosso. Au Sud, les eaux souterraines d'une bande étroite parallèle au fleuve sont drainées par ce dernier.

Le sens général des écoulements est souvent perturbé par des anomalies locales :

- Un dôme piézométrique sous le dallol Bosso au Sud de Filingué et au Sud-Est de Niamey (axe Hamdallaye-Kouré) ;
- Une dépression piézométrique à l'Est de Niamey (centrée autour de Wankama), au Nord et à l'Est de Filingué ;

Le dallol Bosso et le fleuve constituent donc les exutoires naturels de la nappe phréatique du CT dans la région.

L'analyse des teneurs isotopiques de la nappe phréatique en ^{18}O , ^2H , ^{14}C et ^3H montre que ses eaux sont modernes, ce qui traduit leur renouvellement actuel (Leduc et Taupin, 1997 ; Le Gal La Salle et al., 2001 ; Favreau et al., 2009). L'alimentation de la nappe est assurée par l'infiltration directe des eaux de pluie dans les zones d'affleurements perméables et surtout la vidange des plans d'eau (mares) dans les bas fonds des vallées, notamment dans le secteur du dallol Bosso et du kori Ouallam (Favreau, 2000 ; Guéro, 2003). Les taux de renouvellement annuels estimés (c'est-à-dire, volume infiltré en fonction des réserves existantes) sont de l'ordre de 0,01 à 0,1%, soit de l'ordre de la dizaine de mm/an. Dans une zone plus restreinte située entre le fleuve Niger et le dallol Bosso à la latitude de Niamey, la recharge annuelle estimée par une combinaison d'approches géochimique, hydrogéophysiques et hydrodynamique a permis d'estimer la recharge de la nappe phréatique de l'ordre de 25 mm/an sur les décennies 1990-2000 (Favreau et al., 2009).

En conséquence au déboisement intense observé depuis plusieurs décennies, les réserves de l'aquifère du Continental Terminal sont en augmentation depuis le début des années 1960s. Les niveaux piézométriques observés sont les plus hauts jamais mesurés (Leduc et al., 2001 ; Favreau et al., 2009). La figure 14 ci-dessous illustre ce phénomène, observé dans d'autres régions semi-arides du globe (eg., Allison et al., 1990, au SE de l'Australie ; Scanlon et al., 2005, au Texas).

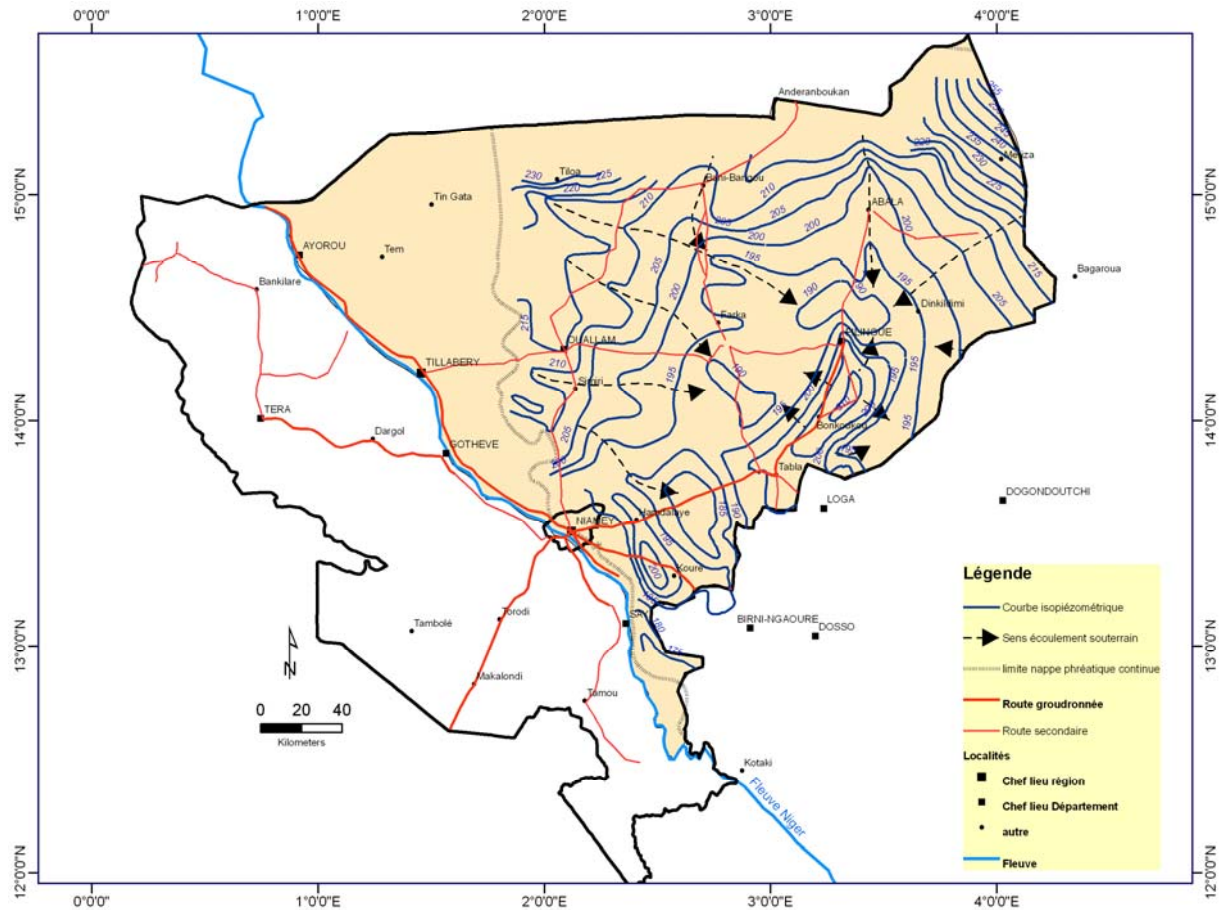


Figure 13 : Carte piézométrique de la nappe phréatique du Continental Terminal dans la région de Tillabéri (d'après Boeckh, 1965, modifié). Noter la présence du « biseau sec » sans continuité piézométrique clairement définissable au nord de Tillabéri.

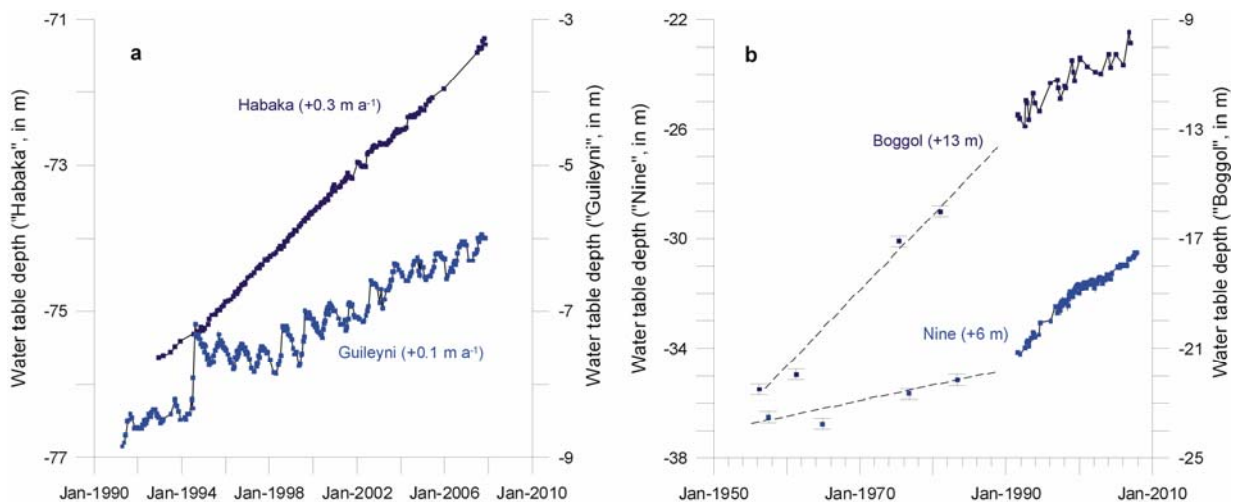


Figure 14 : Hausse piézométrique de la nappe phréatique du Continental terminal à l'est de Niamey, région de Tillabéri (d'après Favreau et al., 2009). L'augmentation des réserves à long terme (1950s-2000s) sous l'effet du déboisement induit localement que le niveau de la nappe phréatique dépasse le niveau du sol, créant localement des risque de salinisation des eaux et des sols par évaporation (notamment, départements de Ouallam et de Kollo).

6.2.3 Nappes profondes

Nappes profondes de la zone du Socle du Liptako

Les nappes "profondes" de la zone de socle sont contenues dans les niveaux d'altération des roches cristallines et dans les fissures. Ces nappes sont toutefois peu connues et exploitées à cause de leur extension limitée (poches d'altération et fissures) et de la profondeur relativement importante (supérieure à 10 m). Au Nord de Téra, la disponibilité des ressources en eau souterraine est encore plus limitée en raison :

- D'une pluviométrie plus faible ;
- D'un réseau hydrographique moins dense ;
- D'une couche d'altération du socle peu épaisse en général.

Toutefois, des nappes intéressantes peuvent être rencontrées dans les granites profondément altérés et fortement fissurés.

Nappes profondes du Continental Terminal

En plus de la nappe phréatique générale, le CT renferme deux nappes captives sous-jacentes (cf fig. 12): la nappe des oolithes et celle dite des « sables inférieurs » (CT2).

La nappe des sables inférieures est renfermée dans la partie sableuse dite « sables inférieurs » de la série argilo-sableuse à lignite du CT2. La reconnaissance de cette nappe dans la région de Tillabéri est relativement récente (années 1970s), alors qu'elle était connue dans le Sud-est du bassin des lullemeden depuis la fin des années 1950s grâce au forage de Matankari et surtout au Nigéria (région de Sokoto). Elle apparaît comme une déviation de la nappe phréatique avec laquelle elle se confond souvent (Greigert, 1968). Ce sont surtout les travaux d'implantations de nombreux forages depuis 1980, qui ont permis de déterminer ses caractéristiques. C'est un aquifère localement artésien, avec des niveaux piézométriques variant entre +230 et +205 m.

La nappe des oolithes est une nappe profonde captive portée par des niveaux oolithiques du CT2. Les données existantes sont rares en dehors de quelques rapports techniques. Cette nappe a été reconnue dans la région (à Kouré et Tioubi) dès le début des années 1960s (Greigert, 1968), mais elle n'a été connue réellement dans la région que suite aux travaux de Abdoukarimou (1988) et de Dehays/BRGM (1990). Au Sud-ouest, elle s'étend jusque dans la zone de Say où elle devient libre et souvent assimilée à la nappe phréatique du CT3. Dans le Nord et le Nord-est l'aquifère reste encore très mal connu.

La nappe des oolithes apparaît en charge par rapport à la nappe phréatique (Monfort, 1996) et le niveau piézométrique est à faible profondeur (38 m à Kouré, 34 m à Tioubi) et même artésien dans le dallol Bosso. L'écoulement global de la nappe s'oriente vers le fleuve en aval du W. Elle est alimentée surtout par la nappe phréatique à l'amont (Nord et Nord-est) suivant les discontinuités de bancs argileux plus ou moins étanches.

Nappes profondes du CI

Le Continental intercalaire contient un système aquifère multicouche, très peu connu dans la région de Tillabéri. Une nappe contenue dans les niveaux sableux et graveleux de la partie supérieure de la série de Tégama est identifiable dans la région du dallol Bosso. Son épaisseur est comprise entre 50 et 100 m. Elle est captive sous les argiles du Crétacé et du Paléocène, et même jaillissante dans la partie centrale du dallol. Mais sa mise en valeur nécessite de forages très profonds, que l'on peut estimer d'après les coupes géologiques de quelques centaines de mètres de profondeur.

SYNOPSIS - La région de Tillabéri dispose de ressources en eau souterraines inégales: à l'ouest du fleuve et au nord-ouest de Niamey, les eaux souterraines sont contenues dans des formations géologiques de socle de type granitique, et leur volume est réduit et les réserves discontinues (taux d'échec des forages de l'ordre de 50%). Plus à l'est, les eaux souterraines sont contenues dans des formations géologiques poreuses continues de sable fin du Continental Terminal, et leur volume est considérable.

La profondeur de la surface de la nappe est très variable : de plusieurs dizaines de mètres sous les plateaux, de quelques mètres sous les vallées. D'un point de vue énergétique, la sollicitation des eaux souterraines sera donc plus rentable dans les vallées.

Le taux de renouvellement des aquifères a augmenté ces dernières décennies en réponse au déboisement et le niveau de la nappe a cru de manière continue de plusieurs mètres depuis les années 1960s ; de ce fait, le niveau de la nappe dépasse celui du sol dans certains points topographiques bas du paysage et crée localement une salinisation superficielle des sols. Il est donc urgent d'augmenter le pompage des eaux pour conserver la généralement très bonne qualité chimique des eaux. Plus en profondeur, des nappes captives existent dans les limites du Continental Terminal (à l'Est de la région) et peuvent être sollicitées ponctuellement ; toutefois, ces eaux de température élevée sont fossiles et ne se renouvellent pas à l'échelle humaine.

7. RESSOURCES EN EAU DE SURFACE

7.1 Vallée du fleuve

Le fleuve et ses affluents - surtout de rive droite - charrient d'importantes quantités d'eau dans la région de Tillabéri. Le tableau 3 présente les caractéristiques des écoulements au niveau des principales stations de la région.

Rivière	Période	Stations	Débit max (m ³ /s)	Apport annuel (million m ³ /an)			
				Min	Max	Moyenne	Ecart-type
Fleuve	1944-2002	Niamey	2 340	12 948	41 793	27 153	7 792
Gorouol	1961-2000	Alcongui	311	155	991	364	167
Dargol	1960-1991	Kakassi	-	31	397	172	86
Sirba	1956-1990	G. Kourou	491	104	2 044	713	443
Goroubi	1964-1987	Diongoré	-	31	454	245	123
Diamangou	1963-1993	Tamou	-	1	237	80	64
Tapoa	1963-1995	Parc du W	-	0	159	35	36
Mékrou	1961-1977	Barou	410	195	1 977	841	431

Tableau 3 : Caractéristiques des écoulements des principaux cours d'eau (MH/E/LCD, pers. com.)

A Niamey, le volume des écoulements du fleuve est très variable d'une année à l'autre, entre 13 et 41 milliards de m³/an. Le module moyen annuel sur la période 1944-2002 est 27 milliards de m³/an, avec un écart-type avoisinant les 8 milliards de m³. Le régime du fleuve à Niamey est caractérisé par 2 crues principales :

- la "crue locale" survenant en août-septembre et qui résulte essentiellement des apports des principaux affluents droits en amont de Niamey (Gorouol, Dargol, Sirba).
- la "crue guinéenne" intervenant en décembre-janvier et qui marque l'arrivée des eaux provenant du bassin supérieur du fleuve (Guinée et Mali).

Les plus hautes eaux s'écoulent donc en décembre-janvier (crue médiane de 2000 m³/sec), tandis que les étiages ont lieu entre mai et juillet (étiage médian de 38 m³/s). En juillet 1974, le débit est descendu jusqu'à 0,4 m³/sec, et l'arrêt total des écoulements à Niamey a été observé pendant quelques jours en juin 1985.

L'analyse des données hydrométriques (Nazoumou, 2007b) montrent que les conséquences sur les écoulements, de la baisse de la pluviométrie observée depuis les 3 dernières décennies sont :

- une variation plus importante des débits moyens annuels, concomitante à celle de la pluviométrie à partir de 1970 pour la majeure partie des cours d'eau et notamment le fleuve;
- une baisse généralisée des écoulements des cours d'eau, plus importante que celle de la pluviométrie. Pour le fleuve, elle est en effet de 40 à 60% depuis le début des années 1970, contre 20 à 30% pour la pluviométrie à Niamey.

Elle montre également que :

- le débit de pointe de la crue guinéenne arrive de plus en plus tôt, de février-mars dans les années 50, à décembre-janvier ces dernières décennies ;
- le tarissement survient également de plus en plus tôt, le débit minimal enregistré jadis en juin-juillet, est mesuré dès le mois de mai durant la dernière décennie.

Au niveau des affluents, la densité du réseau hydrométrique ne permet pas une bonne évaluation des potentialités hydriques surtout à l'échelle des sous bassins. Les données disponibles sont celles des stations situées aux exutoires des bassins et ne permettent qu'une évaluation globale des ressources en eau de surface : les écoulements maximums sont observés au mois d'août et les tarissements interviennent dès la fin du mois de septembre. En dehors de la Mékrou dont la contribution dans les ressources en eau de la région de Tillabéri est amoindrie par sa position de cours d'eau frontalier en zone de réserve naturelle, l'apport moyen interannuel le plus important est celui de la Sirba avec 713 Mm³/an, suivi du Gorouol avec 364 Mm³/an et du Goroubi pour 245 Mm³/an (Fig. 15). Là également, la variabilité interannuelle est très importante (Fig. 15 à 23) car les écarts-types sont respectivement de 443, 167 et 123 Mm³/an. Cependant, la tendance à la baisse des écoulements observée au niveau du fleuve est moins évidente sur ses affluents droits. L'analyse montre en effet, qu'au cours de ces dernières décennies, la crue dite "locale" qui est un indicateur des écoulements des affluents de la rive droite à l'amont de Niamey, prend de plus en plus de l'ampleur au point même de dépasser la "crue guinéenne" en terme de débit de pointe (maximum). L'analyse de l'apparition et l'arrêt des écoulements sur la Sirba à Garbé-Kourou (Nazoumou, 2007b) montre que :

- le début des écoulements a été décalé dans le temps, de mai-juin à la fin des années 50, à juin-juillet au début des années 2000 ;
- le tarissement survient de plus en plus tôt, de décembre-janvier à la fin des années 50, à novembre-décembre au début des années 2000.

Comme le fleuve Niger, la Sirba présente donc un déplacement général de son régime d'écoulement, qui n'est pas sans conséquences sur la disponibilité des ressources.

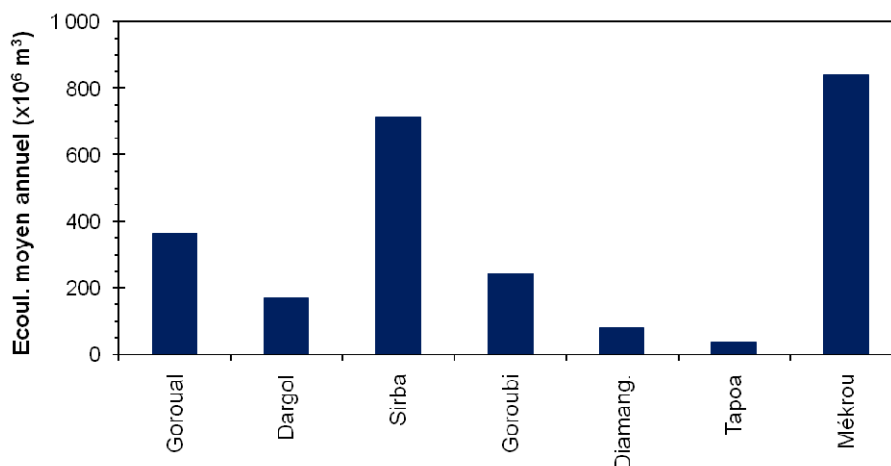


Figure 15 : Ecoulements moyens interannuels des affluents de rive droite du fleuve (périodes de calcul indiquées sur les fig. 16 à 23 ; base de données MH/E, pers. com.).

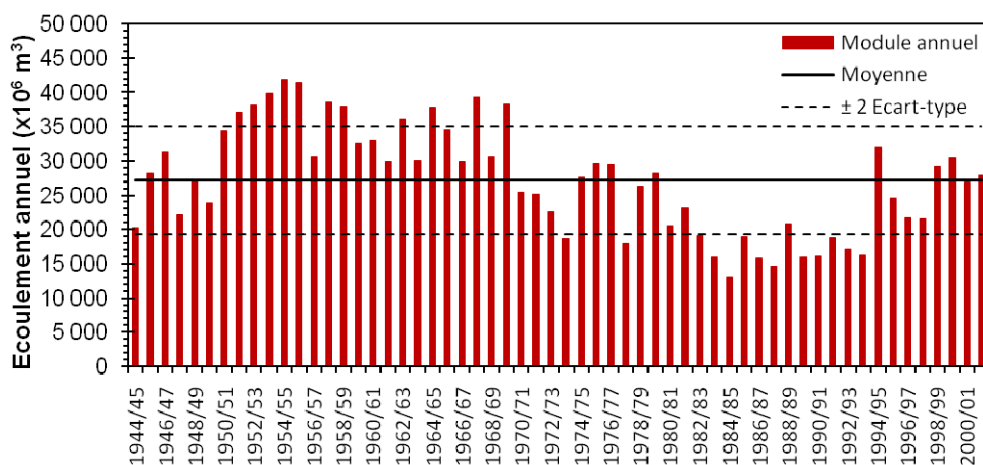


Figure 16 : Caractéristiques des écoulements du Fleuve à Niamey.

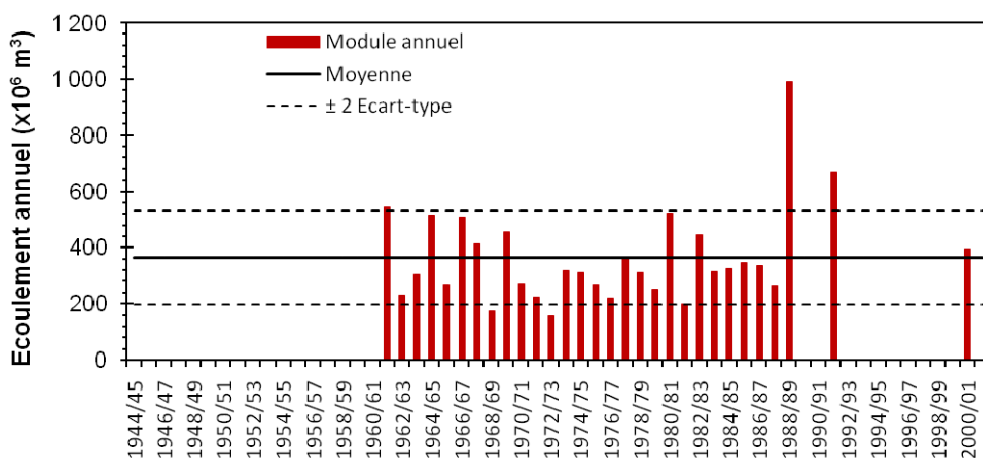


Figure 17 : Caractéristiques des écoulements du Goroual à Alcongui.

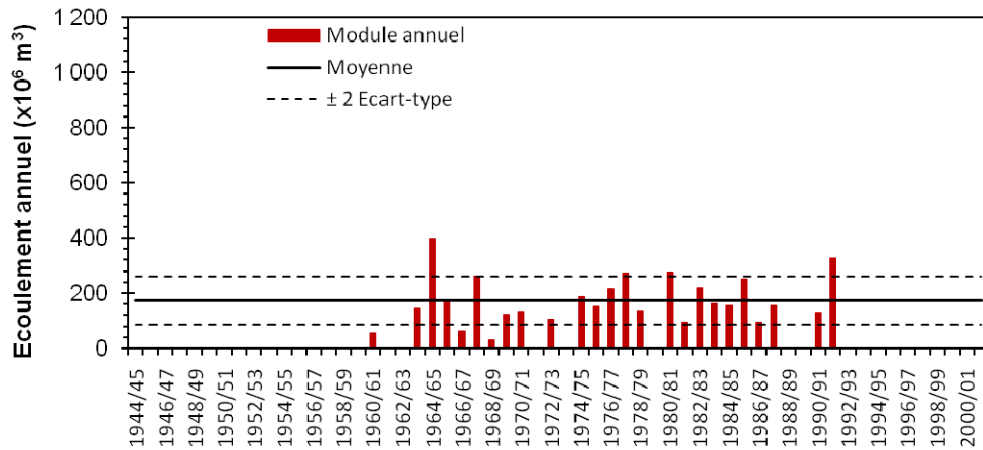


Figure 18 : Caractéristiques des écoulements du Dargol à Kakassi.

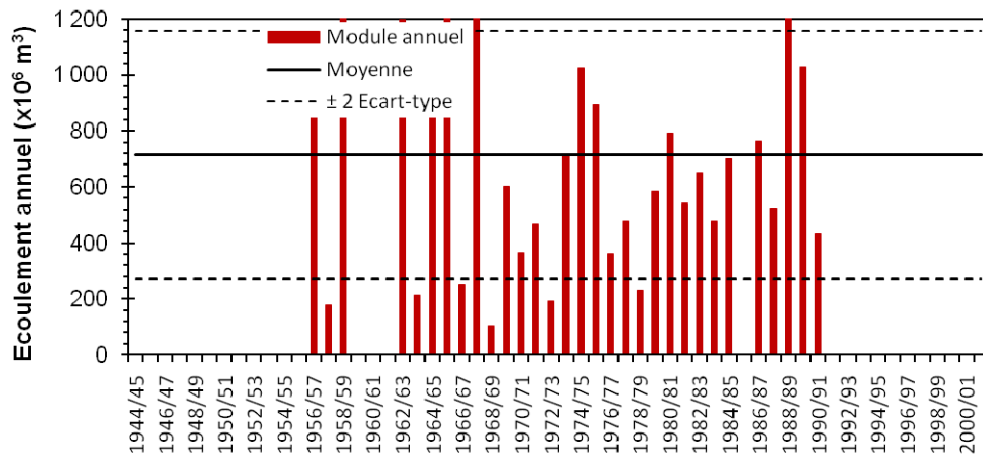


Figure 19 : Caractéristiques des écoulements de la Sirba à Garbé-Kourou.

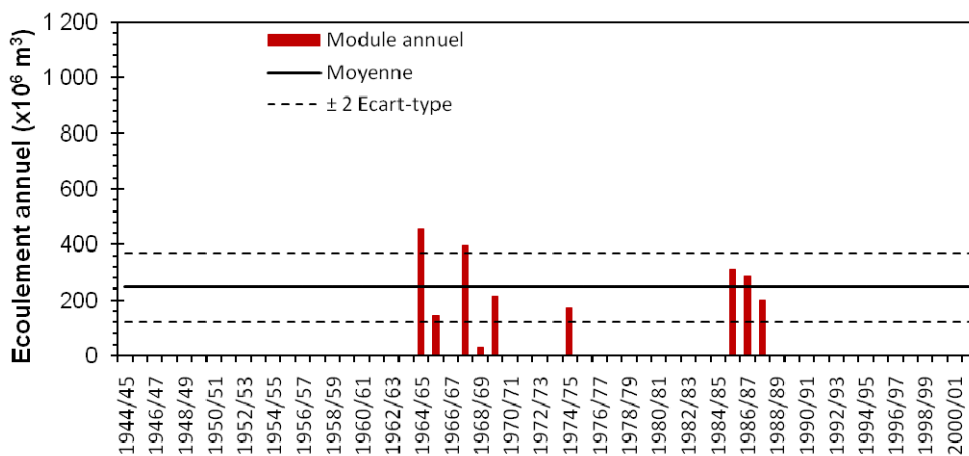


Figure 20 : Caractéristiques des écoulements du Goroubi à Diongoré.

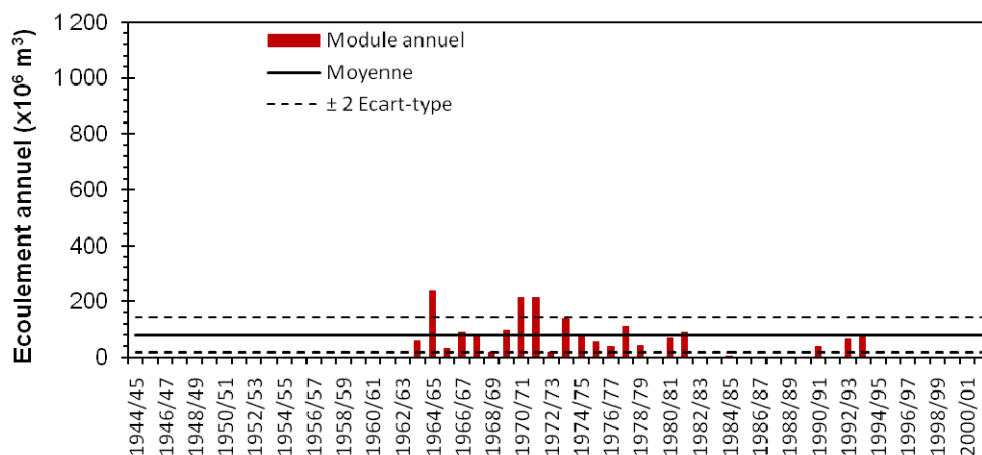


Figure 21 : Caractéristiques des écoulements du Diamangou à Tamou.

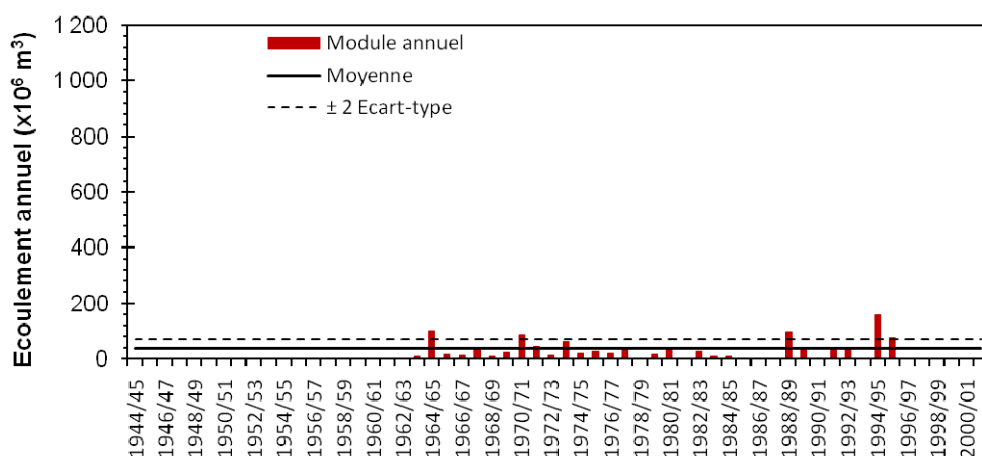


Figure 22 : Caractéristiques des écoulements de la Tapoa au Parc W.

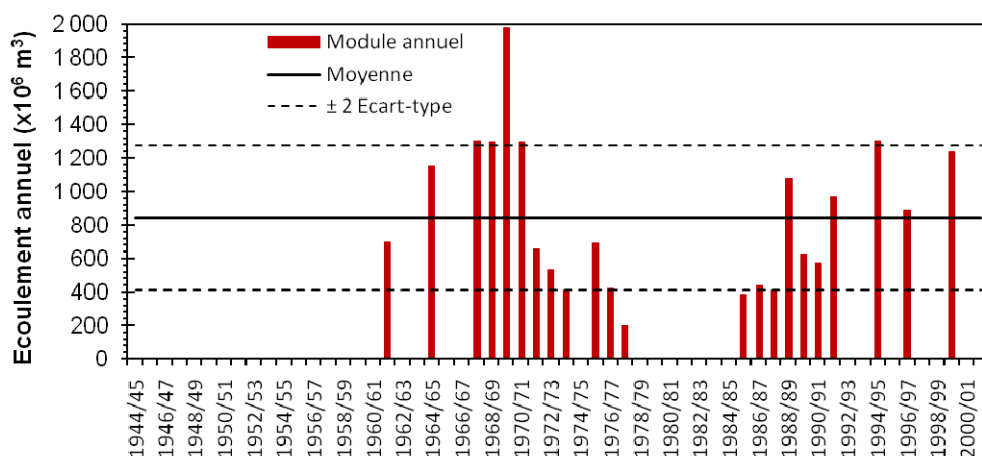


Figure 23 : Caractéristiques des écoulements de la Mékrou à Barou.

7.2 Mares naturelles et artificielles

Bien qu'on ne puisse pas établir de relation simple entre le total pluviométrique de la saison et le niveau de remplissage des mares, en raison notamment de relations non-linéaires entre pluviométrie et ruissellement (eg., Cappelaere et al., 2003), les ressources disponibles dans ces plans d'eau pour la saison sèche dépendent essentiellement de la nature de la saison pluvieuse. Dans la mesure où les modèles de ruissellement ne permettent pas encore de l'estimer indirectement à partir de la pluviométrie, la connaissance globale et statistique de la ressource disponible pour l'établissement des projets de mise en valeur des mares nécessite donc de disposer d'observations directes à la fin de chaque saison pluvieuse. Ces mesures doivent permettre d'estimer de manière fiable les variables du bilan en eau des mares à savoir (Fig. 24) :

- les prélèvements pour les cultures, l'élevage et la consommation domestique ;
- l'évaporation ;
- les échanges avec la nappe sous-jacente.
- les variations des réserves d'eau dans les mares (niveau en octobre – niveau en mars).

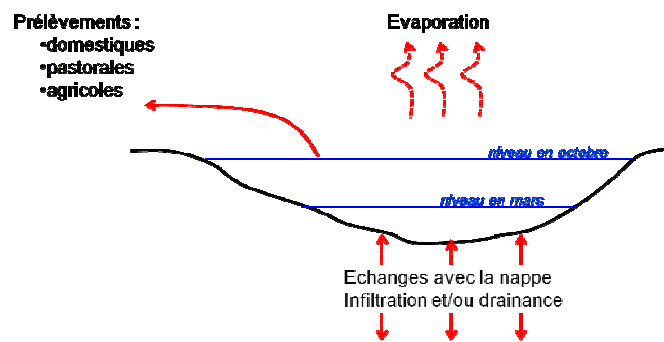


Figure 24 : Eléments de bilan d'une mare au Sahel nigérien.

Une étude menée par le CEMAGREF (Carette, 1991) sur une trentaine de mares pilotes de la région de Tillabéri a permis d'apprécier la faisabilité de l'application de la télédétection (photogrammétrie aérienne et spatiale) dans l'inventaire des mares et d'estimer les ordres de grandeurs des différents termes de leurs bilans. Nous reprenons ici les principales conclusions de cette étude :

L'évaporation est le paramètre le plus aisé à quantifier à partir des mesures faites au bac d'évaporation et des données météorologiques recueillies au niveau des stations proches des mares. Les valeurs les plus fiables (8% d'erreur) sont celles obtenus par application de la formule de Penman pour l'eau libre, avec des paramètres climatiques locaux. Les conditions de vents sur les sites peuvent induire des erreurs de 10 à 15 %. L'ordre de grandeur de l'évaporation est de 200 mm/mois soit 7 mm/jour en année moyenne, et l'incertitude est de 1 à 2 mm/jour (18 à 28%) selon les méthodes d'estimation utilisées.

Les prélèvements pour les consommations humaines et pastorales sont en général faibles devant les prélèvements agricoles, l'évaporation ou l'infiltration. Une estimation est néanmoins possible en appliquant aux effectifs (populations) obtenus par enquêtes ou recensements, des consommations normalisées relativement bien connues (ex. critères de la "Décennie internationale de l'eau potable et de l'assainissement" DIEPA). Quoiqu'il en soit, ils se chiffrent en fraction de mm/jour.

Pour les prélèvements agricoles actuels et futurs, une approche estimative peut-être réalisée à partir de l'identification des superficies cultivées actuelles ou projetées. Une évaluation sommaire dans les conditions actuelles d'exploitation donne un volume de 7 m³/ha/j pour la culture du niébé, soit 0,1 mm/j pour une mare de 100 ha, ce qui est quasi-négligeable.

Les variations des réserves d'eau des mares sont estimées à partir des observations de hauteurs ou de surfaces d'eau, et nécessitent l'établissement des courbes hauteur-volume (hauteur-surface) des mares. Celles-ci sont généralement obtenues :

- soit par les méthodes classiques de mesures bathymétriques ou topographiques, très longues et onéreuses, mais plus précises (erreur de l'ordre de 1%) ;
- soit par les méthodes utilisant les photographies aériennes, légèrement moins précises (erreur de l'ordre de 3%), mais qui nécessitent un balisage au sol donc un minimum de tournées de terrain ;
- soit enfin par la méthode qui utilise la télédétection satellitaire, la seule qui a l'avantage de ne nécessiter aucune tournée sur le terrain et de pouvoir permettre la mesure sur plusieurs mares si leurs surfaces individuelles dépassent 1 ha (Puech, 1992). L'estimation des hauteurs nécessite néanmoins une bonne connaissance de l'évaporation et l'assimilation de la courbe hauteur-surface à une expression moyenne, ce qui exclu les mares de relief particulier. La précision de cette méthode en volume et en surface est de 10 à 30%.

L'évaluation des échanges avec les nappes sous-jacentes nécessite des études hydrogéologiques spécifiques sur chaque site, difficiles à réaliser sur l'ensemble des plans d'eau de la région. Néanmoins, les valeurs de ces échanges peuvent être obtenues indirectement à partir des autres termes de bilan. Certaines mares permanentes drainent la nappe, c'est le cas de certaines mares des vallées fossiles (eg, pro parte, Tinga) tandis que d'autres, beaucoup plus nombreuses, se vidangent par infiltration vers les nappes qu'elles rechargent (Fig. 25). Toutefois, en raison du colmatage progressif des fonds de ces mares, la dynamique de vidange est de plus en plus lente au cours d'un événement pluvieux (où une première phase de vidange rapide est suivie d'une seconde, beaucoup plus lente), ainsi qu'à l'échelle interannuelle (Martin-Rosales et Leduc, 2003). Sur la trentaine de mares étudiées par le CEMAGREF, pour 80 % d'entre elles l'infiltration est faible et difficile à estimer et dans tous les cas inférieure à l'incertitude sur l'évaporation (1 à 2 mm/j). Pour les 20 % restants, l'infiltration peut atteindre 3 mm/j tant que les eaux des mares sont en contact avec des zones non colmatées (arbres vivants, berges, zones de débordements occasionnels) ; en saison sèche, l'infiltration est donc faible devant l'évaporation. Pour les mares peu colmatées (présence d'arbres vivants sur les berges) ou avec un débordement occasionnel important après de fortes crues, où de manière cumulée sur l'année, l'infiltration peut atteindre 80 voire 90% du volume perdu par la mare (Martin-Rosales et Leduc, 2003 ; Favreau et al., 2009).

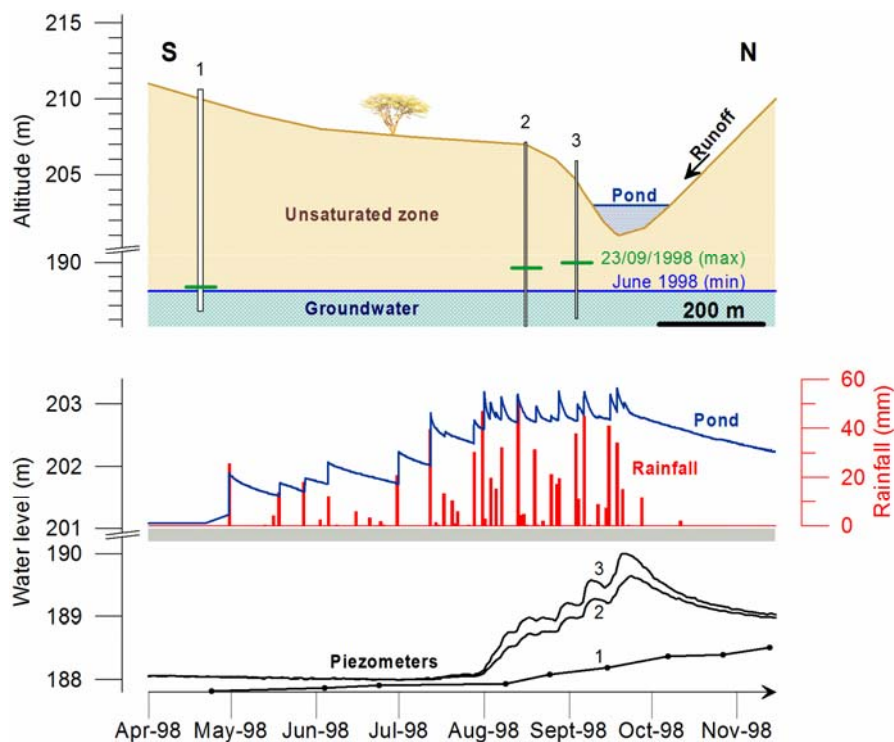


Figure 25 : Exemple de relation entre pluviométrie, dynamique du niveau de mare semi-permanente et recharge de l'aquifère : Banizoumbou, département de Kollo. Les suivis hydrologiques permettent d'évaluer dans le temps la ressource disponible. Noter l'importance de l'infiltration de l'eau accumulée dans la mare pour la recharge de l'aquifère.

Dans les conditions actuelles de mise en valeur des mares tous les termes du bilan peuvent être négligés devant l'évaporation en période post-hivernage (novembre-mai).

Même si l'inventaire global permet de conclure à l'intérêt de la mise en valeur, celle-ci n'en conserve pas moins un caractère partiellement aléatoire du fait de l'irrégularité des précipitations d'une part, et du fait que progressivement certains plans naturels peuvent disparaître (ensablement, aménagement à l'aval) et d'autres se créer. Ces particularités sont sensibles pour les plus petites superficies. Pour celles-ci, un dispositif annuel de suivi est donc nécessaire pour évaluer chaque année, globalement et mare par mare, les volumes exploitables et pour suivre l'évolution de l'ensemble de la ressource.

De façon générale, les contraintes liées à la mise en valeur des eaux de surface sont :

- grande variabilité spatiale et temporelles des précipitations et donc des écoulements et des plans d'eau. La zone du Liptako est la plus fournie en plans et cours d'eau actifs;
- caractère temporaire des écoulements qui n'ont lieu que durant 3 à 4 mois dans l'année;
- absence de données de suivis quantitatifs et qualitatifs des cours et plans d'eau par les instances régionales;
- risque d'ensablement des mares entraînant à terme leur disparition, ainsi que des cours d'eau ;
- pertes importantes par évaporation ;
- caractère transfrontalier du fleuve et de ses affluents actifs principaux.

8. RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE

Les ressources en eau souterraine d'une région sont constituées de :

- Ressources renouvelables liées aux écoulements annuels dont la recharge (alimentation), et qui sont assimilées à un flux ;
- Ressources non renouvelables liées aux réserves, et qui sont identiques à un stock.

Cette définition des ressources en eau souterraines est complétée par le "taux moyen de renouvellement" de la ressource qui est le rapport du flux (ressources renouvelables) au stock (ressources non renouvelables). Les aquifères à fort taux de renouvellement sont donc les aquifères d'extension limitée par rapport à l'alimentation, c'est-à-dire les aquifères alluviaux (dallol Bosso, kori Ouallam, affluents droits du fleuve) et les aquifères discontinus du socle. Malgré sa recharge non négligeable en moyenne, la nappe phréatique du Continental terminal a un taux de renouvellement faible du fait de son extension importante, mais aussi de ses réserves relativement conséquentes.

Parallèlement, la notion de "ressources utilisables" implique la connaissance des variables d'état liées à l'aquifère (profondeur de la nappe, niveau piézométrique, débit des ouvrages, etc.) et des critères économiques et techniques définis par les besoins.

L'évaluation précise des ressources en eau souterraines nécessite une bonne connaissance des caractéristiques hydrogéologiques des aquifères (toit, mur, épaisseur, porosité, recharge, vidange). Or, les données fiables actuellement disponibles sont insuffisantes et ne couvrent encore que des portions limitées des systèmes hydrogéologiques. A cela il faut ajouter la forte variabilité spatiale et temporelle des paramètres, aussi bien dans la zone fracturée et/ou altérée du socle du Liptako que dans la zone du bassin sédimentaire des lullemeden. Toutefois, et dans l'optique d'une mise en valeur à des fins agricoles, les potentialités de ressources en eau souterraines de la région de Tillabéri peuvent être évaluées à partir des cartes de profondeurs, débits et qualité des eaux des nappes :

Les profondeurs des nappes déterminent celles minimales des ouvrages de captage (puits ou forages) à réaliser pour accéder à la ressource. C'est un des paramètres essentiels dans l'évaluation des "ressources utilisables", qui prend en compte les coûts de mobilisation de la ressource. Aux profondeurs de nappes, on associe généralement les hauteurs de pompage, déterminées par les charges ou pressions des nappes, caractérisées par les positions des niveaux piézométriques.

Les débits ou productivités des aquifères sont exprimés par les débits spécifiques ($\text{m}^3/\text{heure}/\text{mètre}$, $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$), c'est-à-dire les débits dans les puits ou forages rapportés aux hauteurs de rabattements (baisse de niveau des nappes dans les ouvrages pompés). Ils sont surtout fonctions de la nature des roches renfermant les aquifères (porosité effective des roches sédimentaires, et inter-connectivité des fissures dans les roches fracturées de la zone du socle), et expriment la capacité de production des nappes à travers les ouvrages de captage.

La qualité des ressources en eau des nappes, enfin, est un paramètre déterminant dans tout projet de mise en valeur. Elle détermine l'aptitude des eaux aux usages (domestiques, agricoles, pastorales, industriels), déterminée par des "normes" (normes de potabilité, agricole, etc). En matière d'irrigation, elle influence notamment le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. La qualité d'une eau souterraine est exprimée par sa salinité (teneur en sels dissous), c'est-à-dire en matières minérales dissoutes, exprimée en concentration par unité de volume (milligramme/litre, mg/l). La salinité peut aussi être appréciée à partir de la conductivité électrique, qui dépend de la charge ionique et du faciès chimique des eaux. Le faciès géochimique permet de déterminer les matières minérales prépondérantes en solution, qui sont à l'origine de la salinité.

8.1 Nappes alluviales

8.1.1 Nappes alluviales des affluents actifs de la zone de socle

Les nappes alluviales jouent un rôle très important dans les ressources en eau de la région de Tillabéri du fait d'une part de leur abondance et de leur facilité d'accès, et d'autre part de leur communication hydraulique, au moins à certains endroits, avec la nappe phréatique du CT dans le bassin des Iullemmeden. Ces nappes sont en général peu profondes, peu épaisses et dépendent directement de l'alimentation par les crues durant la saison des pluies. En effet une année pluviométrique déficitaire implique une recharge faible, et peut conduire à un épuisement des ressources d'une nappe normalement exploitable.

8.1.2 Nappes alluviales des vallées fossiles du dallol Bosso et du kori de Ouallam

Sur l'Azgaret, la profondeur de la nappe alluviale du dallol varie entre 3 et 10 m : en amont, dans la zone de Banibangou et Soummat, elle est captée entre 3,5 et 6,5 m ; avec des débits acceptables, de quelques $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$. En revanche, en aval de Tondi Koada elle devient peu productive (trop faibles débits), d'où la nécessité de capter en sus la nappe phréatique générale sous-jacente.

Sur le lit principal du dallol Bosso, la nappe alluviale se rencontre à une profondeur variant de zéro (mare permanente correspondant à un affleurement de la nappe) à 20 m. Au Nord, dans la région d'Abala-Hamba, elle est plus ou moins continue et se situe à des profondeurs allant de 8 à 20 m. Entre Hamba et Filingué, la nappe alluviale pouvant se révéler très productive peut être captée à des profondeurs allant de 9 à 15 m. Entre Filingué et Fandara (Bonkougou), la nappe est entre 15 et 20 m de profondeur. Au Sud, à partir de Baléyara jusqu'à vers la confluence avec le fleuve, la nappe se situe entre 0 et 5 m de profondeur.

La salinité des eaux de la nappe alluviale du dallol Bosso est comprise entre 500 et 1000 mg/l . Les faciès sont bicarbonatés calciques ou sodiques, avec des teneurs en nitrates. Les débits spécifiques des ouvrages sont très variables et peuvent atteindre 15 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$.

Malgré la facilité d'accès à ces ressources peu profondes et d'assez bonne qualité, leur mise en valeur se heurte aux contraintes suivantes :

- vulnérabilité à la pollution du fait de leur faible profondeur et la pression anthropique ;
- sensibilité au déficit pluviométrique car la recharge est tributaire de la pluviométrie et des écoulements des cours d'eau ;
- salinité des eaux localement importante du fait de l'évaporation notamment dans les dépressions topographiques ;

8.2 Nappe phréatique du Continental Terminal

La profondeur de la nappe phréatique du Continental terminal dans la région de Tillabéri est très irrégulière à cause de la topographie marquée par des successions vallée-plateau. Elle peut varier de deux ordres de grandeur, selon que l'ouvrage se situe sur le plateau, en tête de koris ou dans leur partie aval, sur le flanc des vallées ou à proximité de leurs axes. En outre, la présence de nappes perchées peut introduire des profondeurs parfois plus faibles. De même, un artésianisme lié à la présence de lentilles sableuses intercalées dans la série aquifère peut engendrer des profondeurs de nappes de quelques mètres plus importantes. Au delà de ces particularités, on peut identifier un certain nombre de faits généraux dans la profondeur de la nappe phréatique générale du Continental Terminal (Fig. 26) :

- dans la zone comprise entre le dallol Bosso et la limite ouest du bassin sédimentaire, une multitude de koris découpent la surface du Continental terminal. En tête du réseau hydrographique au Nord, la nappe phréatique est à 40 à 60 m de profondeur, et peut même atteindre 90 m sur les plateaux. Au sud par contre, vers la confluence avec le fleuve et dans le dallol, elle n'est qu'à une dizaine de mètres voire affleurante;

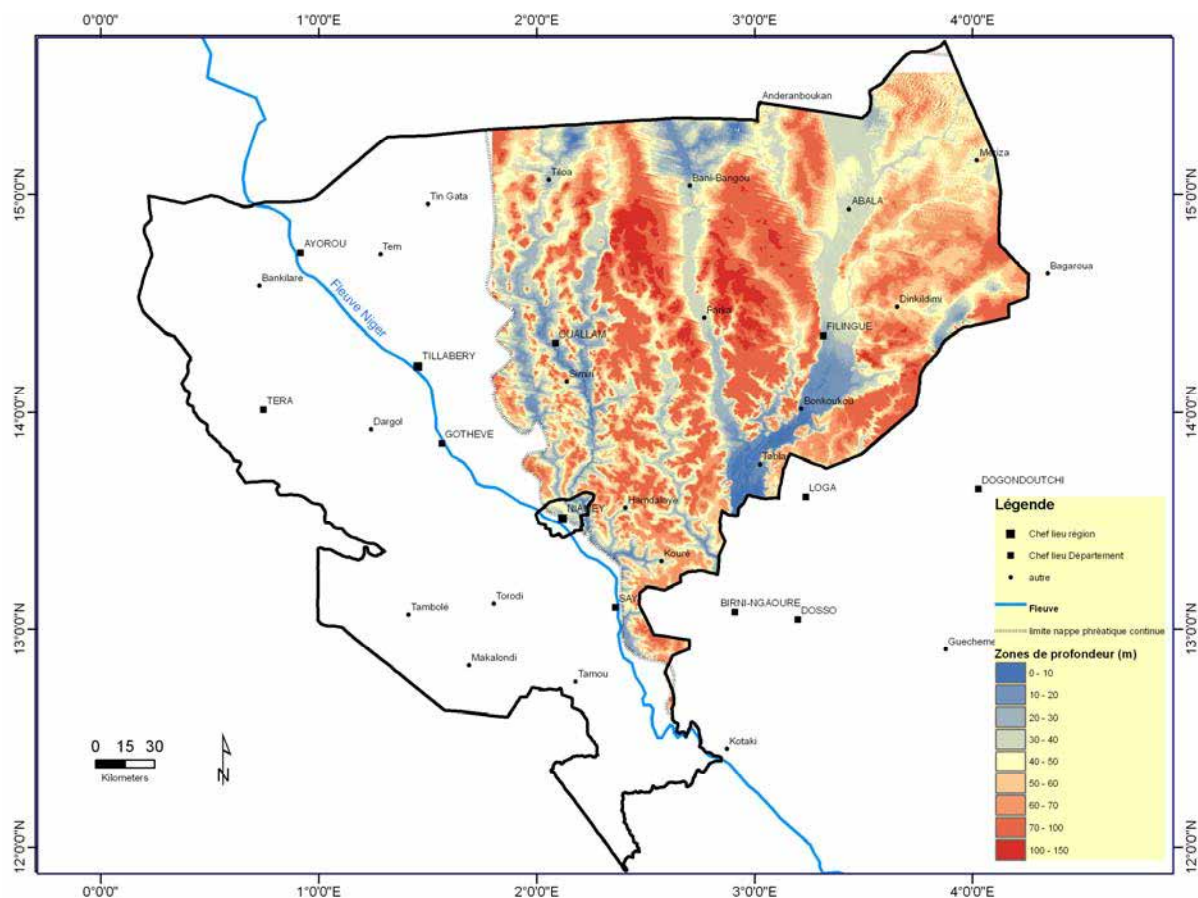


Figure 26 : Carte de distribution spatiale de la profondeur de la nappe phréatique du Continental Terminal. Elle montre que la profondeur à la nappe est essentiellement régie par la topographie du paysage (distribution spatiale plateaux / vallées).

- vers la bordure ouest, la répartition spatiale des profondeurs se complique du fait d'un rehaussement du substratum cristallin et de l'existence du biseau sec ;
- au Nord de Filingué et jusqu'à la limite est de la région, la nappe s'établit entre 35 et 55 m de profondeur en dehors des koris. Dans les vallées, elle peut être atteinte entre 20 et 30 m au dessous du terrain ;
- autour de l'Azagaret, la nappe phréatique est à 35 m en amont dans la région de Dérié, et à 15 m près de sa confluence avec le dallol Bosso ;

- dans le dallol Bosso, la nappe phréatique générale du Continental Terminal est située vers 35 à 45 m de profondeur, alors que la nappe discontinue (perchée) se retrouve elle entre 20 à 30 m de profondeur au Nord de Filingué, et entre 10 et 20 m entre Filingué et Fandara au Sud ;
- A l'ouest du fleuve, la nappe phréatique du Continental terminal est généralement libre et est atteinte à des profondeurs allant de 15 à 50 m.

La qualité des eaux de la nappe phréatique du Continental terminal est caractérisée par une très forte variabilité (30 à 35000 mg/l). Les études à l'échelle de l'ensemble de l'aquifère (Tirat, 1964 ; Boeckh, 1965 ; Greigert 1968 ; Greigert & Bernert, 1979) montrent que la plupart des eaux sont toutefois très peu minéralisées, avec des salinités inférieures à 300 mg/l pour 75% des points d'eau. Toutefois, dans la région comprise entre Abala et Filingué, la nappe phréatique paraît nettement plus chargée. L'analyse de la carte de salinité (Fig. 27) montre que :

- l'enrichissement en sel est généralement en relation avec les vallées fossiles (dallol Bosso, Kori Ouallam) ;
- Ailleurs, la salinité ne dépend pas de la profondeur (Boeckh, 1965) ;
- une relation apparaît entre les salinités élevées et la concentration en nitrates.

Les faciès sont bicarbonatées calciques dans la plus grande partie nord de la région (Nord Ouallam, Nord Filingué). Dans le Sud, les eaux bicarbonatées sont moins prédominantes et sont associées aux eaux sulfatées et surtout chlorurées (sodiques) qui deviennent clairement prédominantes vers le fleuve. Ces caractéristiques géochimiques sont localement confirmées par les plus récents travaux de Favreau (2000) et de Guéro (2003).

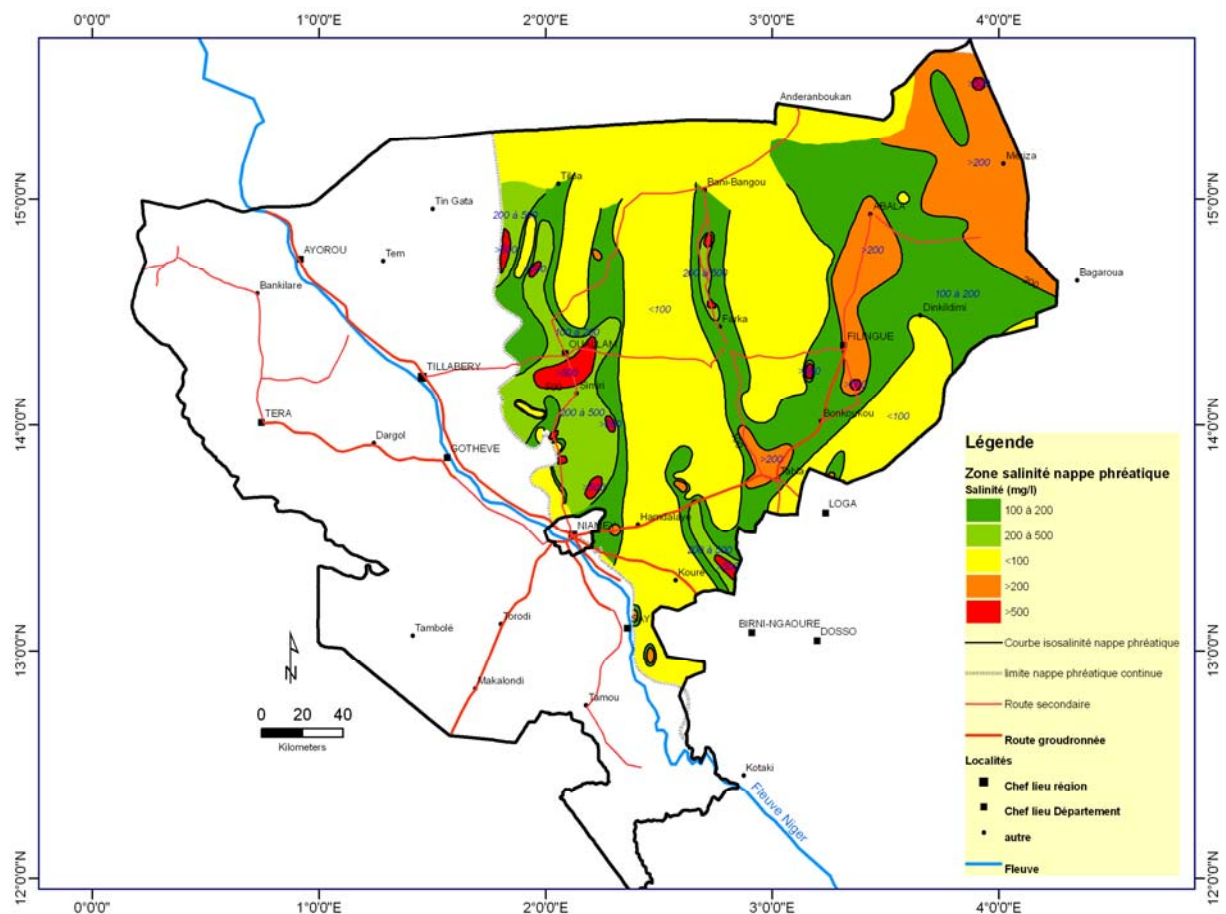


Figure 27 : Carte de distribution spatiale de la salinité de la nappe phréatique du Continental Terminal (données d'après Boeckh, 1965, in Greigert et Bernert, 1979).

Les données de débits de la nappe phréatique sont généralement obtenues à partir des essais de pompage de courte durée, sur des puits qui ne captent que partiellement l'aquifère. Elles sont donc relativement peu fiables, mais permettent de dégager les grands traits d'ensemble de la productivité de la nappe. Les meilleurs débits ($>3 \text{ m}^3/\text{h/m}$) coïncident avec la vallée du dallol Bosso au Sud de Filingué notamment les dômes piézométriques de la nappe alluviale, la dépression piézométrique située à l'Est de Niamey (Hamdalaye – Wankama) et les bordures Ouest (Nord Tondi Kiwindi et Tafo Kouara). Par contre, toute la zone située entre Ouallam et l'Azgaret présente des débits relativement faibles ($< 1 \text{ m}^3/\text{h/m}$). Dans le compartiment de la nappe phréatique du Continental terminal située à l'Ouest du fleuve, les débits sont plus limités du fait notamment de la faible épaisseur (quelques mètres) de l'aquifère.

Les potentialités de ressources en eau de la nappe phréatique du Continental terminal sont donc importantes, tant du point de vue de la quantité que de celui de la qualité. Leur mise en valeur devrait cependant tenir compte des contraintes suivantes :

- vulnérabilité à la pollution assez importante, notamment dans les vallées fossiles ;
- forte dépendance de la profondeur de la surface de la nappe au relief,
- nécessité d'une évaluation locale de la salinité, du fait de particularités -certes rares- de salinité plus élevée et inexplicée.
- Productivité généralement médiocre, nécessitant un captage maximal de l'aquifère saturé.

8.3 Nappes profondes

8.3.1 Nappes profondes de la zone du socle du Liptako

La profondeur des nappes de la zone de socle est très variable, fonction de l'épaisseur de la couche d'altération ou de la profondeur de la fissuration. Elle est en moyenne de 15 m, mais peut atteindre quelques dizaines de mètres.

La qualité de l'eau est également très variable, mais généralement bonne. La salinité est inférieure à 600 mg/l. Mais elle peut localement atteindre 2000 mg/l dans le cas de nappes sans écoulements. La conductivité électrique moyenne est de 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mais peut aussi dépasser 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans l'extrême Nord-ouest de la zone. Les eaux sont de faciès bicarbonatés calciques à sodiques. Les nitrates sont toujours abondants notamment dans les cas de conductivités élevées, et dépassent généralement les normes de l'OMS en matière de potabilité (50 mg/l).

Les débits ne sont jamais très importants, et en moyenne 18% des forages effectués dans la zone présentent des débits inférieurs à $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (MHE/LCD, 1999). Pour les forages positifs, le débit moyen (sur plus de 700 forages) est de $4 \text{ m}^3/\text{s}$. Les formations volcano-sédimentaires fournissent des débits nettement plus importants que les formations granitiques. Ces débits sont trop faibles pour permettre l'irrigation de périmètres agricoles importants. Au Nord à partir de Téra, les nappes d'altérations des granites peuvent débiter entre 0,4 et $2 \text{ m}^3/\text{h}$.

La mise en valeur des ressources en eau des nappes d'altération et de fissuration de la zone du socle se heurte donc à des contraintes majeures à savoir :

- difficultés de localisation de la ressource induisant un fort "taux d'échec" dans la réalisation des ouvrages (au moins 20 voire 50%) ;
- nécessité d'utilisation de la géophysique et/ou de la photo-interprétation pour l'identification des sites favorables et limitation du taux d'échec ;
- forte dépendance des ressources à la pluviométrie ;
- faibles capacités (débits) des ouvrages limitant leur utilisation à la satisfaction des besoins d'alimentation en eau et de la micro-irrigation ;
- nécessité d'exécution de forages plutôt que de puits, parce techniquement plus fiables.

Pour réduire le "taux d'échec" dans la réalisation des ouvrages, des techniques géophysiques novatrices comme la Résonance Magnétique Protonique (RMP) pourraient être utilisées (Fig. 28). Elle

permet de déterminer la distribution des teneurs en eau de l'aquifère en zone sédimentaire et de préciser les zones à teneur en eau significative en zone de socle.

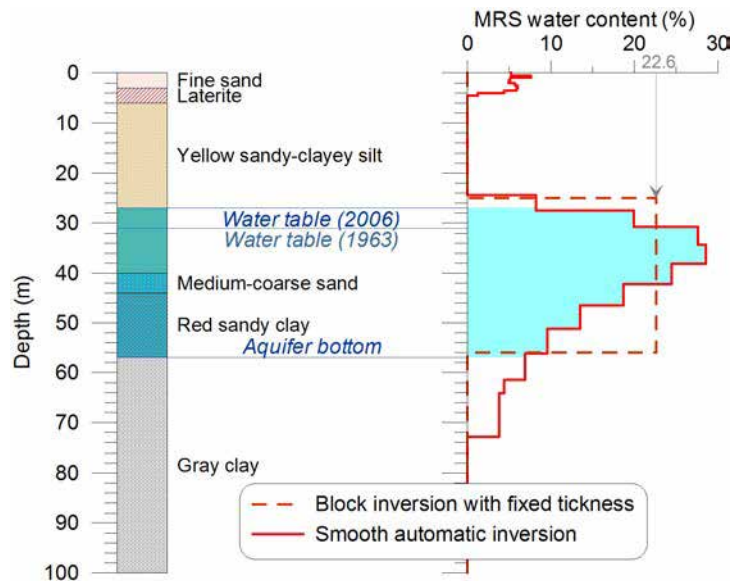


Figure 28 : Exemple de possibilité d'investigation des réserves locales d'un aquifère par résonance magnétique protonique (Kolo Bossey, département de Kollo). Cette technique géophysique novatrice permet de déterminer la distribution des teneurs en eau de l'aquifère en zone sédimentaire et de préciser les zones à teneur en eau significative en zone de socle (d'après Boucher et al., 2009).

8.3.2 Nappes profondes du Continental Terminal

Les travaux de thèse de Le Gal La Salle (1994) ont permis à partir d'une vingtaine de forages de préciser la géochimie des eaux de la nappe moyenne du CT2. Il s'agit d'eaux à minéralisations relativement élevées (conductivités de l'ordre de 1200 à 1600 $\mu\text{S/cm}$, salinité moyenne de 950 mg/l) et présentant des faciès sulfatés à bicarbonatés sodiques (Favreau, 2000), avec des teneurs en fer pouvant localement s'avérer importantes (Greigert, 1968). La température est de l'ordre de 30 à 33°C et les pH compris entre 7,0 et 8,0 avec une tendance à la réduction ($E_h \sim 0$ mV). Les teneurs isotopiques (Carbone-14, oxygène-18, deutérium) nettement différenciées de celles de la nappe phréatique générale, indiquent des eaux fossiles, infiltrées sous des conditions plus humides et/ou plus froides que l'actuel (Le Gal La Salle et al., 1995).

La profondeur d'accès à la nappe profonde des oolites est très variable du Nord au Sud. Dans l'extrême Nord-est de la région (Tin Gar, Ekkrafane, Dan Tamatchi, Chiguilal Metoukoua, Téréchnanine), elle est captée directement sous la nappe phréatique à une profondeur variant entre 70 et 130 m. Au Sud, dans la zone de Kouré, elle est captée à partir de 80 m de profondeur. Dans le Nord et le Nord-ouest la profondeur de l'aquifère reste encore peu connue.

Les débits des forages exploitant la nappe des oolites sont faibles, nettement inférieurs à ceux obtenus en exploitant la nappe phréatique généralisée du Continental Terminal, sauf dans l'extrême Nord-est. Les forages artésiens donnent entre 4 et 10 m^3/h .

Les eaux sont en général assez minéralisées (salinité de 850 à 1500 mg/l), avec des conductivités variables (1000 à 1500 $\mu\text{S/cm}$) pouvant atteindre 1600 $\mu\text{S/cm}$ notamment dans la zone au Sud de Ouallam. Les températures varient de 31 à 34°C et le pH est compris entre 7,0 et 7,9. Les faciès géochimiques sont proches de ceux de la nappe des sables inférieurs, c'est-à-dire bicarbonatés et sulfatés sodiques, sans nitrates, mais toujours avec des teneurs en fer parfois élevées (Greigert, 1968 ; Dehays/BRGM, 1990).

Les contraintes liées à la mise en valeur des ressources en eau de la nappe profonde sous pression du Continental Terminal sont :

- profondeurs de forage assez grandes (> 100 m) ;
- artésianisme (c'est-à-dire écoulement libre sans pompage) fréquent des aquifères, d'où la nécessité de protection et de contrôle de débits des ouvrages ;
- aquifères souvent localisés ou confondus avec les nappes sus-jacentes (cf. Fig. 12) ;
- eaux localement corrosives nécessitant l'utilisation d'équipements de captage spécifiques ;
- faible taux de renouvellement des ressources (eaux « fossiles ») ;
- risques de rabattement important en cas de pompage non contrôlé.

Ainsi, les nappes profondes du Continental terminal ne diffèrent pas d'un point de vue géochimique, mais géologique et hydrodynamique (Favreau, 2000). Leurs niveaux piézométriques sont à faible profondeur (nappe des oolites) et localement artésiens (nappe des sables inférieurs). Les eaux sont de bonne qualité aussi bien pour l'usage domestique que pour l'irrigation. Mais l'intérêt de la nappe des oolites reste limité de par ses débits qui sont toujours faibles.

9. SITUATION ACTUELLE EN MATIÈRE D'IRRIGATION

Malgré les potentialités de la région de Tillabéri, l'agriculture irriguée est relativement peu pratiquée et se concentre autour du fleuve Niger et de quelques mares naturelles et artificielles. Une trentaine de types de cultures sont irriguées dans la région. Le tableau 4 ci-après présente les principales classes et les types de cultures :

Classe	Types
Cultures maraîchères	oignon, chou, laitue, poivron, tomate, courgette, aubergine, carotte, ail, concombre, jaxatu
Tubercules	manioc, patate douce, pomme de terre
Fruits	pastèques, melons, mangues, goyaves, agrumes, dattes, banane, papaye, grenade, raisin
Céréales	riz, blé, maïs
Légumineuses	niébé, dolique
Cultures diverses dont épices et stimulants	piment, poivron, tabac, coton
Sucre et sirop	cannes à sucre

Tableau 4 : Principales classes et les types de cultures dans la région de Tillabéri (MDA, 2009)

L'évolution des superficies emblavées et de la production de ces cultures est très variable et est fonction d'une part de la pluviométrie enregistrée localement et d'autre part des opportunités d'écoulement aux niveaux national, sous-régional et international. L'enquête sur l'estimation de la production horticole de la campagne 2008/2009 (MDA, 2009) montre que seulement 8 332 ha ont été emblavés (Tableau 5). La répartition par département (Fig. 29b) révèle que 31% de cette superficie ont été cultivés dans le département de Kollo, suivi de Téra (27%), Tillabéri (23%) et Say (9%). La plus faible mobilisation revient au département de Ouallam avec seulement 4% de la superficie irriguée régionale. Les principales cultures réalisées (Fig. 29a) sont respectivement les légumes (35%), les racines et tubercules (30%) et les légumineuses (23%). Ces superficies n'incluent pas l'arboriculture et surtout la production céréalière généralement assurée au niveau des grands aménagements hydro-agricoles encadrés par l'ONAHA dans la vallée du fleuve.

Les détails des superficies irriguées, rendements et productions des différents types de cultures pour la campagne 2008/2009 sont présentés en annexe.

Département	Légumes	Racines et tubercules	Légumineuses	Epices et stimulants	Total
Tillabéri	1135	386	6	352	1 879
Filingué	216	292	-	3	511
Kollo	744	1453	-	353	2 550
Ouallam	300	21	2	3	326
Say	367	307	3	100	777
Téra	138	64	1895	192	2 289
TOTAL	2900	2523	1906	1003	8 332

Tableau 5 : Superficies irriguées (en ha) en 2008/2009 dans la région de Tillabéri (MDA, 2009)

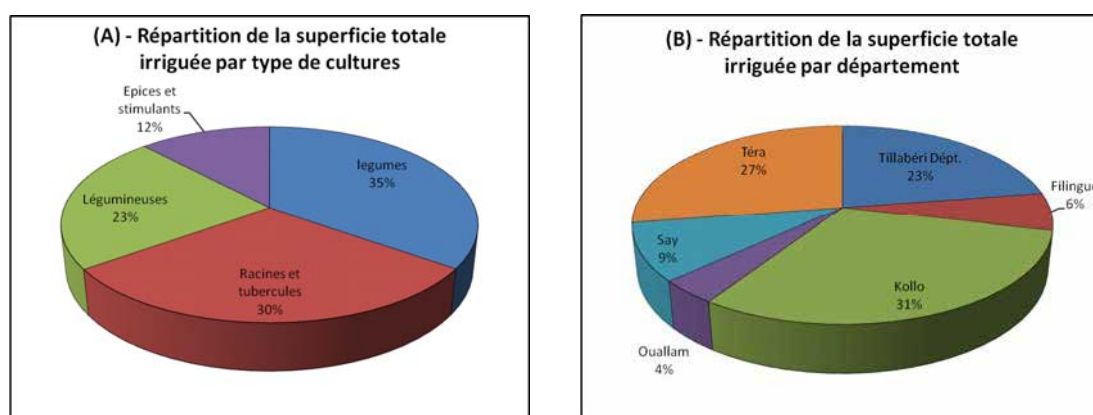


Figure 29 : Répartition des superficies irriguées en 2008/2009 (MDA, 2009).

10. POTENTIEL D'IRRIGATION

10.1 Potentiel en terres irrigables

Les travaux de Gavaud et Boulet (1967) constituent la référence en matière d'inventaire des sols, la définition de leurs propriétés agronomiques et leur cartographie dans l'Ouest du Niger. Ces travaux qui couvrent la totalité de la région de Tillabéri ont servi de base pour évaluer le potentiel en terres irrigables de la région.

10.1.1 Inventaire des sols

La pluviométrie est le principal facteur de variation zonale des sols au Niger. Les sols observés dans la région de Tillabéri vont des sols subarides, dont la limite supérieure oscille entre les isohyètes 400 et 500 mm, aux sols ferrugineux tropicaux lessivés dont l'air naturelle d'extension se situe sous l'isohyète 800 mm c'est-à-dire dans l'extrême Sud-ouest de la région. Entre ces deux grandes familles de sols, s'étend une vaste bande à sol ferrugineux tropicaux peu lessivés souvent sur matériaux sableux. Localement, divers facteurs autres que climatiques interviennent pour distinguer :

- sols peu évolués d'apport ou d'érosion ;
- vertisols;

- sols halomorphes ;
- sols hydromorphes.

A Les sols arides

Les sols bruns arides sont caractérisés par une répartition décroissante dans le profil de la matière organique bien évoluée mais peu abondante et un léger lessivage des cations avec possibilité d'immobilisation du calcium sous forme de carbonates en profondeur. Les sols bruns arides sont subdivisés en 2 sous groupes :

- Les sols bruns de couleur brun foncée à répartition homogène de la matière organique et reposant sur la roche mère, le pH est neutre. Ils sont irrigables sur formations sableuses de vallées sèches et sur argiles de décantation ;
- Les sols bruns-rouges, minéraux, à horizons humifères bruns ou plus faiblement colorés. Ils ont un pH faiblement acide. Les sols bruns rouges peu différenciés sur sables pauvres en argiles et limons avec action de nappe (vallées sèches) ou structurés (ergs récents) sont peu propices à l'irrigation, alors que les sols bruns-rouges évolués sur formations sableuses du moyen Niger (toposéquences de vallées) s'y prêtent plus largement.

Les sols bruns à drainage réduit des chaînes de sols rouges et de sols ferrugineux peu lessivés qui existent en très petites surfaces d'un seul tenant (interdunes et dépressions) sur toutes les unités à sols ferrugineux peu lessivés et à sols bruns sur sables éoliens présentent un intérêt agricole important. Leur position topographique basse favorise leur alimentation en eau et les met à l'abri de l'érosion éolienne (horizon humifère mieux conservé).

B Les sols ferrugineux

Les sols ferrugineux tropicaux sont subdivisés en 2 groupes :

- Les sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés localisés sur des formations sableuses. Le lessivage lorsqu'il existe n'est décelable qu'à travers les variations de couleur. Les plus récents sont sensibles à l'érosion éolienne à l'instar des sols bruns-rouges et ne sont pas recommandés pour la culture. Sont propices à l'irrigation en revanche : les sols ferrugineux peu lessivés et peu différenciés sur sables pauvres en argiles et en limons des vallées sèches (série de Filingué, série de Fandou), sur formations sableuses des vallées en association à sols ferrugineux à actions de nappe, à sols à gley et à sols alcalins (vallées sèches), ou à sols à pseudogley et à sols vertiques (terrasses du fleuve) ; les sols ferrugineux peu lessivés évolués sur formations sables du moyen Niger (toposéquences des vallées, séries rubéfiées de plateau), sur association à sols à profil durci et sols hydromorphes ; les sols ferrugineux peu lessivés à concrétions sur formations sableuses des vallées sèches.
- Les sols ferrugineux tropicaux lessivés qui se rencontrent principalement au Sud de l'isohyète 800 mm, et dans une moindre mesure dans les régions dépourvues de couverture sableuse. C'est le cas dans le Nord-est de la région jusqu'à Garbey et dans le Sud du Département de Say où leur fertilité chimique n'est que moyenne à faible. Ils sont irrigables notamment sur sables argileux et sur matériaux argilo-sableux.

C Les sols peu évolués

Les sols peu évolués sont caractérisés par un profil peu différencié dans lequel on peut distinguer un à plusieurs horizons humifères (riches) reposant sur le matériau originel. Ils résultent soit des conditions climatiques peu propices soit des facteurs mécaniques d'érosion ou de transport.

Les sols peu évolués d'érosion sont pour l'essentiel non irrigables, à l'exception des faciès vertiques sur argile d'altération en association à sols gravillonnaires ou à sols hydromorphes, des associations de faciès rubéfiés et bruns tirsifiés sur colluvions argilo-sableuses, des faciès ferrugineux sur colluvions hétérogènes en association à des lithosols, des sols hydromorphes, gravillonnaires ou

ferrugineux lessivés. Les sols peu évolués d'apport aptes à l'irrigation sont ceux présents sur les dépôts alluvionnaires récents de certains affluents droits du fleuve.

D Les vertisols

Les vertisols sont des sols dont la structure et le plus souvent l'aspect portent des traces d'efforts mécaniques (face lissée ou striée, effondrement de prisme, etc.) exercés lors des successions d'humectation et de dessiccation des profils en présence d'argiles gonflantes dans les éléments structuraux. Les vertisols sont chimiquement riches du fait de la présence d'argile qui favorise les échanges. Ils sont très localisés sur les alluvions argileuses du dallol Bosso au Nord de Filingué (où la disponibilité de l'eau est limitée), les alluvions amont du Gorouol à l'extrême Nord-ouest, et sur certains affleurements du socle au Sud-ouest Bossé Bangou. Malgré leurs atouts chimiques, les vertisols sont difficilement irrigables en raison de la pénibilité de leur travail.

E Les sols halomorphes

Les sols halomorphes évoluent sous l'influence d'un excès de sels solubles ou d'une richesse anormalement élevée du complexe absorbant en cations. Ils ne sont pas propices à l'irrigation. Ils se localisent autour de certaines mares marquant l'affleurement de la nappe phréatique, dans certains Koris ou dans le dallol Bosso (localement, extraction de « pains de natron »).

F Les sols hydromorphes

Les sols hydromorphes évoluent dans les conditions d'humidité supérieures à la normale (engorgement) sur tout ou en partie du profil (hydromorphie totale ou partielle), constantes ou intermittentes (hydromorphie permanente ou temporaire). Leur intérêt est de bénéficier d'une alimentation en eau plus abondante et prolongée que les sols drainés. Dans la région, les sols hydromorphes se rencontrent dans les sols des terrasses du fleuve, les sols sur les alluvions des affluents de la rive droite et les sols sur les sables des axes des vallées creusées dans le plateau du CT. Ils sont irrigables notamment en association du lit mineur et sur formations sableuses de vallées sèches.

10.1.2 Classification des sols

L'aptitude d'un sol à l'irrigation dépend de ses caractéristiques physiques et chimiques. Les critères déterminants proposés par la FAO (1976) sont la pente, la capacité de drainage, la texture, la profondeur, les teneurs en carbonate de calcium et en gypse, la salinité et l'alcalinité. L'annexe A-13.11 présente les valeurs couramment admises pour ces différents facteurs.

En se basant sur ces critères, la classification de la FAO (1976) et en simplifiant on peut distinguer trois (3) classes d'aptitudes des sols à l'irrigation :

- Irrigable (S1 : très propice ; S2 : modérément propice);
- Difficilement irrigables (S3 : marginalement propice);
- Non irrigable (N1 : très peu propice, N3 : pas propice);

L'annexe A-13.12 présente la classification des types de sols rencontrés dans la région en fonction de leur aptitude à l'irrigation.

A partir de la carte de reconnaissance des sols de la république du Niger issue des travaux de Gavaud et Boulet (1967) numérisée (source SIGNER, LUCOP), les sols de toute la région de Tillabéri ont été classifiés. La figure 30 présente la répartition spatiale des terres potentiellement favorables au développement de l'irrigation dans la région. Ces terres sont localisées sur les terrasses et les cuvettes de la vallée du fleuve et de ses affluents droits, sur les sols hydromorphes des vallées fossiles des dallols et des kori, et autour de certaines mares permanentes et semi-permanentes. Ces terres se distinguent surtout par leur nature alluvionnaire.

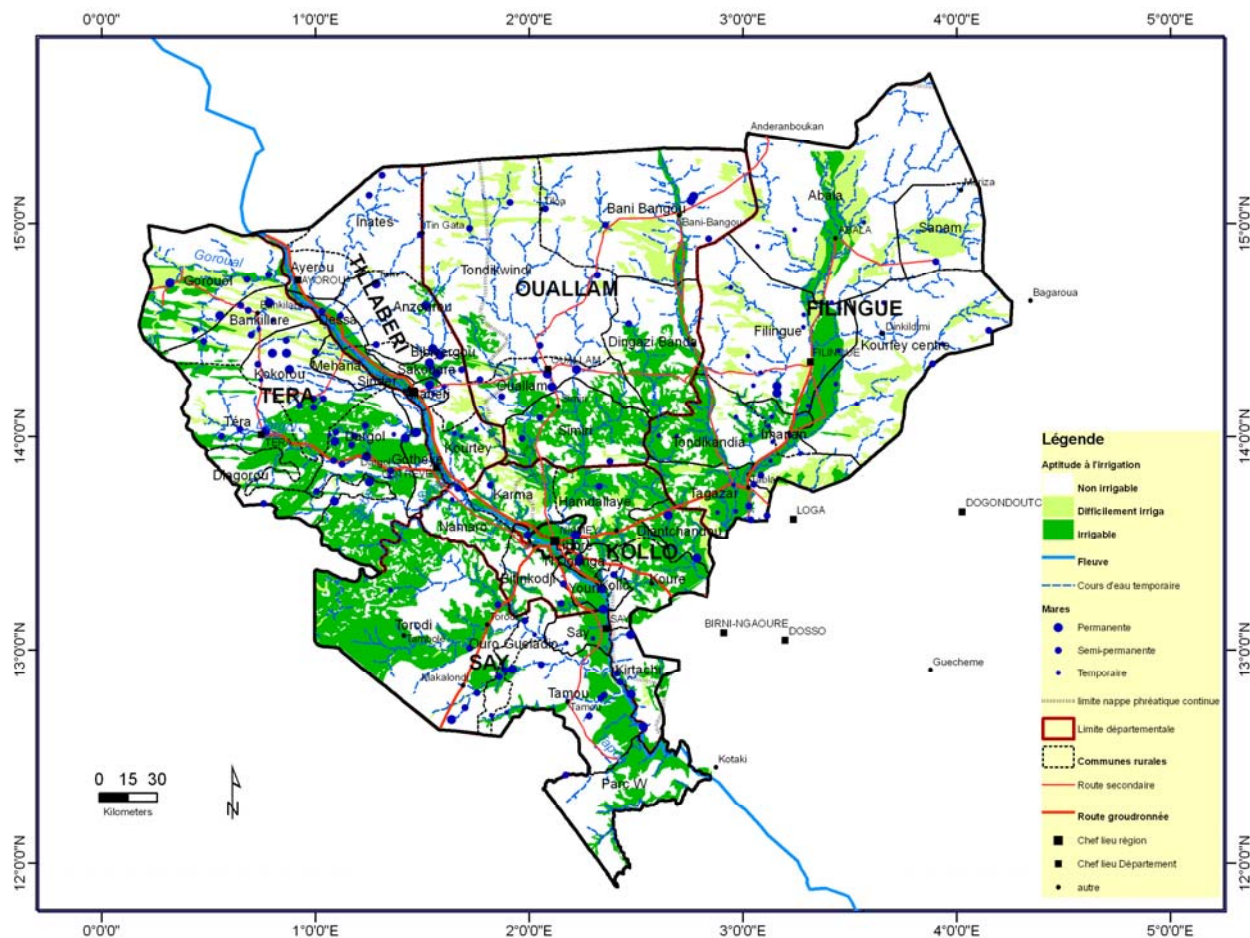


Figure 30 : Carte de distribution des terres en fonction de leur aptitude à l'irrigation, région de Tillabéri.

Ainsi, la superficie totale des terres potentiellement irrigables s'élève à 2,36 millions ha soit 27% de la superficie globale de la région. La répartition de ce potentiel selon les départements (Tableau 6, Fig. 31) montre que les départements les plus pourvus sont respectivement ceux de Say (24%), Téra (20%), Kollo et Filingué (18%) et Ouallam (15%).

Cet important potentiel en terres irrigables est à considérer avec réserves. En effet son évaluation est basée sur la seule aptitude des sols à l'irrigation, elle-même déterminée à partir de la carte pédologique à l'échelle 1/500 000^e. La précision de la donnée de base « sol » est donc très limitée et ne permet pas une évaluation correcte du potentiel en terre dont la variabilité spatiale des caractéristiques est importante.

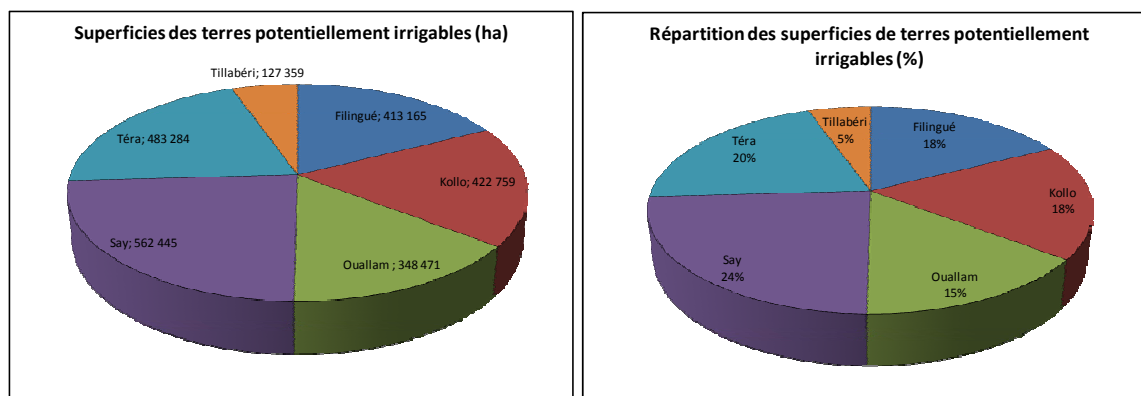


Figure 31 : Superficies estimées des terres potentiellement irrigables par département.

Département	Superficie (ha)		
	Totale	Irrigable	(%)
Filingué	2 445 904	413 165	17
Kollo	920 346	422 759	46
Ouallam	2 065 754	348 471	17
Say	1 351 170	562 445	42
Téra	1 650 064	483 284	29
Tillabéri	643 593	127 359	20
Total	8 843 554	2 357 484	27

Tableau 6 : Superficies estimées des sols potentiellement irrigables.

10.2 Potentiel d'irrigation des ressources en eau

L'évaluation précise des potentialités en irrigation doit être basée sur l'analyse simultanée de la disponibilité des ressources en eau et de l'aptitude des sols à l'irrigation. La disponibilité des ressources en eau peut être appréciée à partir de la profondeur d'accès à la ressource et de sa qualité.

10.2.1 Profondeur d'accès aux ressources en eau

Les eaux de surface constituent la principale ressource en eau de la région. Elles sont généralement faciles d'accès (fleuve, mares permanentes et semi-permanentes), mais le caractère temporaire des écoulements de kori peut nécessiter la réalisation d'ouvrages de mobilisation afin de garantir une disponibilité de la ressource durant la saison sèche.

La profondeur d'accès aux ressources en eau souterraine est donnée par la profondeur du niveau statique par rapport au terrain naturel. C'est un facteur déterminant dans le coût de l'exhaure. La carte des zones de profondeur de la nappe (Fig. 26) générée à partir de la piézométrie et du modèle numérique du terrain SRTM90 de la zone permet une bonne évaluation de la profondeur de la nappe phréatique.

10.2.2 Qualité des eaux et leur aptitude à l'irrigation

Un paramètre important dans l'évaluation des superficies irrigables est la qualité de l'eau disponible pour l'irrigation. Ce paramètre est essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du

sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation.

Les facteurs les plus importants pour déterminer la qualité requise de l'eau dans l'agriculture sont le la salinité, le pH, les carbonates et bicarbonates en relation avec les teneurs en Calcium (Ca), en sodium (Na) et en Magnésium (Mg).

La salinité augmente le risque de salinisation des terrains irrigués surtout sous climat semi-aride. Elle peut être appréciée par la conductivité électrique des eaux. Le sodium, le calcium et le magnésium augmentent le risque d'alcalinisation des sols par suite d'échanges ioniques entre l'eau et les argiles du sol. De fortes teneurs en sodium modifient la structure des sols et leur perméabilité. Ce risque peut être apprécié par le Coefficient d'Absorption du Sodium (CAS ou SAR, « Sodium Absorption Ratio »). Les risques de salinisation et d'alcalinisation ne sont pas indépendants. Le risque d'alcalinisation est d'autant plus grand que la salinité est importante. Le diagramme de Riverside (US Salinity Laboratory Staff, 1954) permet de faire une première classification des eaux selon leur aptitude à l'irrigation. Suivant ce diagramme et à quelques exceptions localisées près, les eaux de la région de Tillabéri sont tous pratiquement classées dans les catégories 1 et 2 et peuvent donc être utilisées sur presque n'importe quel sol et pour n'importe quelle culture. Par conséquent, la qualité de l'eau n'est pas un facteur limitant en matière de développement de l'irrigation dans la région. Toutefois, des mesures spécifiques doivent être prises sur certains sites pour garantir un apport optimum en eau aux cultures permettant d'éviter les excès. C'est le cas notamment de la mare permanente de Tinga (Ouallam) où nous avons observé des signes évidents de salinisation des sols en réponse à l'affleurement de la nappe phréatique.

L'évaluation des superficies irrigables en fonction de la disponibilité des ressources en eau tient également compte des besoins des autres usages des points d'eau, notamment l'abreuvement des animaux, la consommation domestique, la pêche et la pisciculture, dans le cadre de la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE). Cependant, les enquêtes réalisées dans la région (Carette, 1991) ont montré que les prélèvements domestiques et pour l'abreuvement des animaux sont négligeables ($< 0,5 \text{ mm/j}$) devant la demande en eau d'irrigation.

Ainsi les cartes hydrologiques, hydrogéologiques et pédologiques ont été croisées dans le cadre d'un système d'information géographique (SIG) afin de préciser davantage les potentialités d'irrigation et calculer les superficies irrigables.

Pour estimer le potentiel d'irrigation des ressources en eau de la région de Tillabéri, les cartes suivantes doivent être croisées dans un SIG :

- Carte des aptitudes des terres à l'irrigation ;
- Cartes de pentes du terrain naturel ;
- Carte de profondeurs (accès) de la nappe phréatique ;
- Carte de qualité des eaux ;

Dans la région de Tillabéri, la qualité des eaux et les pentes ne sont pas des facteurs limitant en matière de développement de l'irrigation. Le potentiel d'irrigation des ressources en eau peut donc être estimé à partir du croisement des cartes suivantes :

- Carte des aptitudes des terres à l'irrigation (figure 30) ;
- Carte des profondeurs de la nappe phréatique (figure 26) ;

Dans la zone de socle du Liptako et dans le biseau sec, les données disponibles et surtout le caractère discontinu du système aquifère ne permettent pas d'élaborer des cartes de profondeur d'eau. Par conséquent l'évaluation des ressources en eau pour l'irrigation doit se faire au cas par cas :

- Là où le potentiel en terre est identifié (Say, Téra), l'accent doit être mis sur l'identification des mares (naturelles et artificielles) pouvant être mises en valeur, ou sur la recherche de sites favorables à l'implantation de forages pouvant fournir des débits suffisants.
- En revanche, lorsque la disponibilité des ressources en eau est avérée, une étude pédologique locale permettra d'identifier le potentiel en terres irrigables autour du point d'eau.

Dans la zone de la nappe phréatique continue du CT3, une carte de profondeur a été élaborée à partir du modèle numérique de terrain (MNT) et de la carte piézométrique de la nappe continue (figure 26).

Cette carte couvre totalement ou partiellement 21 communes sur les 45 que compte la région. Elle permet de préciser davantage les potentialités d'irrigation dans les communes concernées selon la profondeur de la nappe phréatique. Quatre classes de profondeurs ont été retenues (0 à 10 m, 10 à 20 m, 20 à 50 m, 50 m et plus).

La figure 32 présente la classification du potentiel des terres irrigables en fonction des zones de profondeurs de la nappe phréatique. La répartition des superficies selon les communes concernées est donnée en annexe.

Il ressort de cet exercice que le potentiel de terres irrigables à partir des eaux dont la profondeur varie de 0 à 20 m est estimé à 159 000 ha soit 14 % du potentiel global en terres aptes à l'irrigation dans les communes concernées. Cela représente en moyenne 3% de la superficie totale des communes mais peut atteindre 32 % pour les communes de Imanan et Tagazar.

Ainsi, pour l'essentiel des terres aptes à l'irrigation, la profondeur d'accès à la nappe phréatique est supérieure à 20 m, ce qui nécessite la réalisation de forages spécifiques.

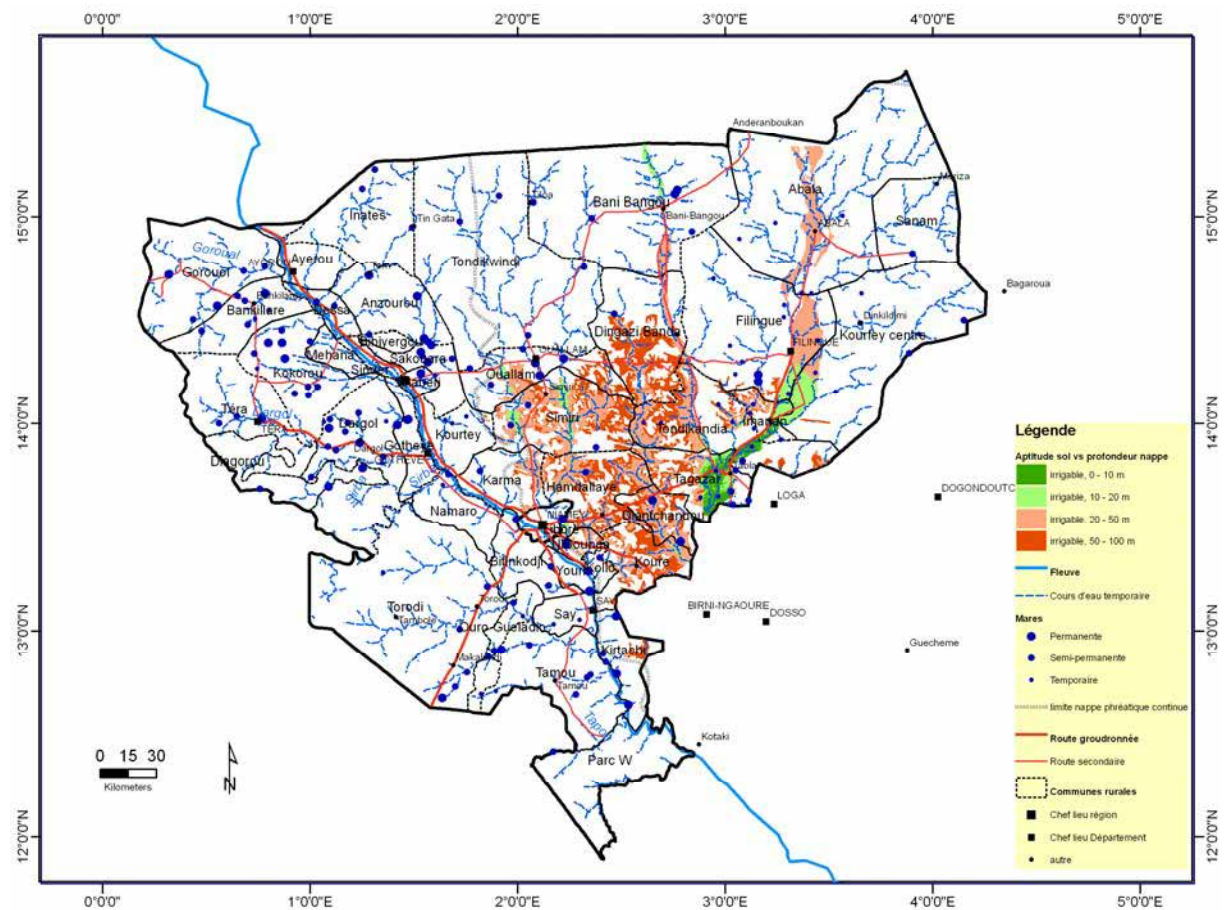


Figure 32 : Classification du potentiel des terres irrigables en fonction des zones de profondeur de la nappe phréatique

11. PROJETS ET PROGRAMMES EN COURS

Plusieurs projets et programmes interviennent dans la région de Tillabéri dans le cadre de la lutte contre la pauvreté par la mise en valeur des ressources naturelles. Certains sont essentiellement axés sur l'irrigation, tandis que d'autres appuient ponctuellement le secteur à travers des volets spécifiques (PAC).

Ces projets et programmes sont généralement financés par les partenaires au développement dans le cadre de coopération bilatérale ou multilatérale. Les stratégies d'intervention et le mode de gestion de ces projets varient selon le bailleur de fonds. Les investissements vont de l'appui direct aux producteurs (approvisionnement en intrants et matériels, appui-conseil), à la réalisation d'infrastructures (construction ou réhabilitation de barrages, mini-barrages, seuils, aménagement des périmètres, etc.) en passant par la mise en place de structures de microcrédits. La mise en œuvre de ces projets est généralement confiée aux structures techniques de l'Etat (Ministère, Directions régionales, etc.), appuyées par une assistance technique étrangère.

Avec la recrudescence des crises alimentaires, plusieurs ONGs nationales et internationales ont également orienté, au moins en partie, leur assistance vers le développement de l'agriculture irriguée à travers des actions diversifiées (approvisionnements en intrants, appui-conseil, etc.). Mais les moyens mis en œuvre sont généralement plus limités (micro-projets).

Projet/Programme	Zone d'intervention	Montant (FCFA)	Bailleurs de fonds
Appui au Programme Spécial pour la Sécurité Alimentaire Phase 2 (PSSA)	-	-	BID
Programme d'Actions Communautaires PAC II	Nationale	-	Banque Mondiale
Programme d'Appui au Secteur Rural (PASR)	-	-	-
Projet d'Appui à la Sécurité Alimentaire dans les régions de Dosso et Tillabéri (PASA)	Téra (Tillabéri), Boboye, Doutchi	2.800.000.000	BADEA
Projet de Développement de l'Irrigation dans la région de Tillabéri (PDIT)	Téra, Tillabéri dépt., Say, Kollo	2.620.000.000	Coopération Belgique
Projet de Développement des Exportations et des Marchés Agro-pastoraux (PRODEX)	Nationale	20.382.382.969	Banque Mondiale
Projet de Développement des Ressources en Eau et de Gestion Durable des Ecosystèmes dans le bassin du Niger (PDRE/GDE)	-	-	-
Projet de Renforcement des Moyens de Protection des Végétaux et des Denrées Stockées dans la région du Liptako-Gourma	-	-	-
Projet de Valorisation des Eaux dans les régions de Dosso et Tillabéri (PVDT)	Dosso et Tillabéri	11.800.000.000	FAD
Projet santé du Sol (SHP) micro-dose Niger	-	-	-

Tableau 7 : Projets et programmes en cours (10/2010) dans la région de Tillabéri comportant un volet « Irrigation ».

12. CONCLUSION : QUELQUES RECOMMANDATIONS

12.1 Mesures d'aménagement pour une meilleure valorisation des eaux

La confrontation des données sur les ressources en eau et la carte des aptitudes des sols, montre que les zones disposant de l'essentiel des terres irrigables de la région, combinent à la fois des superficies planes continues et la facilité d'exhaure de l'eau. Il s'agit de la vallée du fleuve et de ses affluents où les écoulements de surface sont importants, de la partie centrale et sud du Dallol Bosso où les eaux souterraines sont abondantes et peu profondes et autour de certaines mares permanentes. Ainsi, sur la base des besoins approximatifs en eau pour l'irrigation (FAO, 1992), les mesures suivantes sont envisageables suivant les zones pour une meilleure valorisation des ressources en eau aux fins de la petite irrigation :

12.1.1 Dans la vallée du fleuve et de ses affluents

De petits périmètres collectifs et les cultures de décrue peuvent être réalisés en marge de la grande échelle (AHA) du fait de l'importance du potentiel en eau de surface pouvant être mobilisé. Mais la disponibilité en eau pour l'irrigation peut connaître une grande variabilité du fait du caractère temporaire de l'écoulement des affluents et de la baisse du régime du fleuve en période d'étiage. Aussi un programme de construction d'ouvrages de stockage et de régulation (barrages, prises) sur ces cours d'eau est nécessaire pour assurer une disponibilité continue de la ressource en eau, notamment en saison sèche.

Dans cette partie de la région où les eaux souterraines sont peu importantes (zone de socle), les nappes alluviales liées au fleuve, de part leur importance, leur faible profondeur et leur fort taux de renouvellement, peuvent également être sollicitées pour la promotion de la petite irrigation privée sur les terrasses du Niger.

12.1.2 Autour des mares permanentes et semi-permanentes

La disponibilité en eau pour l'irrigation n'est garantie que pour les mares permanentes (y compris les barrages) ou semi permanentes, très nombreuses dans la région. En effet, l'inconvénient de beaucoup de ces plans d'eau est qu'ils peuvent tarir rapidement au cours de la saison sèche à cause de l'évaporation intense. Une solution à ce problème c'est de faire en sorte que le calendrier cultural coïncide avec la disponibilité et l'accessibilité aux eaux de ces mares (exemple, démarrer la campagne d'irrigation le plutôt possible après la saison des pluies). De petits périmètres collectifs ou individuels et les cultures de décrues peuvent être envisagés. Des puits peu profonds forés sur les berges permettront de soutenir les besoins en eau en période de basses eaux.

12.1.3 Dans les vallées fossiles du dallol Bosso et des Koris à l'est du fleuve

Les nappes alluviales et la nappe phréatique du CT, au regard de leur fort taux de renouvellement et de leur accessibilité particulièrement dans la moitié sud, et les nappes profondes du CT de par leur artésianisme, constituent des réserves à même d'assurer un approvisionnement continu pour la promotion de petits aménagements collectifs et individuels de cultures de contre-saison. En effet :

- Dans la partie sud du dallol Bosso (entre Bonkougou et Baléyara) où la nappe phréatique est sub-affleurante (0 à 10 m de profondeur), la promotion de la petite irrigation privée est économiquement envisageable car les coûts d'exhaure et des ouvrages de captage sont énormément réduits.
- Dans la partie centrale du Dallol où la profondeur la nappe phréatique du CT est faible (10 à 30 m), des périmètres collectifs de cultures de contre saison sont envisageables.
- Dans la partie nord du dallol Bosso, la mise en valeur des périmètres collectifs de contre saison est possible par le recours à la nappe des sables inférieures du CT2 dont l'artésianisme peut là aussi permettre de réduire les coûts d'exhaure.

12.1.4 Captage et l'exhaure

- **Dans le cas des nappes peu profondes** (terrasses du Niger, partie sud du dallol Bosso, et autour de certaines mares permanentes), on peut envisager un captage à l'aide des puits maraichers en béton, de forages manuels, réalisés au moyen de tarières manuelles ou mécanisée et de tuyaux en PVC comme tubage, dans les sols non consolidés jusqu'à 12 mètres de profondeur. Sur ces ouvrages qui permettent aux producteurs d'avoir accès à l'eau d'irrigation à faible coût, l'exhaure peut se faire à l'aide des pompes à motricité humaine (pompes à faible coût conçues dans le cadre de la promotion de l'irrigation privée) ou bien à l'aide de motopompes (moyens d'exhaure mécanisés capable de pomper l'eau de faible profondeur (10 à 12 m)). La Figure 33 présente quelques illustrations de ces différentes techniques de captage et d'exhaure inventoriées dans la région.



Figure 33 : Techniques de captage et d'exhaure à faible coûts, inventoriées dans le cadre de la petite irrigation privée. De gauche à droite : Forage manuel en PVC ; exhaure avec motopompe sur puits maraicher ; niveau d'eau dans un puits maraicher autour de mare de Tinga ; exhaure avec Pompe à la main, généralement utilisée par les femmes ; exhaure avec Pompe à pédale, exhaure avec puisette

Equipement	Coûts (F CFA)
Puits Maraicher	100 000 à 200 000
Forage Manuel en PVC	25 000 à 50 000
Pompe à pédale	40 000
Pompe à la main	80 000
Motopompe (2.5 à 3.5 CV)	100 000 à 250 000

Tableau 8 : Coûts des équipements de captage et d'exhaure (Source : Cochand J., la petite irrigation privée dans le sud Niger, enquête de terrain, 2006-2007).

- **A partir des mares** : au regard de la topographie de la région, le niveau des eaux dans les mares est généralement bas par rapport au niveau des terres irrigables. L'usage des motopompes par les producteurs peut alors leur faciliter les prélèvements et la distribution en permettant une élévation du niveau d'eau puis sa distribution par gravité sur l'exploitation même lorsque la profondeur du plan d'eau est faible.
- **Au niveau de la vallée du fleuve** : au regard des tendances climatiques actuelles, seule l'option d'ouvrages de régulation ou de stockage avec périmètres peut assurer l'approvisionnement durable des aménagements. Beaucoup d'aménagements hydro-agricoles approvisionnés actuellement par prise directe sur le fleuve se trouvent dans une situation de pénurie d'eau, à cause de la baisse du régime période en étiage et de l'ensablement. Aussi les aménagements formés d'une retenue d'eau avec périmètre, peuvent avoir l'avantage d'une alimentation du périmètre par gravité, donc à un coût réduit. Cependant, pour les petites exploitations irriguées, proches des rives du fleuve, le prélèvement de l'eau peut se faire directement à l'aide de motopompes. La motopompe, placée sur la berge au bord du fleuve, permet grâce à un tuyau d'aspiration immergé au fil de l'eau, à l'eau du fleuve d'être redistribué dans les parcelles de culture.
- **Cas des nappes profondes du CT** : L'artésianisme constitue un avantage pour l'exhaure et dans ce cas, un captage à partir des puits-forages peut être envisagé surtout lorsque le niveau piézométrique peut remonter et permettre l'usage de motopompe. Dans le cas de nappe profonde non artésienne de profondeur sous le sol de la piézométrie > 10m., l'irrigation ne peut se faire qu'à l'aide de forages équipés de pompes immergées.

12.1.5 Système de distribution

Le système de distribution idéal est celui qui donne une bonne efficacité et assure une protection des terres contre l'érosion. Mais au regard des capacités d'investissement des producteurs, l'irrigation manuelle (transporter l'eau de la source d'alimentation à la plante à l'aide d'un récipient : seau ou arrosoir) et l'irrigation de surface (par submersion, par sillon, ou par petites planches) restent encore dominantes. Dans le but d'une amélioration à moindre coût, on peut envisager un recours au système de distribution «Californien» surtout dans les petites exploitations individuelles et même sur des périmètres collectifs de cultures de contre saison. La distribution par réseau californien consiste à acheminer l'eau par des canalisations PVC enterrées jusqu'à des bornes de distribution situées à des points hauts de l'exploitation et alimentant les raies ou directement les plants ;(voir figure 34 ci-dessous pour le principe et les différents variantes).

Ce système est spécialement recommandé pour vaincre les contre-pentes et contribue également à réduire les pertes d'eau par infiltration lors du transport.

Au regard des pentes des terrains dans la région, il est recommandé de faire là où les conditions l'exigent (pente >2%), des sillons ou des rigoles orientées transversalement à ligne de plus grande pente afin de limiter les risques d'érosion.

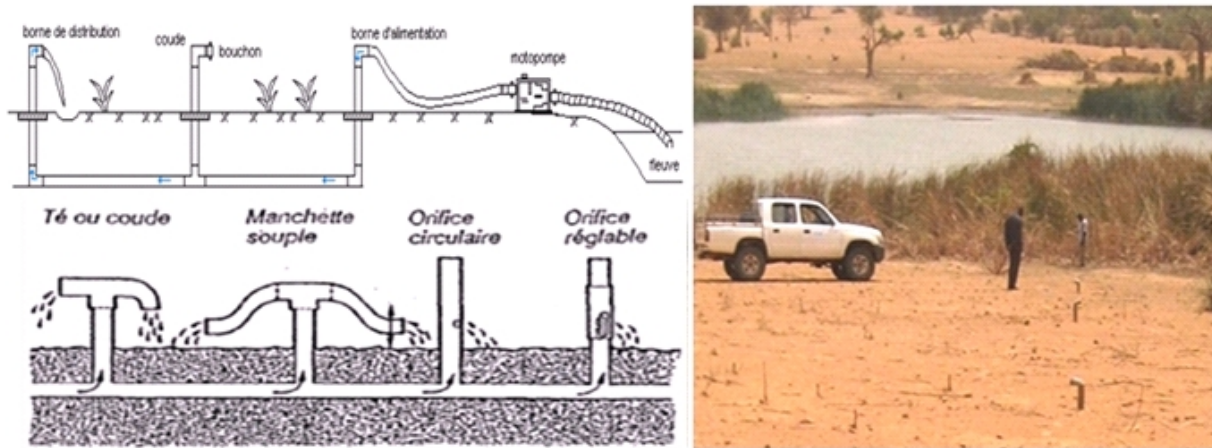


Figure 34 : Réseau Californien, principe et variantes. La photographie illustre une application de ce réseau en rive droite de la mare de Tinga, dans le département de Ouallam (bornes de distributions visibles, perpendiculaires à l'axe de la mare).

12.1.6 Autres mesures

Pour une meilleure valorisation des ressources en eau, les mesures suivantes doivent être prises :

- privilégier la réalisation d'ouvrages de captage à fort débit unitaire et/ou des techniques d'exhaure appropriées afin de minimiser les coûts d'exhaure ;
- réaliser des aménagements de renforcement de la recharge des nappes alluviales liées aux affluents actifs (seuils de recharge) afin de réduire leur vulnérabilité ; tout particulièrement, au Nord de Niamey et à l'ouest du fleuve, en région de faible réserve de l'aquifère (hors limites du Continental Terminal, cf. Fig. 13).
- mettre en place des dispositifs de suivis quantitatif et qualitatif des mares (naturelles et artificielles) et des nappes à forts potentiels de mise en valeur (Tinga, dallol Bosso, etc.) ;
- lutter contre la salinisation des sols grâce à un nivellement de parcelles et un drainage adéquats ;
- lutter contre la prolifération des plantes envahissantes des plans d'eau (mares, retenues) et des cours d'eau (*typha australis*, etc.), qui sont par ailleurs des indicateurs qualitatifs de la dégradation des eaux et des sols ;
- poursuivre la réhabilitation des terroirs dégradés et la lutte contre l'érosion éolienne (fixation de dunes, reboisement, création de réseau de brises vents, travaux CES/DRS, etc) et hydrique dans les bassins versant, afin de lutter contre l'ensablement actif des retenues et des mares ;
- élaborer des schémas d'aménagement pour les ressources à fort potentiel de développement ;
- favoriser la mise en place de périmètres de tailles réduites, plus adaptés à l'hétérogénéité pédologique et topographique souvent prononcées des sols ;
- éviter l'exiguïté des parcelles attribuées, au risque de marginaliser l'activité agricole ;
- lutter contre les maladies d'origine hydrique dont le taux de prévalence pourrait être accentué par la mise en valeur des ressources en eau ;
- optimiser la demande évaporatoire grâce à la réalisation de périmètres de type oasien (avec plantation de palmeraies dans le Nord et d'arbres fruitiers dans les zones propices) ;
- mettre en place des circuits commerciaux adaptés afin de réduire le handicap dû l'éloignement de certaines zones (Ouallam, haut dallol Bosso, Nord Téra, etc.) ;

12.2 Caractère écologiquement soutenable de la mise en culture irriguée

L'évaluation du caractère soutenable (environnement) de l'irrigation est abordée sous deux angles principaux :

- caractère soutenable de la productivité des sols, sous l'angle de la susceptibilité à la salinisation (capacité de drainage). Des exemples régionaux et locaux illustreront les risques encourus, en fonction des types pédologiques inventoriés.
- Caractère soutenable de l'exploitation des ressources en eau, en fonction notamment du taux de renouvellement des aquifères, et de l'impact des aménagements agricoles en cours ou passés sur les ressources en eau de surface et sur la recharge des aquifères.

12.3 Technologies d'irrigation adaptées

Les technologies d'irrigation adaptées sont celles qui tiennent compte, pour chaque type de ressources en eau, des paramètres suivants :

- profondeur d'accès à la ressource ;
- débit d'eau mobilisable.
- coût d'exhaure (pompage) ;
- qualité de l'eau ;

Le Tableau 9 résume les recommandations techniques d'aménagement spécifiques à chaque type de ressource en eau de la région, en tenant compte de la variabilité spatiale de ses caractéristiques (profondeur, continuité, débit, etc.). Ce tableau, qui se peut se lire comme une incitation à la diversification de l'irrigation, clôt la conclusion de ce rapport.

RESSOURCE EAU	CATEGORIE	ZONE GEOGRAPHIQUE	Type périmètre	Type ouvrage	Moyen d'exhaure
Fleuve Niger			• petit périmètre collectif • culture de décrue	• prise d'eau • puits	• dérivation • motopompe • manuel
Mares	• Permanentes (y compris barrages) • Semi-permanentes		• petit périmètre collectif • petit périmètre individuel • culture de décrue	• prise d'eau • puits	• motopompe • manuel
Nappes alluviales	Affluents droits	Vallées du Liptako	• petit périmètre individuel	• puits	• manuelle • motopompe
	Dallol Bosso	Nord Filingué	• petit périmètre collectif	• forage profond	• électropompe immergée
		Filingué - Baléyara	• petit périmètre collectif • petit périmètre individuel	• puits cimenté • forage peu profond	• électropompe immergée • pompe à axe verticale avec moteur en surface
		Sud Baléyara	• petit périmètre collectif • petit périmètre individuel	• puits cimenté • forage très peu profond	• motopompe • traction animale • manuelle
Nappe phréatique	Rive gauche		• petit périmètre collectif	• puits cimenté • forage peu profond	• électropompe immergée • pompe à axe verticale avec moteur en surface
Nappes profondes			• petit périmètre collectif	• forage profond	• électropompe immergée

Tableau 9 : Technologies d'irrigation adaptées proposées pour la région de Tillabéri.

13. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDOU BABAYE M., en cours. Evaluation des ressources en eau souterraine dans le bassin du Dargol (Liptako, Niger). Thèse, département de Géologie, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger.
- ABDOULKARIMOU, T., 1988. Détermination géologique des réservoirs du Continental Terminal à l'ouest du Dallol Bosso (Niger). Mémoire de 3^e cycle universitaire (DEA), 54 p. Université de Bordeaux III, France.
- ALLISON G.B., et al. 1990. Land clearance and river salinisation in the western Murray Basin, Australia. *Journal of Hydrology*, 119, 1-20.
- BOECKH, E., 1965. Contribution à l'étude hydrogéologique de la zone sédentaire de la république du Niger. Ministère des Travaux publics et des Mines de la république du Niger. Rapport technique BRGM / BFBH, DAK 65-A 20. Dakar, Sénégal.
- BOUCHER M. et al., 2009. Estimating specific yield and transmissivity with magnetic resonance sounding in an unconfined sandstone aquifer (Niger). *Hydrogeology Journal*, 17, 1805-1815.
- BRGM, 1987. Schéma directeur d'aménagement hydraulique du dallol Bosso. Rapport de synthèse. Ministère des ressources animales et de l'hydraulique du Niger. Direction des ressources en eau. Niamey, Niger.
- CAPPELAERE B. et al., 2003. Hydrologic process simulation of a semiarid, endoreic catchment in sahelian west Niger, Africa : 2. Model calibration and uncertainty characterization. *Journal of Hydrology*, 279, 244-261.
- CARETTE, J., 1991. Evaluation de la disponibilité en eau des plans d'eau au Niger par télédétection : étude de faisabilité. Rapport de synthèse, CEMAGREF, France.
- CHINEN, T. 1999. Recent accelerated gully erosion and its effects in dry savanna, southwest of Niger. Human response to drastic changes of environments in Africa, Faculty of Economics, Ryutsu Keizai Univ. 120, Hirahata, Ryugasaki 301-855, Japan, pp. 67-102.
- CNEDD, 2000. Contrôle de la pollution des eaux souterraines et détermination de son origine dans le département de Téra. Rapport, Cabinet du 1er Ministère / CNEDD, Niamey, Niger.
- CNEDD, 2004. Consultation Sectorielle sur l'Environnement et la Lutte Contre la Désertification : Diagnostic Régional de Tillabéri. Rapport, Cabinet du 1er Ministère / CNEDD, Niamey, Niger, 34 p.
- D'AMATO, N., LEBEL, T., 1998. On the characteristics of the rainfall events in the Sahel with a view to the analysis of climatic variability. *International Journal of Climatology*, 18, 955-974.
- DEHAYS / BRGM, 1990. Programme d'hydraulique villageoise du conseil de l'entente (phase II et IIbis). Etudes d'implantation et contrôle des travaux de points d'eau. Rapport final. Ministère de l'Hydraulique et de l'Environnement de la République du Niger. Rapport technique BRGM / BURGEAP, R 31874 / EAU 4S 90. Orléans et Paris, France.
- DREES, L.R. et al. 1993. Characteristics of aeolian dusts in Niger, West Africa. *Geoderma*, 59, 213-233.
- EHRMANN M., 1999. Etude du fonctionnement et de la dynamique de la brousse tigrée nigérienne. Thèse de doctorat, 178 pp., Université de Paris 6, France.
- FAO, 1976. A framework for land evaluation. *FAO Soils Bulletin No. 32*. 72 p.
- FAO, 1992. Irrigation Water Management: Training Manual No. 6 - Scheme Irrigation Water Needs and Supply.
- FAO, 1997. Irrigation potential in Africa: A basin approach. <http://www.fao.org/docrep/W4347E/w4347e00.htm>

- FAVREAU G., et al., 2009. Land clearing, climate variability and water resources increase in Southwest Niger: A review. *Water Resources Research*, 45, 7, W00A16.
- FAVREAU G., 2000. Caractérisation et modélisation d'une nappe phréatique en hausse au Sahel. Thèse de doctorat. Université de Paris XI, France, 258 pp.
- GARDE, G., 1910. Description géologique des régions situées entre le Niger et le Tchad et à l'Est et au Nord-est du Tchad. Thèse sciences. Université de Paris. Librairie scientifique Hermann (1911), 284 p., Paris, France.
- GAVAUD, M. et BOULET, R. 1967. Carte Pédologique de reconnaissance de la République du Niger 1:500000, Feuille Niamey, ORSTOM, Paris.
- GAVAUD, M., 1966. Etude pédologique du Niger Occidental. Rapport général Tome II+III. Monographie des sols. Centre ORSTOM de Hann, Dakar. 523p.
- GREIGERT, J., 1966a. Recherches et exploitation d'eaux souterraines dans la république du Niger. Compte-rendu des sondages et forages exécutés de juillet 1963 à juillet 1966. Ministère des Travaux publics, des Mines et de l'Hydraulique de la république du Niger. Rapport BRGM, DAK 66-A7, 268 p, Dakar, Sénégal.
- GREIGERT, J., 1966b. Description des formations crétacées et tertiaires du bassin des lullemeden (Afrique occidentale). Ministère des Travaux publics, des Transports, des Mines et de l'Urbanisme de la république du Niger. Direction des mines et de la géologie, 2. BRGM éd., 229 p. Paris, France.
- GREIGERT, J., 1968. Les eaux souterraines de la république du Niger. Ministère des Travaux Publics, des Transports, des Mines et de l'Urbanisme de la république du Niger. Rapport BRGM, 68 ABI 006 NIA, 2 volumes, 407 p. Niamey, Niger.
- GREIGERT, J., et BERNERT, G., 1979. Atlas des eaux Souterraines de la république du Niger. État des connaissances. Rapport BRGM, 79 AGE 00 1. Orléans, France.
- GUÉRO, A., 2003. Etude des relations hydrauliques entre les différentes nappes du complexe sédimentaire de la bordure Sud-ouest du bassin des lullemeden (Niger). Approches géochimiques et hydrodynamiques. Thèse de doctorat. Université de Paris XI, Orsay, France.
- L'HOTE, Y., MAHÉ, G., 1996. Afrique de l'ouest et centrale : carte des précipitations moyennes annuelles au 1: 6 000 000 (période 1951-1989). ORSTOM éd., 90 × 60 cm. Paris, France.
- LE BARBÉ, L., LEBEL, T., 1997. Rainfall climatology of the HAPEX-Sahel region during the years 1950-1990. *J. Hydrol.*, 188-189, 43-73.
- LE GAL LA SALLE, C., 1994. Circulation des eaux souterraines dans l'aquifère captif du Continental Terminal, bassin des lullemeden, Niger. Méthodologie et application : isotopes stables de la molécule d'eau, carbone- 14, chlore-36, uranium et gaz nobles. Thèse Sciences, 127 p. Université de Paris-sud, Orsay, France.
- LE GAL LA SALLE, C., et al., 1995. Old groundwater circulation in the lullemeden basin (Niger): preliminary results of an isotopic study. in: "Application of tracers in arid zone hydrology ", Vienna symposium, 1994. AISH Publ., 232, 129- 139.
- LEBEL, T. et al., 1997. Rainfall monitoring during HAPEX-Sahel. 1. General rainfall conditions and climatology. *Journal of Hydrology*, 188-189, 74-96.
- LEBLANC M., et al. 2008. Land clearance and hydrological change in the Sahel: SW Niger. *Global and Planetary Change*, 61, 135-150.
- LEDUC C. et al. 2001. Long-term rise in a sahelian water-table: The Continental Terminal in south-west Niger. *Journal of Hydrology*, 243, 43-54.
- LEDUC, C. et al., 1997. Water table fluctuation and recharge in semi-arid climate: some results of the HAPEX-Sahel hydrodynamic survey (Niger). *Journal of Hydrology*, 188-189, 123-138.
- LEDUC, C., TAUPIN, J.D., 1997. Hydrochimie et recharge de la nappe phréatique du Continental Terminal (Niamey, Niger), in: "Hydrochemistry", Rabat symposium, 1997. AISH Publ., 244, 235-243.
- MACHENS, E., 1973. Contribution à l'étude des formations du socle cristallin et de la couverture sédimentaire de l'ouest de la république du Niger. Ministère des Mines, de la Géologie et de

l'Hydraulique de la république du Niger. Direction des mines et de la géologie, 4. BRGM éd., 164 p. Paris, France.

MAHÉ G., et al. 2003. Augmentation récente du ruissellement de surface en région soudano-sahélienne et impact sur la ressource en eau. In : Hydrology of Mediterranean and semiarid regions, IAHS publ. No. 278, 215-222.

MARTIN-ROSALES, W. et LEDUC, C., 2003. Dynamiques de vidange d'une mare temporaire au Sahel : l'exemple de Banizoumbou (Sud-ouest du Niger). Comptes Rendus Geoscience, 335, 461-468.

MASSUEL S. et al., 2006. Deep infiltration through a sandy alluvial fan in semiarid Niger inferred from electrical conductivity survey, vadose zone chemistry and hydrological modeling. Catena, 67, 105-118.

MASSUEL S., 2005. Evolution récente de la ressource en eau consécutive aux changements climatiques et environnementaux du sud-ouest Niger. Modélisation des eaux de surface et souterraines du bassin du kori de Dantiandou sur la période 1992-2003. Thèse de doctorat, Université de Montpellier 2, France, 220 pp.

MDA, 2003. Stratégie Nationale de Développement de l'Irrigation et de la Collecte des Eaux de Ruissellement (SNDI / C.E.R.). Rapport, Ministère de Développement Agricole, Niamey, Niger.

MDA, 2009. Résultats de l'enquête sur les productions horticoles 2008/2009. Rapport, Ministère de Développement Agricole / Direction des statistiques, Niamey, Niger.

MH, 2007a. Inventaire des points d'eau et des infrastructures d'assainissement de base dans les départements de Say, Téra et Tillabéri. Rapport final, Ministère de l'hydraulique, Niamey.

MH, 2007b. Inventaire des points d'eau et des infrastructures d'assainissement de base dans les départements de Filingué, Kollo et Ouallam. Rapport inédit, Ministère de l'hydraulique, Niamey.

MH/E, 1993. Liste de mares et leur régime. Rapport Service hydrologique, DRE, 44 p., Niamey, Niger.

MHE/LCD, 2007. Inventaire des points d'eau et des infrastructures d'assainissement de bas dans les départements de Say, Téra et Tillabéri. Rapport final, 31 p. + annexes.

MONFORT, M., 1996. Reconstitution géologique des aquifères du Continental Terminal dans la région de Niamey. Mémoire de 2e cycle universitaire (maîtrise), 50 p. Université de Montpellier II, France.

NAZOUMOU Y., 2007a. Evaluation des Besoins Nationaux en Matière de Recherche et d'Observations Systématiques Terrestres Hydrologiques et Hydrogéologiques. Rapport, CNEDD / PNUD, Niamey, Niger.

NAZOUMOU Y., 2007b. Vulnérabilité des ressources en eau du Niger face aux changements climatiques. Rapport, CNEDD / PNUD, Niamey, Niger.

OUSMANE, B., 1988. Étude géochimique et isotopique des aquifères du socle de la bande sahéenne du Niger (Liptako, Sud-Maradi et Zinder-est). Thèse sciences, 152 p. Université A.M. de Niamey, Niger.

PLOTE, H., 1961. Reconnaissance hydrogéologique du Liptako et des régions adjacentes. Ministère des Travaux publics, des Mines et de l'Hydraulique de la république du Niger. Rapport BRGM, 95 p. Paris, France.

PONS, J. et al. 1995. Mechanisms of pluton emplacement and structural evolution of a 2.1Ga juvenile continental trust: the Birimian of southwestern Niger. Precambrian Research, 70, 281-301.

POUCLET, A. et al., 1990. Les ceintures birimiennes du Niger occidental (Protérozoïque inférieur), nouvelles données pétrologiques et structurales des formations métavolcaniques. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris 2a, 311, 333-340.

PUECH, C. 1992. Evaluation des capacités d'exploitation des plans d'eau sahéens par imagerie SPOT. In : 8^e journées hydrologiques, ORSTOM, sept. 1992.

SCANLON B.R. et al. 1999. Relationship between geomorphic settings and unsaturated flow in an arid setting. Water Resources Research, 35, 983-999.

SIEBERT S., et al. 2005. Development and validation of the global map of irrigated areas, Hydrology and Earth Systems Science, 9, 535-547.

- SCANLON B.R. et al. 2005. Impact of land use and land cover change on ground water recharge and quality in the southwestern US. *Global Change Biology*, 11, 1577-1593.
- SDRP, 2007. Stratégie de Développement Accéléré et de Réduction de la Pauvreté, SRDP, 2008-2012.
- SERVAT E. et al., 1998. Variabilité spatiale des pluies au Sahel : une question d'échelle. 2. Modélisation. *Water Resources Variability in Africa during the XXth Century*. (Proceeding of the Abidjan'98 Conference, Abidjan, Côte d'Ivoire, November 1998). IASH Publ. n°252, 1998, pp153-158.
- TALBOT, M.R., 1980. Environmental responses to climatic change in the west african Sahel over the past 20 000 years. in: "The Sahara and the Nile, quaternary environments and prehistoric occupation in northern Africa, 37-62. Balkema éd., Rotterdam, Pays-bas.
- TIRAT, M., 1964. Contribution à l'étude hydrogéologique du Continental Terminal. Rapport BRGM, NIA.64.A1, 77 p. Niamey, Niger.
- TOURE, A. 2010. Dynamique annuelle de l'érosion éolienne des sols sableux cultivés du Niger. Rôle et impacts des résidus de culture. Thèse (en cours), Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger.
- VOUILLAMOZ J.M., et al. 2005. Characterization of crystalline basement aquifers with MRS : comparison with boreholes and pumping tests data in Burkina Faso. *Near Surface Geophysics* 3, 193-201.
- VOUILLAMOZ J.M., et al. 2008. Contribution of magnetic resonance sounding to aquifer characterization and recharge estimate in semiarid Niger. *Journal of applied Geophysics*, 64, 99-108.

14. ANNEXES

A - 14.1 Mares permanente et semi-permanente (Source : Schéma Directeur, 2003)

Département			Total
	Permanente	Semi-permanente	département
Tillabéri	9	21	30
Ouallam	13	16	29
Filingué	3	21	24
Kollo	7	4	11
Say	11	13	24
Téra	8	19	27
<i>TOTAL</i>	<i>51</i>	<i>94</i>	<i>145</i>

A – 14.2 Répartition des mares par communes dans la région de Tillabéri

Communes	Département	Nombre de mare		
		Permanente	Semi-permanente	Total
Abala	Filingué	-	-	5
Anzourou	Téra	2	-	10
Ayérou	Tillabéri	-	-	4
Bani Bangou	Ouallam	-	2	7
Bankillaré	Téra	-	1	1
Bibiyergou	Tillabéri	-	4	7
Bitinkodji	Kollo	-	1	7
Dargol	Téra	-	2	3
Dessa	Tillabéri	2	-	2
Diagorou	Téra	-	1	1
Diantchandou	Kollo	1	-	1
Dingazi Banda	Ouallam	3	2	8
Filingue	Filingué	1	1	2
Goroual	Téra	-	-	-
Gotheye	Téra	-	-	-
Hamdallaye	Kollo	-	1	2
Imanan	Filingué	1	1	2
Inates	Tillabéri	1	1	2
Karma	Kollo	2	3	5
Kirtachi	Kollo	-	1	1
Kokorou	Téra	-	3	3
Kollo	Kollo	-	5	5
Koure	Kollo	3	2	5
Kourfey centre	Filingué	-	3	5
Kourtéy	Tillabéri	-	-	3
Libore	Kollo	1	4	6
Mehana	Téra	1	4	6
Namaro	Kollo	4	1	6
N'Dounga	Kollo	1	4	7
Ouallam	Ouallam	3	8	11
Ouro	Say	2	1	3
Gueladjo		2	3	5
Parc W		2	3	5
Sakoira	Tillabéri	2	1	3
Sanam	Filingué	3	7	11
Say	Say	-	-	-
Simiri	Ouallam	1	2	3
Sinder	Tillabéri	-	-	-
Tagazar	Filingué	-	1	1
Tamou	Say	-	2	2
Tillabéri	Tillabéri	-	3	3
Tondikandia	Filingué	-	-	3
Tondikiwindi	Ouallam	2	2	6
Torodi	Say	-	-	-
Téra	Téra	1	-	2
Youri	Kollo	-	1	1

A – 14.3. Principaux barrages de la région de Tillabéri

bassin	Rivière	Site	Lat. Nord	Long. Est	Date réalisation	Superficie aménagée	Capacité (M m ³)	état
Niger	Dargol	Téra	14°01'	0°045'		150+	211	Assez bon
Niger	Famalé	Them	14°43'	1°20'		pastoral	0.25	
Niger	Tapoa	Camp de chasse	12°28'	2°24'		Faune sauvage	117	Assez bon

NB : Les ponts barrages sont au nombre de 6 sur la route Farié-Téra (Bouro, Dargol, Demba, Bandio, Koulbaga, Foullo koira)

A – 14.4. Principaux barrages en projet

bassin	Rivière	Site	Lat. Nord	Long. Est	Date réalisation	Superficie aménagée	Capacité (M m ³)	état
Niger	Niger	Kandadji	1436	0058			1.3 à 6.8 Milliards	En projet
Niger	Niger	Gambou (w)	1231	237			394 à 975 Millions	En projet
Niger	Dargol	Kodokwara		30			50 Millions	
	Sirba	Larba Kwara					50 Millions	
	Gouroub	Diongore					8.5 Millions	
	Tapoa	Camp de chasse	121340	237			935 Millions	En étude
	Mekrou	Dyondyonga	1429	20				

A – 14.5. Mini barrages réalisés dans le cadre du PSPR (Source : MHE, com. pers.)

Département	Site	Lat.	Long.	Date réalisation	Superficie aménagée	Capacité (M m ³)	Coût Prévisionnel
Kollo	Bartchawel			2001	25	0,03	51 087 225
Kollo	Aboka			2001	150	1,5	51 087 225
Tillabéri	Bonkor			2001	50	1,5	68 224 044
Tillabéri	Mari			2001	60	2,0	59 260 980
Tillabéri	Gaigorou			2002		0,13	13 790 956
Ouallam	Hamagorou			2002	13	0,03	60 000 000
Ouallam	Fanakoira			2002	25		123 230 622
Filingué	Kandoum			2002	40	2,0	
Filingué	Sanam			2001	150	1,5	
Say	Tchantchergou			2002		0,3	60 000 000
Say	Djébou			2003-2004	100		485 000 000

A-14.6. Superficies irriguées, rendements et productions des LEGUMES dans la région de Tillabéri durant la campagne 2008/2009.

Départements		Laitue	Chou	Tomate	Carotte	Aubergine	Oignon	Concombre	Courge	TOTAL
Tillabéry Dépt	Superficie	324	489	159	13		125	5	20	1 135
	Rendement	14879	15280	6954	11874		16987	17 845	15918	14171
	Production	4821	7472	1106	154	-	2123	89	318	16084
Fillingué	Superficie	62	84	17	11	2	35		5	216
	Rendement	13975	14125	7659	10080	9712	15997		14975	13649
	Production	866	1187	130	111	19	560	-	75	2948
Kollo	Superficie	39	359	217	8	4	83	1	33	744
	Rendement	16795	17020	10985	10095	10215	15231	13954	16125	14894
	Production	655	6110	2384	81	41	1264	14	532	11081
Ouallam	Superficie	19	59	170	37	2	7		6	300
	Rendement	13695	14526	7285	9089	9545	15420		13995	9677
	Production	260	857	1 238	336	19	108	-	84	2903
Say	Superficie	56	176	15		5	25	2	88	367
	Rendement	17084	16480	10510		9875	18513	15267	15268	16079
	Production	957	2900	158	-	49	463	31	1344	5901
Téra	Superficie	33	41	5			57	1	1	138
	Rendement	19125	19875	11054			17582	11249	14957	18331
	Production	631	815	55	-	-	1002	11	15	2530
Total	Superficie	533	1208	583	69	13	332	9	153	2900
	Rendement	15366	16011	8698	9888	9904	16628	16107	15476	14292
	Production	8190	19341	5071	682	129	5520	145	2368	41447

Sources : Ministère du Développement Agricole (MDA) / Direction de la statistique.

A – 14.7. Superficies irriguées, rendements et productions des RACINES ET TUBERCULES dans la région de Tillabéri durant la campagne 2008/2009.

Départements		Pomme de terre	Patate douce	Manioc	TOTAL
Tillabéry Dépt	Superficie	61	310	15	386
	Rendement	19875	17623	16992	17954
	Production	1212	5463	255	6930
Fillingué	Superficie	72	142	78	292
	Rendement	18964	17682	14893	17253
	Production	1365	2511	1 162	5038
Kollo	Superficie	36	135	1282	1453
	Rendement	15236	16752	15069	15230
	Production	548	2262	19318	22128
Ouallam	Superficie	12	3	6	21
	Rendement	12095	13562	14287	12931
	Production	145	41	86	272
Say	Superficie	52	129	126	307
	Rendement	13982	15464	11956	13773
	Production	727	1995	1506	4228
Téra	Superficie	3	47	14	64
	Rendement	15319	16365	10285	14986
	Production	46	769	144	959
Total	Superficie	236	766	1521	2523
	Rendement	17137	17024	14774	15678
	Production	4044	13040	22471	39556

Sources : Ministère du Développement Agricole (MDA) / Direction de la statistique.

A – 14.8. Superficies irriguées, rendements et productions des LEGUMINEUSES dans la région de Tillabéri durant la campagne 2008/2009.

Départements		Niébé	TOTAL
Tillabéry Dépt	Superficie	6	6
	Rendement	526	526
	Production	3	3
Fillingué	Superficie		-
	Rendement		-
	Production	-	-
Kollo	Superficie		-
	Rendement		-
	Production	-	-
Ouallam	Superficie	2	2
	Rendement	413	413
	Production	1	1
Say	Superficie	3	3
	Rendement	312	312
	Production	1	1
Téra	Superficie	1895	1895
	Rendement	501	501
	Production	949	949
Total	Superficie	1906	1906
	Rendement	501	501
	Production	954	954

Sources : Ministère du Développement Agricole (MDA) / Direction de la statistique.

A – 14.9 Superficies irriguées, rendements et productions des EPICES ET STIMULANTS dans la région de Tillabéri durant la campagne 2008/2009.

Départements		Piment	Poivron	TOTAL
Tillabéry Dépt.	Superficie	200	152	352
	Rendement	10132	15213	12326
	Production	2026	2312	4339
Filingué	Superficie		3	3
	Rendement		15005	15005
	Production	-	45	45
Kollo	Superficie	272	81	353
	Rendement	10325	17047	11867
	Production	2808	1381	4189
Ouallam	Superficie	2	1	3
	Rendement	9621	16231	11824
	Production	19	16	35
Say	Superficie	75	25	100
	Rendement	6859	16257	9209
	Production	514	406	921
Téra	Superficie	180	12	192
	Rendement	8952	15682	9373
	Production	1611	188	1800
Total	Superficie	729	274	1003
	Rendement	9575	15872	11295
	Production	6980	4349	11329

Sources : Ministère du Développement Agricole (MDA) / Direction de la statistique.

A – 14.10 Répartition du nombre de pieds d'arbres en production dans la région de Tillabéri durant la campagne 2008/2009.

Départements		Manguier	Agrumes	Goyavier	Dattier	Papayer	TOTAL
	Nombre pieds d'arbre	6052	327	515		117	7011
	Production	2945	922	920		36	4823
Filingué	Nombre pieds d'arbre	4902	341	625			5868
	Production	2021	555	198			2774
Kollo	Nombre pieds d'arbre	13 160	4156	200	57		17573
	Production	6522	1803	43	14		8382
Ouallam	Nombre pieds d'arbre	-	-	-	-	-	-
	Production	-	-	-	-	-	-
Say	Nombre pieds d'arbre	10056	2514	3511			16081
	Production	4086	548	936			5570
Téra	Nombre pieds d'arbre	8215	5210	1443	20		14888
	Production	3054	1 112	397	8		4571
Total	Nombre pieds d'arbre	42385	12548	6294	77	117	61 421
	Production	18628	4940	2494	22	36	26120

Sources : Ministère du Développement Agricole (MDA) / Direction de la statistique.

A-14.11 Critères utilisés dans l'évaluation de la capacité des sols à supporter l'irrigation

CRITERIA	CONDITION	UPLAND CROPS	FLOODED RICE
Topography: slope	Optimum	< 2%	< 2 %
		2-8%	2-8%
Drainage (1)	Optimum	W	P
	Marginal/Range	MW-1	VP-W
Texture (2)	Optimum	L-SiCL	CL-MCm
	Range	SL-MCs	SL-MCm
Soil depth	Optimum	> 100 cm	> 50 cm
	Marginal	50 - 100 cm	20 - 50 cm
Surface stoniness		no stones are acceptable	no stones are acceptable
Subsurface stoniness	Optimum	< 40 %	< 40 %
	Marginal	40- 75 %	40- 75 %
Calcium carbonate	Optimum	< 30 %	< 15 %
	Marginal	30- 60 %	15 - 30 %
Gypsum	Optimum	< 10 %	< 3 %
	Marginal	10 - 25 %	3 - 15 %
Salinity (3)	Optimum	< 8 mmhos/cm	< 2 mmhos/cm
	Marginal	8 - 16 mmhos/cm	2 - 4 mmhos/cm
Alkalinity (3,4)	Optimum	< 15 ESP	< 20 ESP
	Marginal	15 - 30 ESP	20 - 40 ESP

(Source: FAO, 1997)

(1) Drainage: W = Well drained; MW = Moderately Well drained; I = imperfectly drained; P = Poorly drained; VP = Very Poorly drained.

(2) Texture: L = Loamy; SiCL = Silty Clay Loam; SL = Sandy Loam; CL = Clay Loam

(3) Salinity and alkalinity: The criteria refer to salinity and alkalinity conditions that can be accepted for irrigation and possibly improved by irrigation management. The choice of crops has to be made with regard to the local salinity and alkalinity situation.

(4) Alkalinity: ESP = Exchangeable Sodium Percentage.

A-14.12. Aptitudes à l'irrigation des unités de sols

Classe d'aptitude	Irrigable (apte)	Difficilement irrigable (moyenne à marginalement apte)	Non irrigable (inapte)
Type de sols	– Sols hydromorphes à pseudogley ou à amphigley – Sols hydromorphes à gley sur dépôts fluvio-lacustres – Sols hydromorphes à gley de surface, d'ensemble ou de profondeur – Sols bruns eutrophes tropicaux – Sols bruns hydromorphes – Sols bruns ferruginisés – Vertisols topomorphes – Vertisols lithomorphes – Andosols tropicaux hydromorphes	– Sols hydromorphes à gley et anormaux calciques lacustres – Sols hydromorphes à redistribution calcaire – Sols hydromorphes sulfato-acides – Sols halomorphes à alcalis – Sols faiblement ferrallitiques modaux – Sols ferrallitiques moyennement désaturés – Sols sulfato-acides – Sols hydromorphes organiques tourbeux – Sols bruns ferruginisés – Sols bruns subarides – Sols bruns rouges subarides modaux – Andosols tropicaux normaux	– Sols minéraux bruts – Sols minéraux bruts de déserts – Lithosols sur cuirasse – Lithosols sur roches – Sols peu évolués d'érosion régosoliques – Sols peu évolués d'érosion lithique – Sols peu évolués d'apport colluviaux – Sols peu évolués d'apport éoliens – Sols peu évolués d'apport maritime – Sols ferrugineux indurés – Sols ferrugineux peu profonds – Sols ferrugineux peu lessivés sableux – Sols ferrugineux peu lessivés – Sols ferrugineux indurés – Sols halomorphes lacustres à croûtes calcaires ou à alcalis – Sols ferrallitiques indurés – Sols à amas calcaires – Sols calcimorphes

A –14.13. RECOMMANDATIONS SPÉCIFIQUES POUR LA MARE DE TINGA (OUALLAM)

1. Quelques caractéristiques générales

- chapelet de mares du kori Faloufa, long de 16 km entre Tinga (14.31767°N et 2.04986°E) et Tolkoboye (14.21893° N et 2.12671°E) ;
- une mare permanente en amont (Tinga) et plusieurs « mares » semi-permanentes (Dareydey, Adamoussou, Sargane, Tolkoboye, etc.) ;

2. Caractéristiques de la mare de Tinga

- mare permanente longue de 1,5 à 2,0 km alimentée par les eaux souterraines de la nappe phréatique alluviale, en continuité avec le CT ;
- mare encaissée, avec une épaisseur d'eau pouvant atteindre 5 m en saison des pluies ;
- Eau relativement salée ;
- mare empoisonnée par introduction de carpes depuis plusieurs années (une trentaine d'années ?) ;
- présence de série de puits cimentés de 1,4 m de diamètre et de profondeur ne dépassant pas les 5 m (profondeur d'eau de 2 m, foncés de part et d'autre de la mare sur plusieurs km) ;
- mare en constante augmentation de superficie et de dynamique de vidange, en témoigne l'eutrophisation caractérisée par la perte de la végétation arborée (souches visibles en rive droite) ;
- exploitation très limitée pour l'irrigation (patate douce, manioc, maraichage, etc.) ;

3. Atouts pour l'irrigation

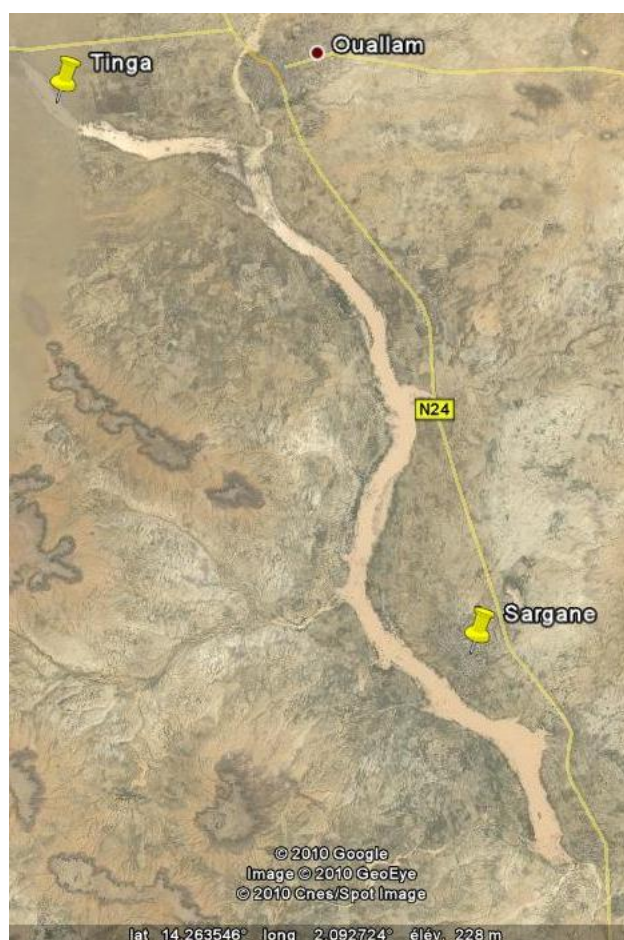
- disponibilité des ressources en eau de surface et souterraines ;
- bonne expérience, bien que limitée, des exploitants en matière d'irrigation ;
- importante demande en appui ;
- existence de groupements féminins ;
- existence de marchés locaux (Mangaïzé, Ouallam) et régionaux (Niamey, Tillabéri) ;
- importance de l'agriculture irriguée bien comprise des exploitants (augmentation constante des superficies emblavées) même si le jardinage est souvent considéré comme une activité de « femme » ou de « vieillards » ;

4. Inconvénients

- risque de salinisation des sols comme en témoigne l'encroûtement fin et l'exploitation saline des sols ;
- envahissement par le *Thyffa australis* qui colonise la mare à partir de son extrémité amont ;
- ensablement progressif par apports des koris en tête de la mare et les dunes vives des berges ;
- berges à pente localement forte de quelques %, notamment en amont sur la rive droite ;
- risque de parasitage des cultures du fait de la présence de puces et termites dans les sols ;

5. Recommandations

- réhabilitation et fonçage de puits cimentés ou de forage à faible coût ;
- appui en matériel de clôture (grillages, barbelés, supports) et de production (motopompe, arrosoirs, etc.) ;
- appui en intrants (engrais, semences, etc.) ;
- mise en œuvre d'un drainage adapté ;
- reboisement de berges des ravines menacées par l'érosion hydrique notamment en rive droite ;
- structuration des exploitants : des structures féminines existent, appuyées depuis plusieurs années par les ONGs. Les structures masculines sont presque inexistantes ;
- prise en compte des aspects socio-environnementaux (enquête sociale) et notamment appuyer l'ensemble des exploitants... ;



Le système des mares de Tinga, au sud de la commune de Ouallam (extrait Google Earth©, 09/2010)

A – 14.14 TERMES DE RÉFÉRENCE

**Coopération Nigéro – Allemande
Lutte Contre la Pauvreté Tillabéri et Tahoua Nord (LUCOP)**



Bureau de Coordination
Régional LUCOP Tillabéri

Termes de référence

«Etude sur des ressources en eau dans la région de Tillabéri et leur potentiel de mise en valeur par l'agriculture irriguée»

A. CONTEXTE ET JUSTIFICATION

A partir de juin 2010 la coopération Allemande veut intensifier ses interventions dans le domaine agricole et notamment dans l'irrigation des exploitations situées dans les régions de Tahoua Nord et Tillabéri en vue de contribuer considérablement à l'augmentation des revenus des ménages ruraux. Les deux antennes régionales de l'actuel programme LUCOP, à savoir le programme régional de Tillabéri et de Tahoua Nord, ont déjà mené quelques expériences dans la mise en valeur de sites irrigables qui se sont avérées prometteuses. En perspective du futur programme le LUCOP compte faire une étude de courte durée sur les potentialités des ressources en eau utilisables pour l'irrigation.

B. OBJECTIFS DE L'ETUDE :

Les objectifs de l'étude sont d'établir un inventaire actualisé des ressources en eau dans la région de Tillabéri, d'évaluer leur potentiel pour l'irrigation (superficie actuellement exploitée et les activités actuellement en cours et des potentiels d'expansion), ainsi que de proposer des types d'irrigation appropriés.

C. TACHES DU CONSULTANT

La tâche du Consultant est en premier lieu de se familiariser avec des études / inventaires des quantités d'eaux existantes (IRD, étude-Lahmeyer, Etude ABN Blanken, SIGNER, etc.) et, après les avoir dépouillé, élaborer un inventaire des données et un sommaire des résultats. En plus, le Consultant s'informerait sur les superficies actuellement irriguées et sur les activités de développement en cours et prévues soit par des entreprises privées soit avec l'appui d'autres bailleurs de fonds (BAD, Banque mondiale, Coopération Belge, World Vision, etc.).

Le Consultant se rendra sur le terrain pour se familiariser avec la pratique de l'irrigation actuelle. Des propres relevés (p.e. vérification des superficies) ou analyses (hydrologiques ou hydrogéologiques) ne sont pas prévus.

Le Consultant finira l'étude avec des conclusions concernant le potentiel de l'irrigation et le rôle qui peut jouer la coopération allemande dans le développement accéléré de ce sous-secteur. Il élaborera des recommandations pour les prochaines démarches de la part de la coopération y relatives. Ces recommandations pourront inclure des activités ayant pour but l'appui aux cultures maraichères dans la vallée du Niger.

Le Consultant présentera les résultats principaux dans le cadre d'une réunion de restitution au LUCOP à Niamey.

D. RESULTATS ATTENDUS

- Brève description des objectifs, de l'ampleur, des investigations et recensements, des données cartographiques et résultats des études ayant pour thème les ressources en eau et le potentiel de l'irrigation dans la Tillabéri.
- Dépouillement des études, recensements et cartes géographiques disponible au SIGNER, concernant toutes les données existantes sur des puits et forages en service, du réseau hydrographique de surface et souterrain.
- Actualisation des données si besoin en particulier sur la disponibilité en eau des mares permanentes, semi permanentes et temporaires de la région de Tillabéri.
- Sur cette base, inventaire des ressources en eau (apports maîtrisables, eaux souterraines, mares) et estimations sommaires des quantités et qualité (chimie) de l'eau disponibles pour l'irrigation en fonction de la période de l'année, en tenant compte des besoins de l'ensemble des usagers (notamment, pastoralisme, usage domestique).
- Estimations des superficies irrigables.
- Recommandation des mesures d'aménagement nécessaires pour une meilleure valorisation des ressources en eau.
- Recommandation des technologies d'irrigation adaptées (pompage à partir de puits, forages ou du fleuve, barrages avec périmètre, barrage pour cultures de décrue, seuils de ralentissement, etc.).
- Estimations globales des coûts unitaires d'investissement (sur la base des estimations données dans les études et des données disponibles pour des aménagements récents) ; estimations des rendements des principales cultures.
- Recommandations sur le caractère écologiquement soutenable de la mise en culture irriguée (en particulier, en tenant compte du taux de renouvellement des eaux souterraines et des eaux de surface).

E. METHODOLOGIE

L'IRD travaillera conjointement avec le département de Géologie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey.

L'IRD soumettra pour le 24 juillet 2009:

- une offre technique détaillant le personnel et la méthodologie
- une offre financière donnant le coût global de la prestation

F. DUREE ET CALENDRIER DE LA CONSULTATION

La durée prévue de la consultation est estimée à 60 jours (deux mois).

La période d'exécution de la consultation est prévue au cours de la période allant du 25 juillet au 25 Septembre 2009.

Soumission d'un rapport provisoire au bout de 45 jours (avant le 10 septembre) ; soumission du rapport définitif une semaine après réception des observations 10 octobre (rapport principal 30 pages, information détaillée dans des annexes)

F. MANDATAIRE :

Le mandataire de la présente mission est le Programme Lutte Contre la Pauvreté (LUCOP), notamment la coordination régionale LUCOP Tillabéri. BP 10 814 Niamey Niger.