

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER SPECIALISE EN GESTION INTEGREE
DES RESSOURCES EN EAU**

**RESSOURCES EN EAU DANS LA REGION DE TILLABERI (SUD-
OUEST NIGER) ET LEUR POTENTIEL DE MISE EN VALEUR
PAR L'AGRICULTURE IRRIGUEE**

Présenté et soutenu publiquement le [Date] par

Ibrahim MAINASSARA

Travaux dirigés par : Dr. & ing. Yahaya NAZOUNOU

Département de Géologie

Université Abdou Moumouni de Niamey

Jury d'évaluation du stage :

Président : Prénom NOM

Membres et correcteurs : Prénom NOM

Prénom NOM

Prénom NOM

Promotion [2009/2010]

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à exprimer des louanges à Dieu le Tout Puissant par la Grâce de qui j'ai su mener à bien ce modeste travail.

Mes remerciements vont à l'endroit :

- *De M. NAZOUMOU Yayaha qui n'a ménagé aucun effort pour me guider et me soutenir dans l'accomplissement de ce travail.*
- *De M. FAVREAU Guillaume qui a bien voulu m'accueillir à l'IRD pour mon stage et a aussi fait de son mieux pour m'assurer un bon cadre de travail.*
- *Des membres du jury qui vont donner de leur temps pour juger mon travail.*
- *De tous les Enseignants et personnel administratif du 2ⁱE qui se sont pleinement investis afin de nous assurer un bon encadrement.*
- *De tous les étudiants de la promotion GIRE 2010 du 2ⁱE, avec lesquels j'ai passé des moments inoubliables.*

MAINASSARA I.

RESUME

Au Niger, le développement de l'irrigation est plus que jamais indispensable pour garantir la sécurité alimentaire. Les ressources en eau associées aux ressources en sols constituent les bases de tout développement de l'agriculture irriguée. Par conséquent, l'information sur la disponibilité spatiale et temporelle de l'eau est utile pour utiliser de manière optimale les ressources en eau. C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente étude qui se propose d'analyser les potentialités de la région de Tillabéri située au Sud-ouest du pays, en termes de ressources en eau et en terres pour un développement de l'agriculture irriguée. Sur la base des données de la recherche documentaire et les résultats cartographiques, l'étude nous révèle l'importance du potentiel en ressources en eau et en terres irrigables dont dispose la région malgré les disparités qui existent entre les différentes parties de la région. La confrontation des données sur les ressources et les terres nous a permis d'identifier plusieurs zones qui combinent à la fois disponibilité, accès facile à l'eau et terres aptes à l'irrigation. Il s'agit des zones de la vallée du fleuve Niger et ses affluents de la rive droite, du dallol Bosso et des vallées des koris à l'est du fleuve, pour lesquelles nous avons proposé des mesures d'aménagement envisageables pour une utilisation rationnelle et intégrée des ressources en eau.

Mots clés :

- 1- Ressources en eau**
- 2- Potentiel**
- 3- Agriculture irriguée**
- 4- Terres irrigables**
- 5- Tillabéri**

ABSTRACT

In Niger, the development of irrigation is more than ever necessary to guarantee food security. The water resources associated with land resources constitute the bases of any development of irrigated agriculture. Consequently, information on the space and temporal availability of water is important for optimal use of water resources. It is in this framework that the present study proposes to analyze the potentialities of Tillabéri region which is located in the south-west of the country, in terms of resources water and lands for a development of irrigated agriculture. On the basis the data of documentary research and cartographic results, the study reveals us the importance of water resources and irrigable lands potential available in the region in spite of the disparities which exist between the different parts of the region. The confrontation of the data on the resources and lands enabled us to identify several zones which combine at the same time availability, easy access to water and lands suited to the irrigation. It is about zones of the valley of Niger river and its affluents of right bank, the dallol Bosso and the valleys of the koris in the east of Niger river, for which we made proposals of possible measurements of installation for a rational and integrated use water resources.

Key words:

- 1- Water resources**
- 2- Potential**
- 3- Irrigated Agriculture**
- 4- Irrigable Lands**
- 5- Tillabéri**

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES	v
I. INTRODUCTION	1
II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	2
2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	2
2.2. POPULATION ET ACTIVITES SOCIO-ECONOMIQUES.....	2
2.3. CARACTERISTIQUES GEOMORPHOLOGIQUES.....	3
2.4. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES	4
2.4.1. <i>La pluviométrie</i>	4
2.4.2. <i>La température, humidité, évaporation et vents</i>	5
2.5. HYDROGRAPHIE-HYDROLOGIE	6
2.6. CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE.....	7
2.6.1. <i>Géologie</i>	7
2.6.2. <i>Hydrogéologie</i>	10
III. OUTILS ET METHODOLOGIE	11
3.1. OUTILS	11
3.2. METHODOLOGIE.....	12
IV. LES RESSOURCES EN EAU	13
4.1. LES RESSOURCES EN EAU DE SURFACE ET LES CONTRAINTES POUR LEUR EXPLOITATION	13
4.1.1. <i>Le fleuve Niger et ses affluents</i>	13
4.1.2. <i>Les mares et retenues artificielles</i>	14
4.1.3. <i>Contraintes liées à l'exploitation des eaux de surface</i>	17
4.2. LES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE ET LES CONTRAINTES LIEES A LEUR EXPLOITATION	18
4.2.1. <i>Les nappes profondes</i>	18
4.2.2. <i>Les nappes peu profondes</i>	20
4.2.3. <i>Les contraintes liées à l'exploitation des eaux souterraines</i>	25
V. POTENTIEL EN TERRES IRRIGABLES	25
5.1. APERÇU SUR LA PEDOLOGIE DE LA REGION	25
5.2. LE POTENTIEL DES TERRES IRRIGABLES.....	27
VI. POTENTIEL D'IRRIGATION DES RESSOURCES EN EAU	28
6.1. QUALITE DES EAUX DE LA REGION ET LEUR USAGE POUR L'IRRIGATION	28
6.2. DISPONIBILITE ET ACCESSIBILITE A L'EAU: MESURES D'AMENAGEMENT ENVISAGEABLES	30
6.3. SYSTEMES DE CAPTAGE ET D'EXHAURE.....	32
6.4. SYSTEMES DE DISTRIBUTION	33
VII. AUTRES OPPORTUNITES DE DEVELOPPEMENT DE L'AGRICULTURE IRRIGUEE	34
VIII. CONCLUSION	36
IX. RECOMMANDATIONS	37
BIBLIOGRAPHIE	38
ANNEXES	40

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N°1: Population, taux de croissance et densité par département.....	3
Tableau N°2: Caractéristiques des écoulements du fleuve et de ses affluents rive droite.....	14
Tableau N°3: Caractéristiques des mares selon leur position topographique et leur morphologie.....	15
Tableau N°4: Répartition des mares par département.....	16
Tableau N°5: Retenues réalisées et sites de barrages potentiels identifiés	16
Tableau N°6: Teneur en Sels des eaux de la région de Tillabéri	29
Tableau N°7: Qualité de l'eau d'irrigation et risque de salinisation du sol.....	29
Tableau N°8: Coûts des équipements de captage et d'exhaure.....	33

LISTE DES FIGURES

Figure N°1: Carte administrative de la région de Tillabéri	2
Figure N°2: Toposéquence type de la région de Tillabéri.....	4
Figure N°3: diagramme ombro-thermique de Tillabéri.....	5
Figure N°4: Carte hydrographique de la région de Tillabéri.....	7
Figure N°5: Carte des affleurements géologiques dans la région de Tillabéri	10
Figure N°6: Coupe schématique à travers le bassin des Iullemmeden, traversant la région (SW-NE) (Greigert, 1966).....	10
Figure N°7: Mare permanente de Tinga (département de Ouallam) menacée par l'ensablement et la prolifération du <i>Thypha Australis</i>	18
Figure N°8: Carte piézométrique de la nappe phréatique générale du CT (Boeck, 1965)	22
Figure N°9: Carte des zones de profondeurs de la nappe phréatique générale du CT	23
Figure N°10: Carte des zones de salures de la nappe phréatique générale du CT.....	24
Figure N°11: Carte des aptitudes des sols de la Région de Tillabéri.....	27
Figure N°12: croûtes de sel sur le sol autour de la mare de Tinga	30
Figure N°13: Techniques de captage et d'exhaure à faible coûts, inventoriées dans le cadre de la petite irrigation privée.....	32
Figure N°14: Réseau Californien, principe et variantes	34

I. INTRODUCTION

A l'image de l'ensemble du pays, les cultures pluviales qui représentent jusque-là l'essentiel de la production agricole dans la région de Tillabéri sont devenues aujourd'hui très aléatoires du fait de la variabilité des pluies. La nécessité d'un développement de l'agriculture irriguée est plus que jamais incontournable pour accroître la production et garantir la sécurité alimentaire des populations. Les ressources en eau associées aux ressources en sols constituent les bases de tout développement de l'agriculture irriguée. Leur connaissance s'impose donc pour une meilleure valorisation de toutes les potentialités. C'est dans cette optique que s'inscrit notre étude, dont l'objectif global est de dresser un inventaire des ressources en eau de la région de Tillabéri et évaluer leur potentiel pour la promotion de l'agriculture irriguée là où les conditions paraissent favorables.

De façon spécifique les objectifs assignés à la présente étude consistent entre autre à:

- dresser un inventaire actualisé des ressources en eau (eaux de surface, eaux souterraines) afin d'identifier les eaux disponibles (quantitativement et qualitativement) pour l'irrigation en fonction de la période de l'année et en tenant compte des besoins de l'ensemble des usagers (notamment pastoralisme et usages domestiques).
- réaliser un inventaire des terres aptes à l'irrigation et donner une estimation des superficies potentiellement irrigables ;
- proposer des mesures d'aménagement nécessaires et des types d'irrigation adéquats pour une meilleure valorisation des ressources en eau en fonction de leur disponibilité et celle des terres aptes à l'irrigation.

Ce rapport qui présente les résultats de l'étude s'articule pour l'essentiel comme suit :

- une présentation générale de la zone d'étude...
- des ressources en eau de la région ...
- du potentiel en terres irrigables...
- du potentiel d'irrigation des ressources en eau et des autres potentialités pour le développement de l'irrigation dans la région.

II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

2.1. Situation géographique

La région de Tillabéri occupe l'essentiel de l'ouest nigérien avec une superficie d'environ 97.251 km² (figure N°1). Elle est comprise entre 0.15° et 4.25° de longitude Est et entre 11.88° et 15.70° de latitude Nord. Elle est limitée à l'Ouest par le Burkina Faso, à l'Est par la région de Tahoua, au Nord par le Mali et au Sud par la région de Dosso et le Bénin.

Elle est découpée en six (06) départements, eux-même subdivisés en 44 communes rurales et urbaines (Kollo, Filingué, Ouallam, Say, Téra, Tillabéri).

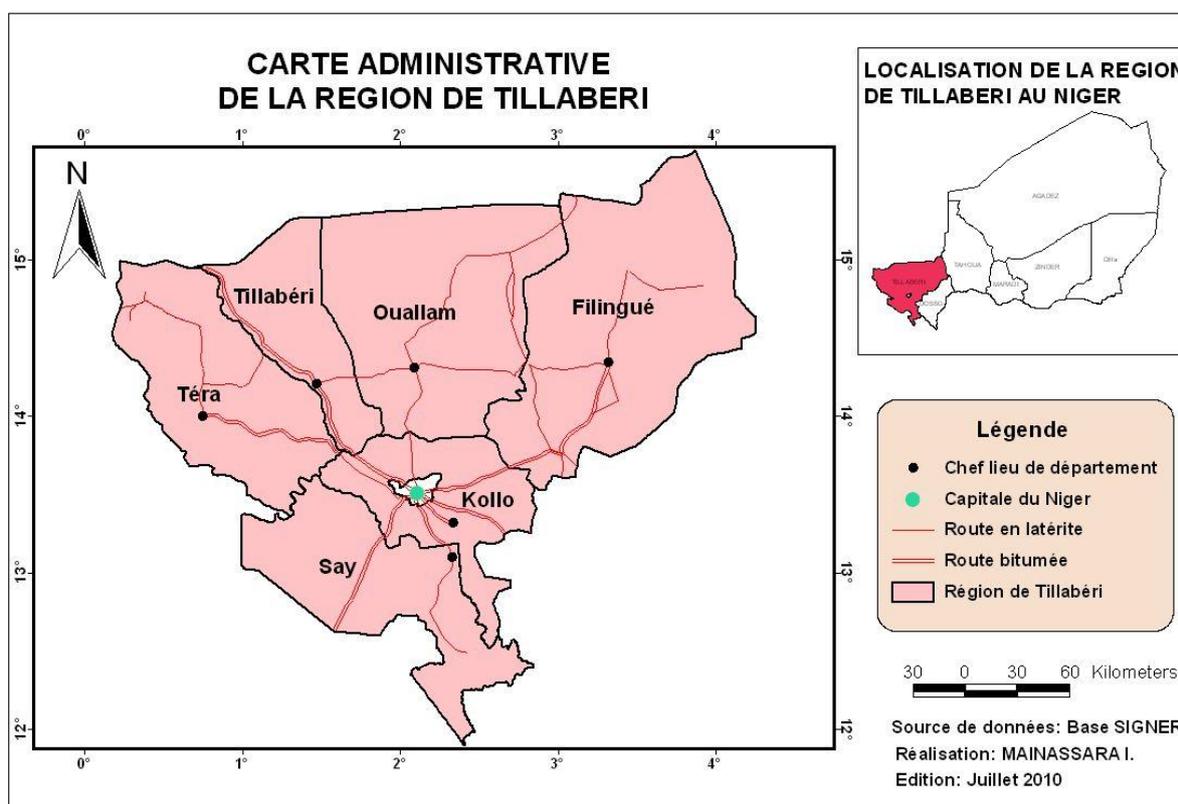


Figure N°1: Carte administrative de la région de Tillabéri

2.2. Population et activités socio-économiques

La population de la région de Tillabéri constituée de plusieurs groupes ethnolinguistiques est estimée à 1.872.436 habitants en 2001, avec une densité et un taux d'accroissement annuel variables selon les départements comme illustré dans le tableau ci-après (tableau N°1).

Tableau N°1: Population, taux de croissance et densité par département

Département	Population 1988(hbts)	Taux de croissance annuel (%) Moyenne (1988-2001)	Population 2001 (hbts)	Densité (hbt/km ²)
Tillabéri	158 202	2,4	217 370	24,6
Filingué	285 977	2,7	406 334	15,4
Kollo	234 588	2,3	308 627	31,7
Say	163 376	2,7	232460	15,9
Téra	295 969	2,6	425 824	26,2
Ouallam	190 171	3,0	281 821	12,7
Total Région	1 328 283	2,6	1.872 436	19,1

Source : Les activités de gestion et mise en valeur des ressources naturelles dans la région de Tillabéri LUCOP Tillabéri (Aout 2008)

L'une des caractéristiques de la région au plan démographique est l'exode de sa population, un phénomène de plus en plus répandu. En effet, face aux déficits céréaliers récurrents, à la dégradation des ressources naturelles et au manque d'activités rentables après la campagne agricole, beaucoup de bras valides n'ont d'autres choix que l'exode vers les pays de la sous région (Ghana, Nigéria, Côte d'Ivoire, Bénin, Togo, Burkina, etc.). Une partie non négligeable des «exodants» se concentrent également dans le Sud de la région et les environs de la capitale Niamey.

Même si beaucoup d'entre eux rentrent au terme de 2 à 3 mois séjour afin de préparer la saison agricole, la proportion de la population active qui quitte la région est inquiétante.

Malgré les disparités entre les zones de la région, l'agriculture est l'activité la plus pratiquée par la population. Essentiellement pluviale et extensive, celle-ci reste fortement tributaire des aléas climatiques dont souffrent les pays sahéliens. L'agriculture irriguée est peu pratiquée et se concentre autour du fleuve Niger et de quelques mares naturelles et artificielles.

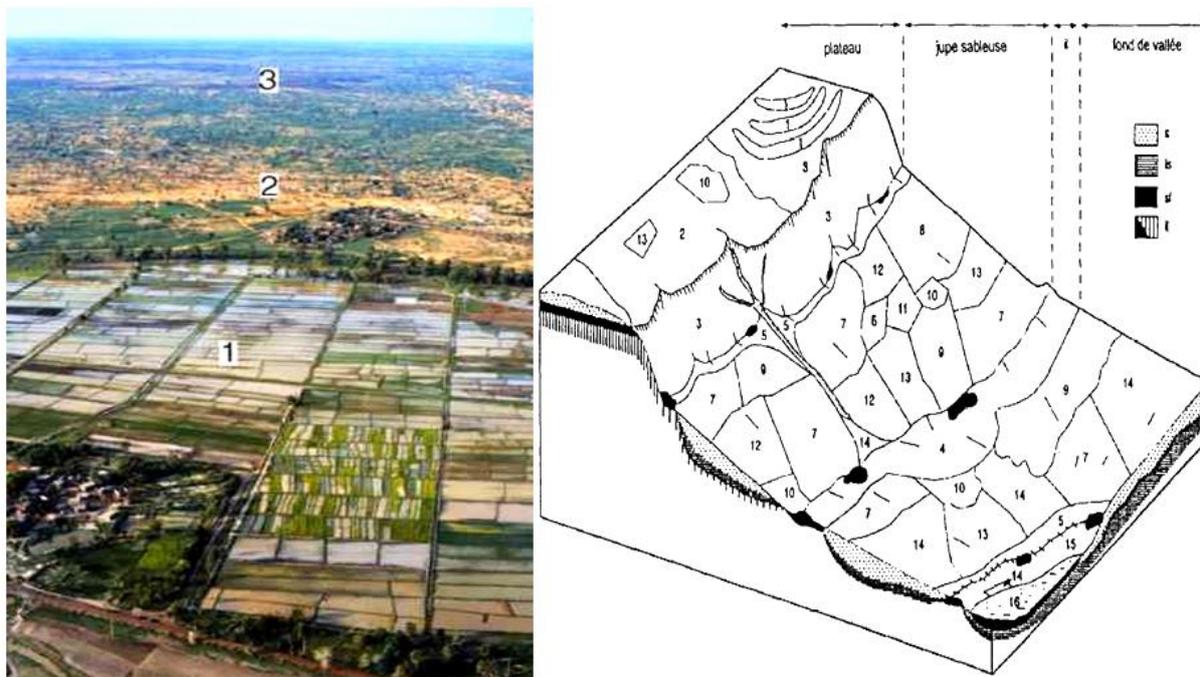
L'élevage constitue la seconde activité des populations de la région. En effet, toute la partie nord de la région est à vocation pastorale. Cet élevage reste encore dominé par la transhumance.

La pêche sur le fleuve et certaines mares, l'artisanat et le petit commerce sont également exercés. De nombreux ménages vivent de deux à plusieurs activités à la fois.

2.3. Caractéristiques géomorphologiques

D'un point de vue morphologique, la région de Tillabéri se caractérise par une importante présence d'affleurements latéritiques. Ces derniers forment de vastes plateaux cuirassés, masqués par endroit (en partie ou en totalité), d'un revêtement sableux souvent induré et mal reconnaissable plus ou moins épais. Inclinés régulièrement du Nord vers le Sud et de l'Est vers l'Ouest, ces plateaux sont peu profondément entaillés par des vallées ensablées (vallée du fleuve, vallées du réseau fossile des dallol à l'Est).

On assiste donc à une géomorphologie caractérisée par une succession de plateaux latéritiques et des vallées ensablées, avec des dénivelés plus ou moins importantes, pouvant atteindre 70 à 80 m. La toposéquence type de la région est illustrée par la figure ci-dessous.



Sources :

Image 1 : Atlas des ressources naturelles et agronomiques du Niger et du Bénin [1] Riziculture irriguée sur les plaines alluviales du fleuve Niger, 2) Vallée sèche et étroite remplie d'eau après une chute de pluie, 3) Plateaux du Continental terminal]

Image 2 : d'après d'Herbès et Valentin, 1997 in Favreau 2000

Figure N°2: Toposéquence type de la région de Tillabéri

Cet état topographique couplé à l'impressionnante dégradation du couvert végétal rend les sols de la région très vulnérables à l'érosion surtout hydrique. En effet, les traces d'érosion sont remarquables même sur les plateaux qui sont par endroit incisés par de larges ravines qui sont la cause de l'ensablement des cours et plan d'eau de la région.

2.4. Caractéristiques climatiques

Située dans la bande sud du pays, la région de Tillabéri est caractérisée par un climat tropical à courte saison des pluies, typiquement semi-aride dont les paramètres présentent une forte variabilité interannuelle.

2.4.1. La pluviométrie

La pluviométrie dans la région se caractérise par une forte variabilité spatiale et temporelle avec un gradient pluviométrique Nord-sud plus ou moins élevé (en moyenne 250 mm/an au Nord de Filingué et 700 mm/an à l'extrême sud de Say).

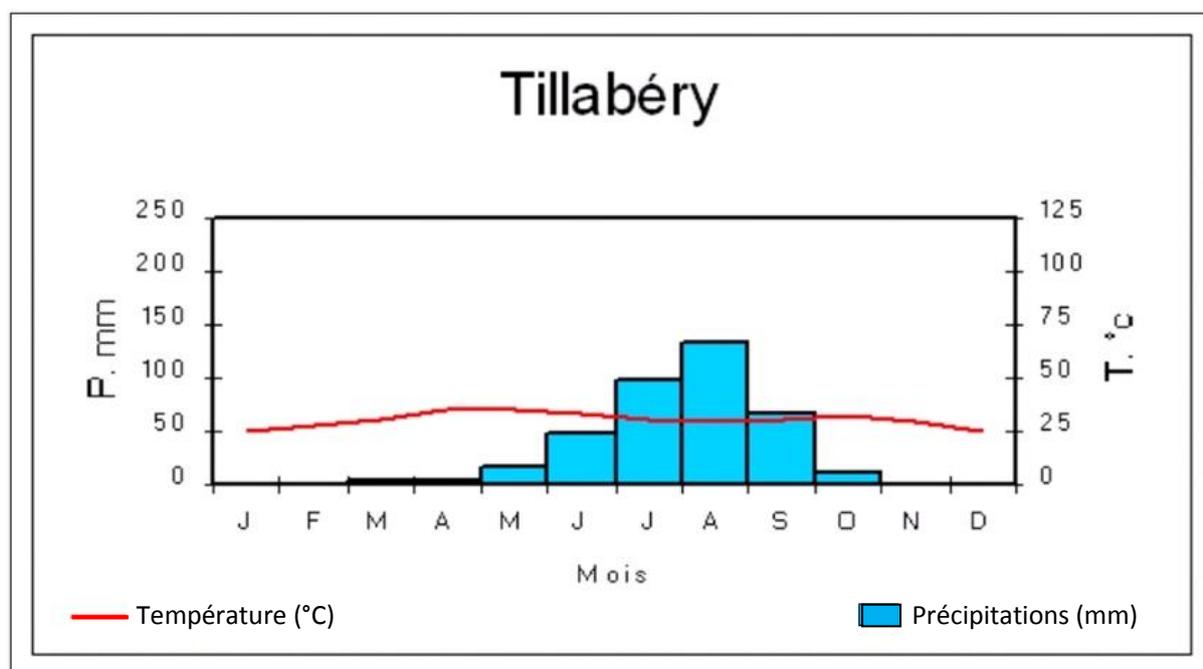
En effet, le zonage climatique du Niger (voir Annexe I) déterminé par la position des isohyètes, place la région de Tillabéri à cheval entre trois (3) zones climatiques :

- la zone sahélo-saharienne ou zone pastorale, moins arrosée (150 à 300 mm/an), qui occupe la partie nord à partir de la latitude d'Ayorou ;
- la zone sahélienne, plus arrosée (300 à 600 mm/an), pour concerne l'essentiel de la partie sud ;
- la zone sahélo-soudanienne très arrosée (>600 mm/an) pour l'extrême sud du département de Say.

La variabilité temporelle des pluies, se caractérise par une irrégularité annuelle et interannuelle. Les pluies tombent pendant 3 à 4 mois de juin à septembre alors que les autres mois restent généralement secs. En outre, les hauteurs pluviométriques annuelles varient d'une année à l'autre dans toute la zone sahélienne.

2.4.2. La température, humidité, évaporation et vents

Les températures sont généralement élevées avec des pics de chaleur pouvant atteindre 45°C en cours de journée en avril et mai. Les températures les plus fraîches sont enregistrées en aout sous l'effet des pluies abondantes, et en décembre-janvier, considérés comme la saison froide; (figure N°3). En outre le régime des températures est caractérisé par des amplitudes thermiques assez faibles.



Source : Atlas des ressources naturelles et agronomiques du Niger et du Bénin moyennes 1969-1998
Figure N°3: diagramme ombro-thermique de Tillabéri

L'évapotranspiration potentielle (ETP) appelée aussi demande climatique est intimement liée à la température. À l'échelle mensuelle, il est à noter que les mois pluvieux se caractérisent par des ETP relativement faibles à cause de la baisse des températures et de l'humidité de l'air. Dans la région de Tillabéri, l'ETP présente une faible variabilité au niveau interannuel et diminue du Nord au Sud, avec des valeurs de l'ordre 2472 mm/an au Nord à 2165 mm/an au Sud (moyenne de 1979-1998, source : *Atlas des ressources naturelles et agronomiques du Niger et du Bénin, Zones bio-climatiques du Niger*). La différence entre les valeurs de l'ETP et celles du cumul pluviométrique annuel indique un fort déficit hydrique sur toute la région.

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.

2.5. Hydrographie-hydrologie

La région de Tillabéri dispose du réseau hydrographique le plus dense du pays. Cependant, seul le fleuve Niger traversant la région sur environ 400 km a un écoulement permanent. Il est alimenté sur sa rive droite par ses principaux affluents (le Gorouol, le Dargol, la Sirba, le Goroubi, le Diamangou, la Tapoa et la Mékrou) et ses affluents secondaires.

Sur la rive gauche, à l'exception de quelques petits torrents qui aboutissent encore au fleuve pendant la saison pluvieuse, l'hydrologie de surface est caractérisée par un endoréisme généralisé. En effet le réseau hydrographique s'ordonnant autour de grandes vallées (Dallol Bosso et son principal affluent droit l'Azgaret, et le Dallol Maori) ainsi que les vallées des Koris (kori Ouallam, Kori Dantiandou), est entièrement fossile, oblitéré par les dépôts d'érosions fluviale et éolienne. Cependant, avec une toposéquence caractérisée par une succession de plateaux et de vallées, on assiste selon l'intensité de la pluie, à des ruissellements sporadiques qui prennent naissance sur les plateaux. Ces écoulements

disparaissent souvent complètement dans de vastes zones d'épandage avant de réapparaître à l'aval pour former finalement des mares de bas-fonds plus ou moins étendues.

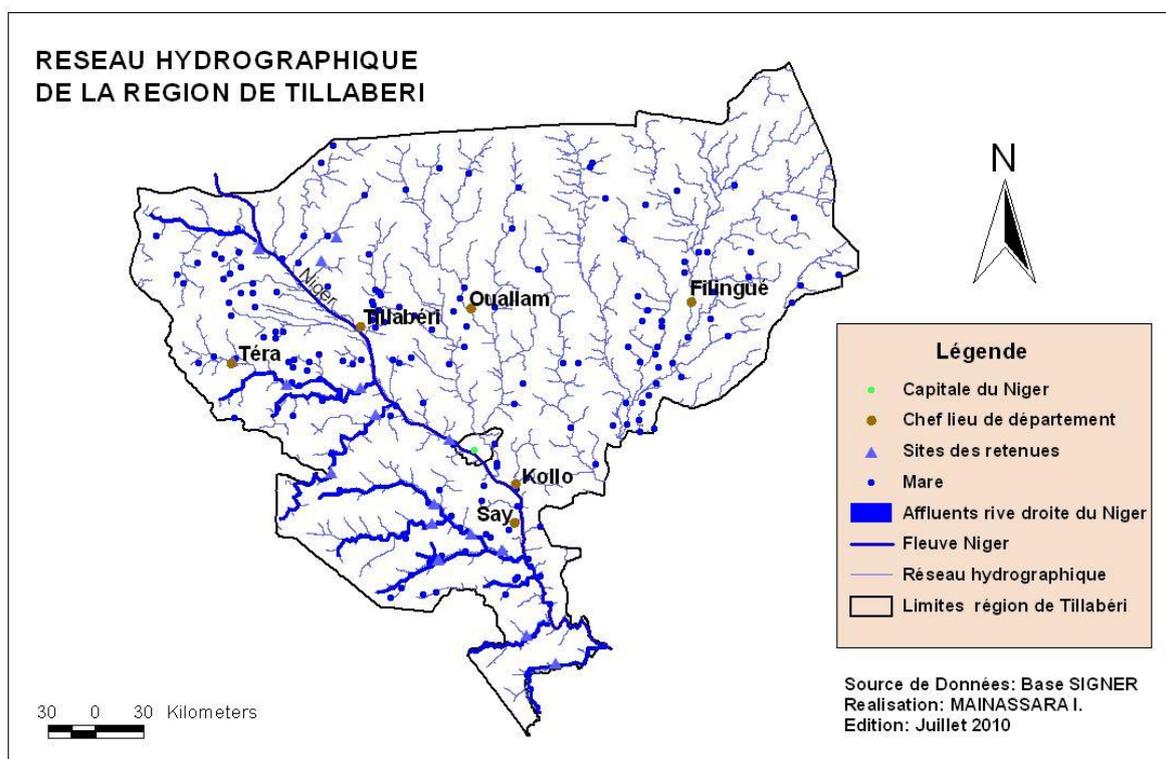


Figure N°4: Carte hydrographique de la région de Tillabéri

2.6. Caractéristiques géologique et hydrogéologique

2.6.1. Géologie

Au plan géologique, la région peut être scindée en deux zones : la partie à l'ouest du fleuve constituant la zone du socle cristallin et l'autre, constituant l'extrémité ouest du bassin sédimentaire des Iullemeden, à l'Est du fleuve.

2.6.1.1. Le socle cristallin du Liptako

Toute partie située à l'ouest du fleuve constitue la zone du socle cristallin du Liptako. Le socle est formé des roches magmatiques essentiellement granitiques (plus de 65% des affleurements), et métamorphiques. Ces roches habituellement compactes sont fréquemment fissurées et altérées par endroit formant ainsi des aquifères là où les conditions le permettent. Au Sud, à partir de la latitude 14°N, des lambeaux d'affleurements latéritiques du Continental Terminal recouvrent le socle sur une largeur d'environ 50 km entre Niamey et Say. Au Nord, un recouvrement dunaire (dunes fixes récentes) le rend invisible à l'exception de quelques îlots; (*Figure N°5*).

2.6.1.2. Le bassin sédimentaire des Iullemeden

A l'exception d'une bande d'affleurement du socle généralement étroite (sauf dans l'extrême nord-ouest où elle atteint 100 km, Tirat, 1964) le long du fleuve, toute la partie de la région située à l'Est du fleuve appartient au bassin sédimentaire des Iullemeden . D'après la coupe schématique réalisée par Greigert (1966) à travers le bassin des Iullemeden, (*figure N°6*), on distingue les formations sédimentaires suivantes :

- Dépôts alluvionnaires récents du Quaternaire ;
- Continental Terminal (CT);
- La sédimentation marine de calcaire ou marno-calcaire du Paléocène ;
- Continental Intercalaire/Hamadien.

a) Les dépôts alluvionnaires du Quaternaire

Ils sont largement hérités des épisodes arides/humides qui se sont succédés au cours du Quaternaire. (Favreau, 2000). Ces dépôts sont constitués par :

- Les alluvions fluviales (galets, graviers, sables et argiles) qui comblent les vallées fossiles du dallol Bosso et son principal affluent l'Azgaret et du dallol Maouri; elles témoignent des périodes plus humides que l'actuelle;
- Les sables éoliens des dunes anciennes fixées et récentes, qui recouvrent indifféremment les formations plus anciennes sous-jacentes, témoignent de l'avancée du désert à un moment donné plus au Sud qu'aujourd'hui;
- Les alluvions modernes des vallées du fleuve Niger et de ses affluents de la rive droite;

La puissance du remplissage quaternaire est très variable. L'épaisseur varie de quelques mètres dans les vallées du fleuve et de ses affluents, à plus de 20 m dans le dallol Bosso (15 m au plus dans l'Azgaret (Tirat, 1964).

b) Le Continental Terminal (CT)

Comme son nom l'indique, le Continental Terminal constitue la dernière série, purement continentale du bassin des Iullemeden. C'est un complexe sédimentaire constitué d'une succession de dépôts quartzo-kaoliniques. (Monfort; 1996). L'examen des affleurements, des photographies aériennes et des coupes de puits a permis à Greigert (1966) de distinguer du sommet à la base de ce complexe continental, trois (3) séries bien distinctes et d'importances inégales en affleurement :

- La série des grès argileux du Moyen-Niger appelée 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. Son sommet est formé de plateaux gréseux à carapace latéritique, recouverts de brousse tigrée et entaillés par l'érosion. Elle repose à l'ouest sur le socle cristallin où son épaisseur est quasi-nulle (biseutage). Vers l'Est, elle recouvre le complexe sablo-argileux du Continental Terminal 2 et son épaisseur peut atteindre plus de 130 m.
- La série argilo-sableuse à lignites appelée Continental Terminal 2 (CT2) qui n'affleure qu'à l'extrême nord-est de la région à partir de Filingué. Cette série est représentée par un complexe comprenant en alternance des sables, des grès fins plus ou moins argileux, des argiles grises ou de vases noires feuilletées, caractérisé par la présence de débris végétaux et de lignite (Tirat 1964). Leur épaisseur augmente d'Ouest en Est pour atteindre plus de 80 m au niveau du dallol Bosso (Favreau, 2000) et plus 180 m à Digdiga situé à l'extrême Nord-Est de la région (Greigert, 1966).
- La série sidérolithique appelée Continental Terminal 1 (CT1), constitue un complexe très variable dans le détail. Elle est formée d'une succession de grès ferrugineux, d'argiles ferruginisées, des sables ou argiles à oolithes et des oolithes ferrugineuses. Cette série n'affleure que dans la partie Est de l'extension du CT. Vers l'Ouest, le CT1 n'existerait pas, il est relayée par la série argilo-sableuse à lignites du CT2 (Favreau, 2001). Au Nord-Est de la région de Tillabéri, on note un affleurement peu différenciée CT1-CT2.

c) Le Continental Intercalaire/Hamadien

Le complexe Continental Intercalaire (CI) / Continental Hamadien (CH) est constitué de grès et sables plus ou moins argileux pouvant dépasser plusieurs centaines de mètres d'épaisseur dans certaines zones du bassin des Iullemeden. A Digdiga, extrême Nord-Est de la région, sur un sondage de reconnaissance, le toit des formations du CH se situe à 410 m de profondeur et ont été traversées jusqu'à une profondeur de 690 m soit 280 m d'épaisseur. Quant aux formations du CI leur toit se situerait à 690 m de profondeur environ et ces argiles et grès ont été traversé jusqu'à une profondeur de 814 m, soit une épaisseur de 276 m (Greigert, 1966).

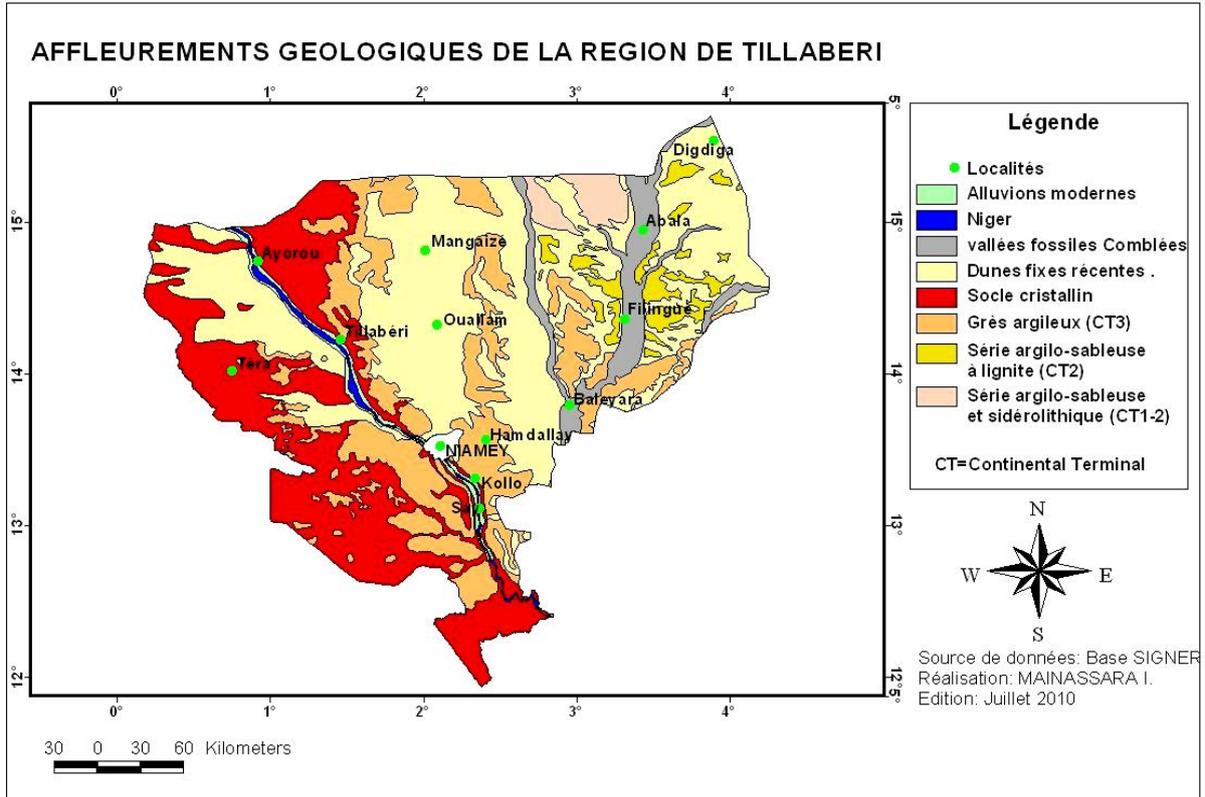


Figure N°5: Carte des affleurements géologiques dans la région de Tillabéri

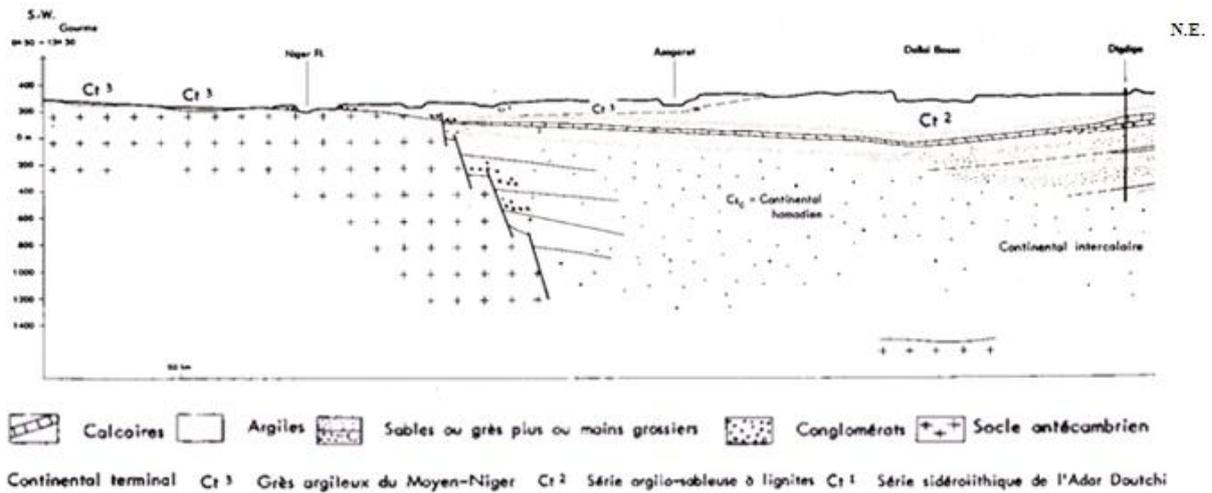


Figure N°6: Coupe schématique à travers le bassin des Iullemmeden, traversant la région (SW-NE) (Greigert, 1966).

2.6.2. Hydrogéologie

Les missions de reconnaissance géologiques et hydrogéologiques (Plote, 1961; Tirat, 1964 ; Greigert, 1966) ainsi que de nombreuses études réalisées dans la zone couvrant la région de Tillabéri, ont permis de mettre en évidence l'existence de plusieurs aquifères. Ces derniers,

qui peuvent être continus ou discontinus, hydrauliquement liés ou non, constituent les ressources en eaux souterraines de la région. Selon les unités géologiques on distingue:

- les aquifères des granites fissurés, des arènes granitiques, ou des quartzito-schiste du socle cristallin;
- Les aquifères des dépôts alluvionnaires du quaternaire ;
- Les aquifères du Continental Terminal, parmi lesquels sont identifiés l'aquifère des sables à la base de la série argileuse à lignite appelé « aquifère des sables inférieurs », l'aquifère des oolithes ferrugineuses et l'aquifère de la nappe phréatique logé dans les différentes formations perméables appartenant au CT3;
- Les aquifères du Continental Intercalaire/Hamadien qui ne sont pas encore captés dans la région.

III. OUTILS ET METHODOLOGIE

3.1. Outils

Ce travail a bénéficié des outils cartographiques numérisés comportant :

Les données du Système d'Information Géographique pour le Niger « SIGNER » outil de planification et d'aide à la décision du Ministère en charge de l'eau développé dans le cadre du projet « Appui au plan eau et développement » PNUD/NER/94/002. Cette base de données contient entre autre des données sur la géographie, la géologie, la pédologie, l'hydrographie, les mares inventoriées, la démographie, etc;

La carte de reconnaissance pédologique de la région au 1/500 000 dressée par Gavaud et Boulet (1967);

La carte piézométrique et la carte des zones de salure de la nappe phréatique du CT au Niger au 1/500000, dressées par Boeckh (1965), que nous avons digitalisées à l'échelle de la région.

Les données altimétriques SRTM¹ 90m, téléchargées sur le site web <http://srtm.csi.cgiar.org/>,

Les images « Geotiff » srtm_37_09 (Long : 0 à 5°E; Lat : 15°N à 20°N) et srtm_37_10 (long : 0° à 5°E ; Lat : 10°N à 15°N) ont été utilisées et leur traitement nous a permis de disposer d'un modèle numérique de terrain à l'échelle de toute la région de Tillabéri.

L'exploitation et le traitement de toutes ces données avec les logiciels SIG ArcView 3.2, ArcGis 9.2 et 3DEM 14.0, ont permis l'élaboration des différentes cartes qui seront fournies dans ce rapport.

¹ Shuttle Radar Topography Mission qui a permis de recueillir des données altimétriques de plus de 80% du globe en 2000 par la navette spatiale américaine Endeavour. SRTM 90 m Digital Elevation Data version 4 avec une résolution de 90 m, offre actuellement les meilleurs modèles numériques de terrain téléchargeables sous forme d'image Geotiff ou ArcInfo ASCII en carreaux de 5 degrés x 5 degrés, sur le site web américain <http://srtm.csi.cgiar.org/> .

3.2. Méthodologie

La méthodologie adoptée pour l'atteinte des objectifs de l'étude comporte les phases suivantes :

3.2.1. La recherche bibliographique

Elle s'est basée sur l'exploitation des rapports d'études, d'inventaires, de mémoires et thèses effectués sur la zone ainsi que des ouvrages et articles scientifiques à caractère plus général dont la liste est donnée dans la partie bibliographie. Cette recherche documentaire nous a permis de collecter de données sur les ressources en eau (eaux de surface et eaux souterraines) et en sols de la région. En ce qui concerne les eaux souterraines, l'accent est particulièrement mis sur les nappes alluviales et la nappe phréatique générale du CT car elles sont les plus connues et documentées dans la région, du fait de leur accessibilité.

3.2.2. L'élaboration des cartes

Les cartes constituent de précieux supports d'informations utilisées pour l'évaluation du potentiel des ressources en eau pour l'irrigation. En effet, elles mettent en évidence, les disparités qui existent entre les différentes parties de la région sur le plan disponibilité, qualité et accès aux ressources en eau, mais aussi la répartition spatiale des terres irrigables.

Les différentes cartes élaborées dans le cadre de cette étude sont :

- Les cartes hydrographique et géologique (ref. supra) ;
- La carte piézométrique donnant les altitudes du niveau statique et les sens d'écoulement de la nappe phréatique générale du CT dans les limites de la région, obtenue en digitalisant la carte piézométrique de Boeckh (1965) ;
- La carte des zones de salure donnant qualité des eaux de la nappe phréatique générale du CT obtenue en digitalisant la carte de salure de Boeckh (1965).
- La carte des zones de profondeur de la nappe phréatique du CT générée à partir des données piézométriques de Boeckh (1965) et le modèle numérique de terrain SRTM 90 m. (Voir annexe II, pour la procédure). Cette carte s'avère utile pour l'appréciation de l'accessibilité à la nappe selon les zones.
- La carte des pentes du terrain naturel, générée à partir des données altimétriques STRM 90 m.
- La carte des aptitudes des sols fournie par la base SIGNER. Cependant nous avons eu recours à la carte de reconnaissance pédologique de Gavaud et Boulet (1967) sur la base de laquelle elle a été établie, afin de comprendre la classification proposée.

3.2.3. Mission de terrain

Elle nous a permis de voir l'état de quelques plans d'eau de la région, réaliser quelques mesures de niveau et de qualité et de s'entretenir avec les producteurs sur leurs contraintes et attentes quant au développement de leur activités agricoles.

3.2.4. Synthèse des données et rédaction du rapport

La synthèse des données collectées de la recherche documentaire, combinées aux données cartographiques, nous ont permis d'établir un inventaire spatialisé du potentiel en ressources en eau et en terres irrigables à l'échelle de la région, ainsi que les contraintes liées à leur exploitation dans le cadre de l'agriculture irriguée. La confrontation des données (eaux ; sols) nous a permis de donner une évaluation du potentiel des ressources en eau pour l'irrigation tout en faisant des propositions sur les mesures d'aménagement envisageables et les technologies et type d'irrigation adéquats pour une valorisation durable. Cette évaluation est basée sur la disponibilité, l'accessibilité et la qualité des eaux pour l'irrigation des terres potentiellement aptes.

IV. LES RESSOURCES EN EAU

4.1. Les ressources en eau de surface et les contraintes pour leur exploitation

Du fait de la densité et de l'activité de son réseau hydrographique, la région de Tillabéri regorge d'un important potentiel en eau de surface constitué de mares naturelles, de retenues artificielles et surtout des écoulements du fleuve Niger et de ses affluents de la rive droite.

4.1.1. Le fleuve Niger et ses affluents

Ce système hydrographique draine l'essentiel des eaux de surface de la région. L'apport moyen annuel est estimé à environ 32 milliards de m³ pour le fleuve Niger et ses affluents de la rive droite (*Programme national de mobilisation des eaux et de développement des cultures irriguées (PME/DCI), avril 2005*).

Le régime du fleuve est caractérisé par trois (3) périodes d'écoulements :

- Une période de crue dite « locale » survenant en août/septembre du fait d'un apport d'importantes quantités d'eau de pluie drainée par ses affluents de la rive droite, dont les plus actifs sont le Gorouol, le Dargol et surtout la Sirba.
- Une période de crue dite « guinéenne » intervenant en janvier/février (crue médiane de 2000 m³/sec) et marquant l'arrivée des eaux provenant haut-Niger (Guinée et Mali).

- Une période d'étiage parfois sévère en mai/juin (étiage médian de 38 m³/sec, arrêt total d'écoulement à Niamey en mai 1985).

Les écoulements des affluents principaux et des koris, sont totalement tributaires des pluies locales, et charrient d'importantes quantités d'eau surtout ces dernières décennies. Les débits maxima sont généralement enregistrés au mois d'août tandis que les tarissements débutent dès le mois de septembre.

Les principales caractéristiques des écoulements du fleuve et de ses affluents de rive droite sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau N°2: Caractéristiques des écoulements du fleuve et de ses affluents rive droite

Cours d'eau	Station Hydro	Superficie du Bassin Versant (km ²)	Volume Moyen Annuel (x10 ⁶ m ³)	Débit Maximum Absolu (m ³ /s)	Régions drainées au Niger	Pays drainés
Niger	Niamey	700 000	28 500	2 340	CU Niamey, Tillabéri, Dosso	Burkina, Guinée Mali, Niger
Gorouol	Alcongui	44 850	220	311	Tillabéri	Burkina, Niger
Sirba	G. Kourrou	38 750	697	491	Tillabéri	Burkina, Niger
Mékrou	Barou	10 500	923	410	Tillabéri	Bénin, Niger
Dargol	Kakassi	4 000	160	-	Tillabéri	Burkina, Niger
Goroubi	Diongoré	15 500	220	-	Tillabéri	Burkina, Niger
Diamangou	Tamou	4 500	100	-	Tillabéri	Burkina, Niger
Tapoa	Parc de W	15 500	40	-	Tillabéri	Burkina, Niger

Source : Ministère de l'Eau de l'Environnement et de la Lutte Contre la Désertification (ME/ELCD)

4.1.2. Les mares et retenues artificielles

Dans région de Tillabéri, la densité du réseau hydrographique et la topographie (existence de plusieurs dépressions), favorisent naturellement la formation des mares naturelles. Ces dernières constituent d'importantes réserves en eau de surface dans la région, du fait de leur nombre et de leurs capacités de rétention parfois importantes. En effet selon les données de la base IRH, 2003 (Inventaire des Ressources Hydrauliques), la région compte plus de 168 mares géoréférencées. Ces mares sont alimentées par les eaux de ruissellement et peuvent être

classées selon leur position topographique et leur morphologie ou leur délai d'assèchement après la saison des pluies.

Selon leur position topographique et leur morphologie, trois (3) types de mares endoréiques sont été distinguées dans la région (d'après Desconnets, 1994 in Favreau, 2000): les mares de plateau, les mares de kori et les mares de versant.

Le tableau ci-après résume quelques principales caractéristiques de ces trois (3) types de mares.

Tableau N°3: Caractéristiques des mares selon leur position topographique et leur morphologie

Type de mare	Forme du lit	Etat du fond du lit	Superficie du bassin versant	Volume de remplissage	Délai de tarissement
Mares de plateau	Lit presque plat et à tendance circulaire	Partie centrale du lit colmatée par une épaisseur décimétrique d'argiles	ne dépasse généralement pas 1 km ²	remplissage maximal de l'ordre de 10 000 m ³	Elles s'assèchent généralement en quelques mois après la saison des pluies (entre novembre et janvier).
Mares de kori	Lit encaissé, allongé dans direction d'écoulement du réseau fossile	Souvent colmaté par de l'argile	Souvent important, de l'ordre de quelques km ²	remplissage potentiel de quelques dizaines de milliers de m ³	- celles à lit colmaté s'assèchent entre février et avril ; - celles à lit non colmaté se vidangent en quelques jours
Mares de versant	profils topographiques intermédiaires entre ceux des mares de plateau et de kori	Souvent non colmaté par de l'argile	Superficie du bassin variable, parfois supérieure à 5 km ²	-	leur vidange se caractérise par son extrême rapidité (quelques semaines). Lorsque leur fond est colmaté par de l'argile, elles peuvent subsister jusqu'en mars.

Sur la base de leur délai de tarissement après la saison des pluies, les mares sont classées en :

- ▶ mares temporaires, qui tarissent quelques semaines après la saison des pluies;
- ▶ mares semi-permanentes qui tarissent seulement 5 à 6 mois après la saison des pluies;
- ▶ mares permanentes qui conservent l'eau toute l'année. Certaines de ces mares sont en connexion hydraulique avec les nappes phréatiques qu'elles drainent notamment dans les grandes vallées fossiles.

La synthèse des données de la base IRH, (2003) nous donne une répartition des ces mares par département comme suit :

Tableau N°4: Répartition des mares par département

Département	Type de mare			Total mares permanentes et semi-permanentes
	Permanente	Semi-permanente	Temporaire	
Filingué	2	8	31	10
Kollo	9	10	2	19
Ouallam	5	14	0	19
Say	2	12	7	14
Téra	12	26	6	38
Tillabéri	6	9	7	15
Total région	36	79	53	115

Source: base de données IRH, 2003

Les eaux de surface et surtout les mares sont utilisées à des fins d'abreuvement du bétail, à cause de leur facilité d'accès (aucun effort à fournir pour l'exhaure) et parfois même pour la consommation domestique. Elles sont également des endroits privilégiés de recharge de la nappe phréatique du CT et des nappes alluviales des vallées.

Actuellement, l'irrigation n'est que très peu pratiquée autour de des mares permanentes et semi-permanentes. Aussi, toute mise en valeur des mares pour le développement de l'irrigation doit chercher une intégration entre les différents usages.

En plus de ces retenues naturelles, la région compte quelques ouvrages artificiels de mobilisation qui permettent le stockage d'importantes quantités d'eau. L'inventaire de 2007 a dénombré trois (3) barrages (Téra, Camp de chasse, them) et six pont-barrages. Il faut aussi noter l'important projet du barrage Kandadji dont les travaux viennent de démarrer sur le fleuve Niger, et qui à terme permettra de mobiliser un volume dépassant le milliard de m³.

Le tableau suivant nous donne la liste des retenues d'eau réalisées et sites de barrages potentiels identifiés sur les affluents du fleuve Niger.

Tableau N°5: Retenues réalisées et sites de barrages potentiels identifiés

Emplacement	Cours d'eau	Capacité (Mm ³)	Etat de l'ouvrage
Barrage de Téra	Dargol	21	Bon Etat
Barrage de Theim	Kori Famalé	21	Passable
Tapoa	Tapoa	0.025	Bon état
Kodokwara	Dargol	50	
Larba Kwarezenou	Sirba	50	
Diongore	Goroubi	50	
Camp de Chasse	Tapoa	8.5	
Dyodyonga	Mékrou	935	

Source : rapport Analyse diagnostique du bassin du fleuve Niger, Juin 2001

D'un point de vue qualité, les eaux des mares apparaissent faiblement minéralisées (charge ionique médiane de 33 mg/l), au pH proche de 7,0 et de faciès principalement bicarbonaté sodi-potassique.

Les mares et retenues d'eau artificielles constituent donc des potentialités importantes qu'il convient de mettre en valeur.

4.1.3. Contraintes liées à l'exploitation des eaux de surface

Une des plus grandes contraintes liées à l'exploitation des eaux de surface dans la région surtout au plan agricole, est leur caractère temporaire.

En effet, les faibles débits d'étiage du fleuve observés ces années et le régime saisonnier de ses affluents, et l'insuffisance des ouvrages de régularisation malgré les nombreux sites favorables identifiés handicapent sérieusement la mise en valeur des potentialités en terres irrigables. En outre, le caractère transfrontalier de nombre de ces cours d'eau impose une concertation permanente entre les pays concernés comme préalable à la réalisation de tout nouvel ouvrage notamment dans le cadre de la vision partagée adoptée par l'Agence du Bassin du Niger (ABN). C'est dans ce cadre que le Niger et le Bénin ont signé récemment un accord de coopération pour la construction du barrage de Dyodyonga sur la rivière Mékrou.

A ces contraintes il faut ajouter le phénomène d'ensablement dont la conséquence est le comblement des lits et une diminution des capacités de stockage des mares et retenues, ainsi que la prolifération de plantes aquatiques qui menacent sérieusement nombre de plans d'eau de la région de Tillabéri.

Une visite sur terrain au niveau de quelques mares en chapelets dans le département de Ouallam nous a permis de confirmer cet état de fait. C'est le cas de la mare permanente de Tinga (*Figure N°7*) dans laquelle prolifère le *Thypha Australis*, une espèce envahissante majeure des zones aquatiques qui colonise peu à peu la mare, rendant notamment difficile l'accès au plan d'eau.

Enfin, il faut signaler que le manque de données fiables sur les ressources en eau de surface non pérenne, notamment au niveau de petits bassins versants, constitue également un obstacle à leur exploitation.



Figure N°7: Mare permanente de Tinga (département de Ouallam) menacée par l'ensablement et la prolifération du Thypha Australis.

4.2. Les ressources en eau souterraine et les contraintes liées à leur exploitation

Du fait des conditions hydrogéologiques particulières de la région de Tillabéri, plusieurs nappes sont inventoriées. Sur la base de leur accessibilité, ces nappes peuvent être réparties en deux (2) groupes : les nappes profondes accessibles uniquement par les forages et les nappes peu profondes accessibles grâce aux puits et forages peu profonds.

4.2.1. Les nappes profondes

4.2.1.1. Les nappes comprises dans les formations du socle cristallin

D'extensions limitées, ces aquifères sont rencontrées sous le biseau sec du CT et la zone du socle. Elles constituent des réserves localisées gisant dans des granites fissurés, arènes granitiques, schistes altérés ou fissurés etc. Elle sont relativement profondes (jusqu'à 70m), et se caractérisent par des débits très faibles dans l'ensemble (quelques centaines de litres/jour à quelques dizaines de m³/jour) et des eaux généralement peu chargées (conductivité moyenne de 456 µS/cm). Les nappes discontinues du socle ont un taux de renouvellement élevé. Elles sont liées aux écoulements de surface et se rechargent par infiltration au niveau des talwegs ayant dégagés ou des affleurements perméables.

Dans les zones du socle cristallin et du biseau sec, le taux d'échec des forages réalisés, est assez élevé à cause de l'irrégularité de ces nappes. L'identification de sites favorables à l'implantation de forages, requiert en pareille circonstance des études géophysiques.

4.2.1.2. Nappes profondes du CT

Sur toute son extension au Niger, le Continental Terminal renferme en profondeur plusieurs nappes, malheureusement mal connues, occultées par la nappe phréatique, facile d'accès, qui limite le nombre d'ouvrages profond. Les deux nappes captives identifiées en profondeur du Continental Terminal dans la région sont la nappe des sables inférieurs et la nappe captive des oolithes.

a) La nappe des sables inférieurs (nappe inférieure du CT2)

Elle est portée par les sables moyens à grossiers du CT2 qui peuvent être très épais (épaisseur 30 à 70 m). Elle est artésienne, jaillissante dans les vallées (Dallols Bosso, Kori Dantiandou) mais en dehors de celles-ci, sa profondeur varie entre 2 et 60 m. Les débits des forages sont supérieurs à 5 m³/h et dépassent localement 60 m³/h.

La minéralisation totale des eaux relativement élevée (conductivités de l'ordre de 1200 à 1600 µS/cm ; charges ioniques de 950±100 mg/L), avec un faciès chimique bicarbonaté sodique.

Les eaux des sables inférieurs prélevées en plusieurs points montrent des températures de l'ordre de 30 à 33°C, des pH de 7,0 à 8,0 et ont donné un âge supérieur à 30000 ans (d'après Le Gal La Salle, 1992 in Monfort 1996) ce qui indique des eaux fossiles, infiltrées sous des conditions plus humides et/ou plus froides que l'actuel (d'après Le Gal La Salle et al. 1995 in Favreau 2000).

b) La nappe captive des oolithes (nappe moyenne du CT2)

Elle est portée par le niveau oolithique intercalé au milieu des argiles grises à lignites du CT2. Le réservoir est constitué de sables fins à moyens d'une épaisseur de 20 à 30 m, mais qui décroît de manière générale en allant vers l'ouest. La nappe est en charge dans la majeure partie de la région mais jamais jaillissante, la profondeur de son niveau variant de 9 à 60 m. Les débits dépassent fréquemment 10 m³/h. Les eaux présentent des températures de 31 à 34°C et un pH compris entre 7,0 et 7,9. La minéralisation est relativement élevée (conductivités de 1000 à 1500 µS/cm, charges ioniques de 850±150 mg/L) avec des faciès chimiques sulfatés à bicarbonatés sodiques.

Le suivi piézométrique des quelques forages implantés dans ces nappes captives faiblement sollicitées (quelques forages pour usage domestique), montre un faible apport de recharge; ce qui met en évidence leur déconnexion hydraulique avec système hydrologique local et l'aquifère de la nappe phréatique sus-jacent (Monfort, 1996; Favreau, 2000).

4.2.1.3. Les nappes profondes du Continental Intercalaire/Hamadien

Les nappes du Continental Intercalaire/Hamadien ne sont pas encore captées dans la région de Tillabéri. Sur le sondage de reconnaissance de Digdiga (extrême Nord-Est de la région), pour une hauteur crépinée de 37 m, le niveau statique est à 18 m de profondeur et le débit était de 53 m³/h pour un rabattement de 6,5 m. La température de l'eau au sortir du forage était 46°C (Tirat, 1964).

4.2.2. Les nappes peu profondes

4.2.2.1. Les nappes alluvionnaires

Ces nappes ont pour réservoir les dépôts alluvionnaires du quaternaire. Elles sont assez répandues dans la région de Tillabéri et constituent des ressources en eau intéressantes du fait de leur abondance et de leur grande facilité d'accès. Elles sont en général tributaires du climat (pluies, évaporation) et présentent des risques accrus de pollution. On peut distinguer trois (3) groupes de nappes alluviales dans la région :

a) Les nappes alluviales de la zone du socle

Elles sont contenues dans les alluvions de la vallée du fleuve Niger, de ses affluents actifs et des koris ou dans les creux interdunaires où le socle a une topographie en cuvette. Ces nappes très peu profondes ne sont importantes que dans la vallée du fleuve. Dans les vallées des koris et affluents du fleuve, elles sont peu importantes en raison de la faible épaisseur des réservoirs et ne résistent que peu à la saison sèche.

b) Les nappes alluviales des vallées fossiles

Elles sont contenues dans les alluvions déposés par le dallol Bosso, son principal affluent (Azgaret) et par certains koris fossilisés (kori de Ouallam, kori de Dantiandou). Nous résumons ici les résultats consignés dans le rapport de Tirat (1964). Dans la partie sud du dallol Bosso (à partir de Bonkougou), la nappe alluviale est continue. Dans cette zone on est quasiment assuré de rencontrer presque partout une nappe alluviale à une profondeur variant de 0 m (mare permanente correspondant à un affleurement de la nappe) à 10 m. Par contre au Nord de cette localité, la nappe alluviale est discontinue et d'extension réduite, mais elle peut se révéler localement très abondante avec des profondeurs variant de 8 à 15 m. Dans l'Azgaret aussi, la nappe alluviale ne paraît pas continue et la profondeur varie de 3,5 à 10 m. Les nappes des vallées fossiles sont directement liées à l'hydrologie de surface, donc sensibles au déficit pluviométrique. Elles sont soumises localement à l'évaporation en raison

de faibles profondeurs, ce qui induit une salinisation locale des eaux (zone de Baléyara). Dans le dallol Bosso les eaux des alluvions sont bicarbonatées calciques et sodiques.

c) Les nappes liées aux mares

Ce sont des petites nappes perchées qui se forme par infiltration à partir d'un plan d'eau. Elles sont surtout exploitées à l'aide de puisards de faible profondeur situés non loin de la mare.

4.2.2.2. La nappe phréatique du CT

Le réservoir de la nappe phréatique du CT de l'ouest nigérien est l'un des aquifères du pays à extension spatiale importante. En effet, sur l'ensemble des affleurements du CT à l'Est du fleuve, (650 km environ d'Ouest en Est), la nappe phréatique est continue, sauf à leur extrémité Ouest où des bordures, qualifiées de "biseaux secs du CT" ont été identifiées par Plote (1961). Dans la région de Tillabéri, les formations perméables du CT3 constituent le principal réservoir de la nappe phréatique. Mais au Nord, elle serait portée par la série argilo-sableuse à lignites (CT2).

La nappe phréatique du CT est généralement à surface libre. Toutefois, des lentilles argileuses d'extensions variables peuvent s'intercaler localement, et la rendre captive; une situation qui favorise la formation de nappes perchées (Greigert et Bernert, 1979). Dans ce cas, la profondeur du réservoir de la nappe phréatique augmente de quelques mètres ou dizaines de mètres.

La nappe phréatique du CT est localement en continuité hydraulique avec les nappes alluviales quaternaires des vallées fossiles.

a) Piézométrie de la nappe phréatique

L'unique carte piézométrique réalisée sur toute l'étendue de la nappe phréatique, est celle établie par Boeckh en 1965. Depuis, seules quelques cartes piézométriques à extension réduite ont été établies notamment sur le degré-carré de Niamey (Leduc et al., 1997). Celles-ci, montrent pratiquement le même schéma général de l'écoulement de la nappe que la carte de Boeckh.

A l'échelle de la région de Tillabéri, la carte piézométrique de la nappe phréatique du CT (figure N°8) montre :

- des charges fortes au Nord et Nord-est ($> +230$ m) et faibles au Sud (+175 m au Sud ouest en bordure du fleuve) ;

- un écoulement de la nappe dans les sens Nord-Ouest/Sud-Est et Nord-Est/Sud-Ouest en direction du Dallol Bosso mais aussi vers le Sud en direction du fleuve. Le dallol Bosso et le fleuve constituent donc les exutoires naturels de nappe la phréatique du CT dans la région.
- des dépressions fermées où les écoulements semblent converger sans exutoire possible (comportement endoréique de la nappe).

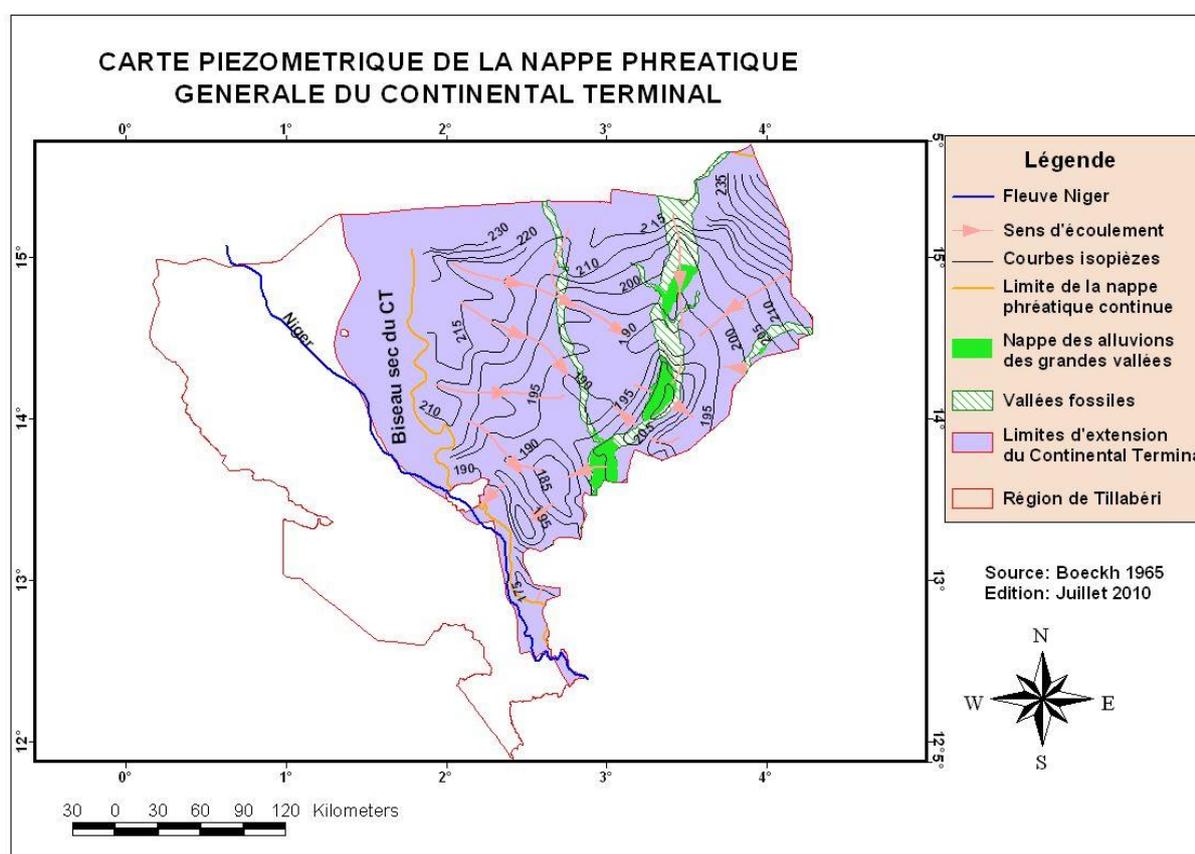


Figure N°8: Carte piézométrique de la nappe phréatique générale du CT (Boeck, 1965)

b) Profondeur de la nappe phréatique

La carte des zones de profondeur de la nappe (figure N°9) générée à partir de la piézométrie et du modèle numérique du terrain SRTM90 (voir procédure en Annexe II) de la zone nous donne la répartition qui suit :

Des profondeurs de 10 à 45 m dans les vallées fossiles et les koris, avec une exception dans la zone de Baléyara (confluence de l'Azgaret avec le dallol Bosso) où la nappe phréatique est confondue à la nappe du quaternaire, avec une profondeur allant de 0 à 10 m.

Des profondeurs de 45 à 65 m ailleurs dans les vallées (jupes sableuses entre les bas fonds et les plateaux) on a principalement (Nord-Est; aux abords des vallées).

Des profondeurs supérieures à 65 m sur les plateaux avec des valeurs exceptionnelles supérieures à 100 m au Nord et Nord-Est de Ouallam.

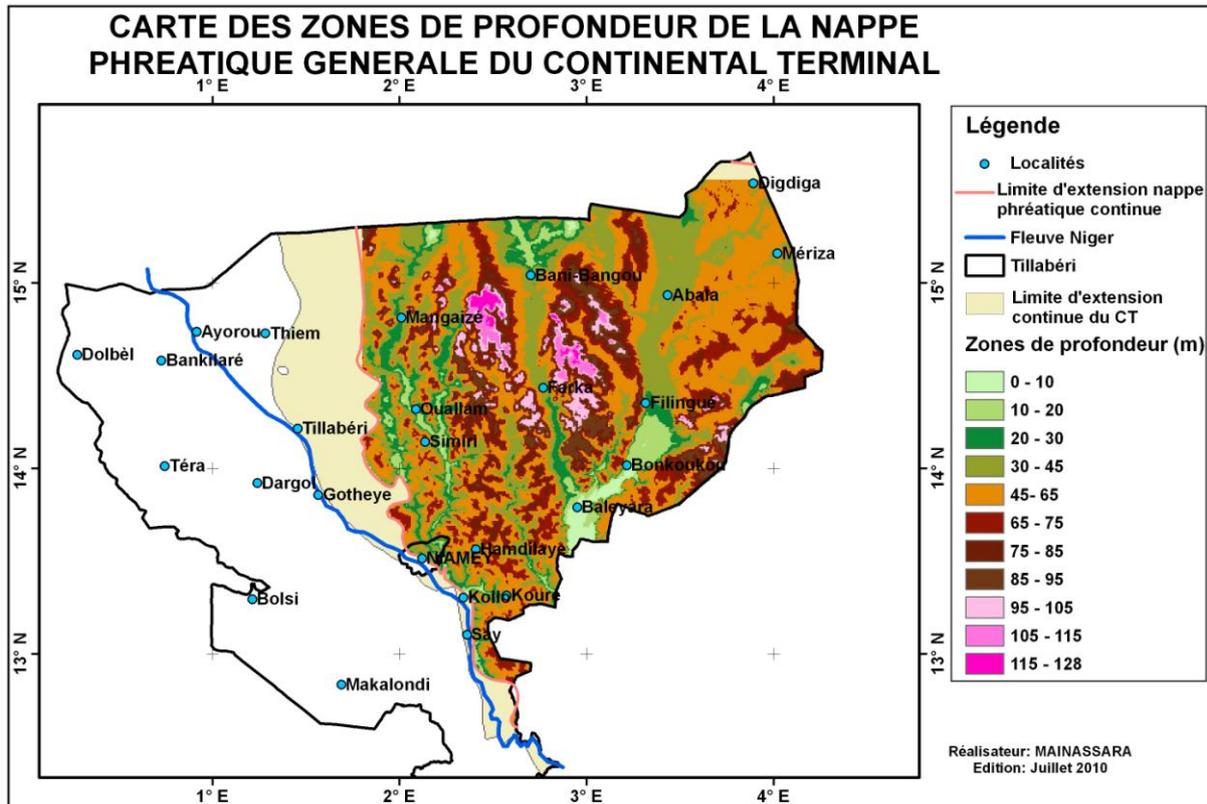


Figure N°9: Carte des zones de profondeurs de la nappe phréatique générale du CT

c) Qualité hydrochimique des eaux de la nappe phréatique

Les analyses réalisées à l'échelle de nappe (Tirat, 1964 ; Boeckh, 1965) montrent une forte variabilité spatiale de la minéralisation totale (concentration totale en sels). En général les eaux de la nappe phréatique sont très peu minéralisées avec un extrait sec inférieur à 300 mg/l mais avec quelques singularités locales où elles le sont notablement ($\gg 500$ mg/l).

Au Nord de la région (Ouallam nord, Filingué nord), les eaux sont surtout bicarbonatées (à prédominance calciques). Le Sud de la région est une zone mixte où les eaux bicarbonatées (nettement moins prédominantes) sont associées à des eaux sulfatées et à des eaux chlorurées (à prédominance sodique).

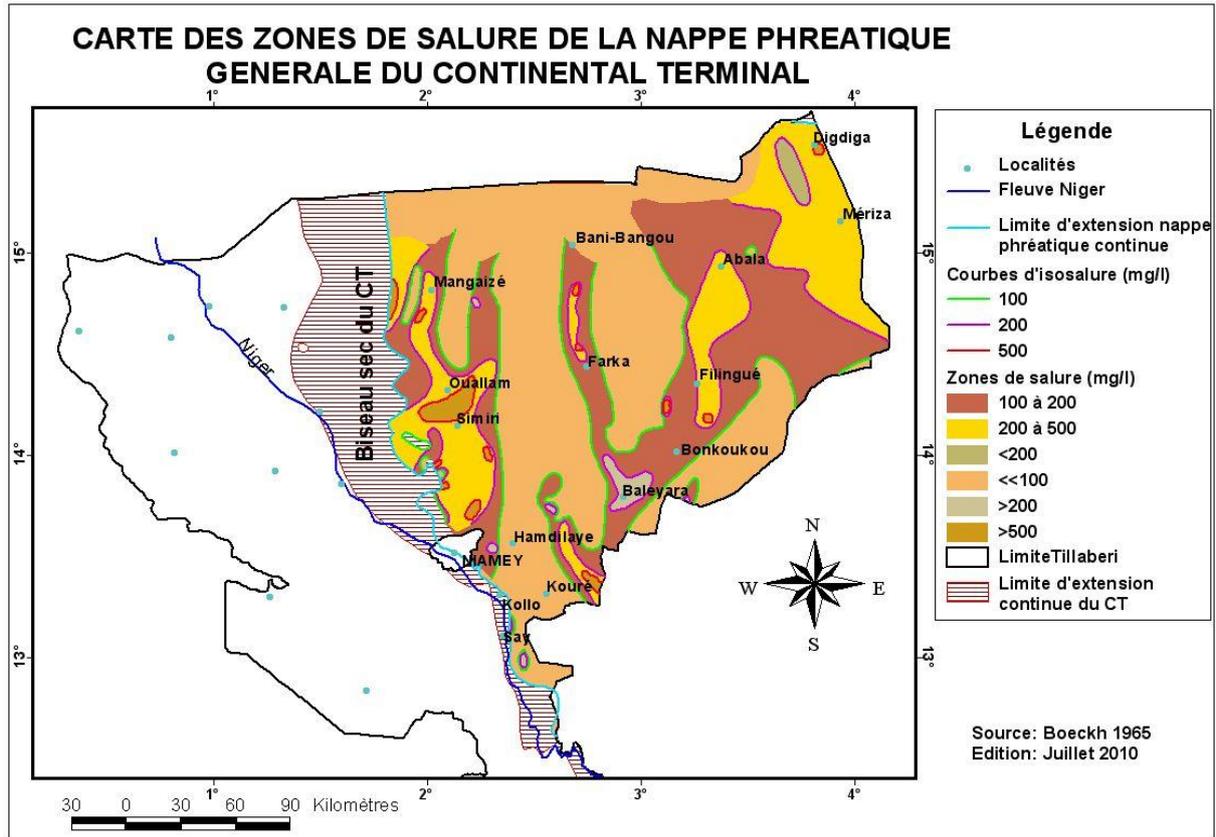


Figure N°10: Carte des zones de salures de la nappe phréatique générale du CT

d) Recharge de la nappe phréatique

Plusieurs études hydrodynamiques ou géochimiques avec les traceurs ^{18}O , ^2H , ^{14}C et ^3H (Leduc et Taupin, 1997 ; Favreau, 2000), montrent un renouvellement actuel des eaux et une hausse de la nappe phréatique depuis plusieurs décennies et en relation avec l'importante dégradation du couvert végétal.

Le processus de recharge de la nappe s'effectue par infiltration à partir des mares, dans des zones à revêtement sableux continu et dans des zones où la perméabilité du CT permet une percolation rapide. Les suivis hydrodynamiques (Favreau 2000 ; Martin-Rosales & Leduc, 2003) montrent que la vidange rapide des mares par infiltration représente l'essentiel de la recharge de la nappe et le taux est d'au moins 20 mm/an, pour des prélèvements encore faibles estimés à 0,3 mm/an pour une nappe qui constitue l'unique ressource en eau permanente (Favreau, 2001) dans la zone Est.

L'importance des hausses observées est le signe d'une augmentation des réserves de cet aquifère au point où de nouveaux points d'affleurements sont observés notamment dans les vallées fossiles à l'aval. Ce qui constitue dénote d'un important potentiel pour le développement de l'agriculture irriguée.

4.2.3. Les contraintes liées à l'exploitation des eaux souterraines

La contrainte majeure du point de vue exploitation des nappes profondes se situe sur le plan économique à cause de la grande profondeur des ouvrages de captage et/ou des niveaux piézométriques. En effet pour les nappes du Continental Intercalaire/Hamadien dans la région, la profondeur des ouvrages peut atteindre 800 m.

Pour les nappes des formations du socle, outre la faiblesse de leur débit, la contrainte majeure liée à leur exploitation est surtout leur caractère discontinu qui nécessite des études géophysiques afin d'identifier les sites favorables.

Pour les nappes alluviales la faible épaisseur de certains réservoirs et leur faible profondeur les rendent vulnérables à l'évaporation et aux risques de salinisation et de pollution de leur eau. C'est le cas notamment des nappes alluviales de la zone du socle qui ne résistent pas à la saison sèche.

V. POTENTIEL EN TERRES IRRIGABLES

5.1. Aperçu sur la pédologie de la région

Les types de sols existants dans la région sont surtout déterminés par la nature du sous-sol et topographie. Sur la base des travaux de reconnaissance pédologique de l'ouest nigérien effectués par Gavaud (1967), on distingue, à l'échelle de la région, les types de sols ci-après :

- **Sols peu évolués** caractérisés par un profil faiblement différencié dans lequel on peut seulement distinguer un ou plusieurs horizons humifères reposant sur le matériau originel. La cause de cette faible évolution peut être due soit à des conditions climatiques ne permettant pas une évolution plus poussée du sol, soit des facteurs mécaniques d'érosion ou d'apport. Les sols peu évolués d'apports sont les seuls présentant un intérêt agricole; On les observe essentiellement sur les dépôts alluviaux récents des vallées de certains affluents droits du Niger.
- **Les sols subarides** (sols bruns et sols bruns rouges riches en matières organiques) sur sables éoliens. Ces sols sont soumis à des conditions climatiques qui limitent fortement leurs possibilités d'utilisation agricole (mil, niébé). A ceci s'ajoute une érosion éolienne particulièrement accentuée pour les sols développés sur les formations sableuses récentes. Cette fragilité les voue à un usage pastoral, la mise en culture y entraîne une dégradation rapide des horizons de surface, difficilement et toujours lentement réversible.

Ils sont particulièrement localisés sur la rive droite du Niger, au Nord-Ouest de Tillabéry et sur la rive droite du Dallol Bosso, au Nord-Ouest de Toukounous.

- **les sols ferrugineux tropicaux** essentiellement localisés sur les formations sableuses et principaux sols agricoles, ils sont sableux, légers et faciles à travailler. Ils sont chimiquement pauvres mais très alimentés en eau du fait de leur position topographique. Les sols sableux des vallées creusées dans le plateau gréseux du Continental Terminal constituent les principaux sols à arachide du Niger Ouest. Ils sont souvent érodés, particulièrement dans les régions à population dense; ils doivent être restaurés et nécessitent des précautions culturales. La forte sensibilité à l'érosion éolienne des sols développés sur les formations sableuses éoliennes récentes entraîne une contre indication à la culture, moins stricte toutefois, par suite d'une pluviométrie plus élevée.

Les sols ferrugineux lessivés à concrétions sur grès argileux (Continental Terminal 2 et 3) existent au Nord-Est. Ils sont pratiquement inexploitable. Un reboisement peut éventuellement y être envisagé.

- **Les vertisols**, sols lourds riches en argiles gonflantes sont chimiquement riches. le problème de leur mise en valeur est essentiellement lié à leur alimentation en eau et, secondairement à la difficulté de les travailler. Des vastes zones de vertisols sur les alluvions argileuses du Dallol Bosso au Nord de Filingué, des vertisols hydromorphes sur les alluvions du Gorouol, de petites surfaces à vertisols lithomorphes dans la zone d'affleurement du socle au Sud-Ouest de Bossé Bangou et l'Est de Makalondi sont observés. Leur mise en valeur nécessitera des aménagements hydrauliques.

- **Les sols hydromorphes** évoluent dans des conditions d'humidité supérieures à la normale (engorgement) sur tout ou partie du profil (hydromorphie totale ou partielle) constantes ou intermittentes (hydromorphie permanente ou temporaire). Leur intérêt en zone semi-aride est de bénéficier d'une alimentation en eau plus abondante et prolongée que celle des sols bien drainés.

Les sols hydromorphes sont localisés sur les alluvions sableuses des vallées sèches (Dallol Bosso), les terrasses du Niger, alluvions des affluents droits du fleuve et sur les axes de vallées creusées dans le plateau du Continental Terminal.

5.2. Le potentiel des terres irrigables²

Sur la base des types de sols identifiés dans la région et de certains critères d'aptitude à l'irrigation de la FAO (Voir Annexe IV), les terres potentiellement favorables au développement de l'agriculture irriguée dans la région de Tillabéri sont localisées sur les terrasses et cuvettes de la vallée du fleuve et de ses affluents droits, sur les sols hydromorphes des vallées des dallols et des kori et autour de certaines mares (Figure N°11). Ces terres se distinguent surtout par leur nature alluvionnaire.

Le potentiel en terres irrigables dans la région est ainsi estimé à près de 142.500 ha dont 110.000 ha environ localisés au niveau de la vallée du fleuve Niger et de ses affluents. (Programme national de mobilisation des eaux et de développement des cultures irriguées (PME/DCI), avril 2005).

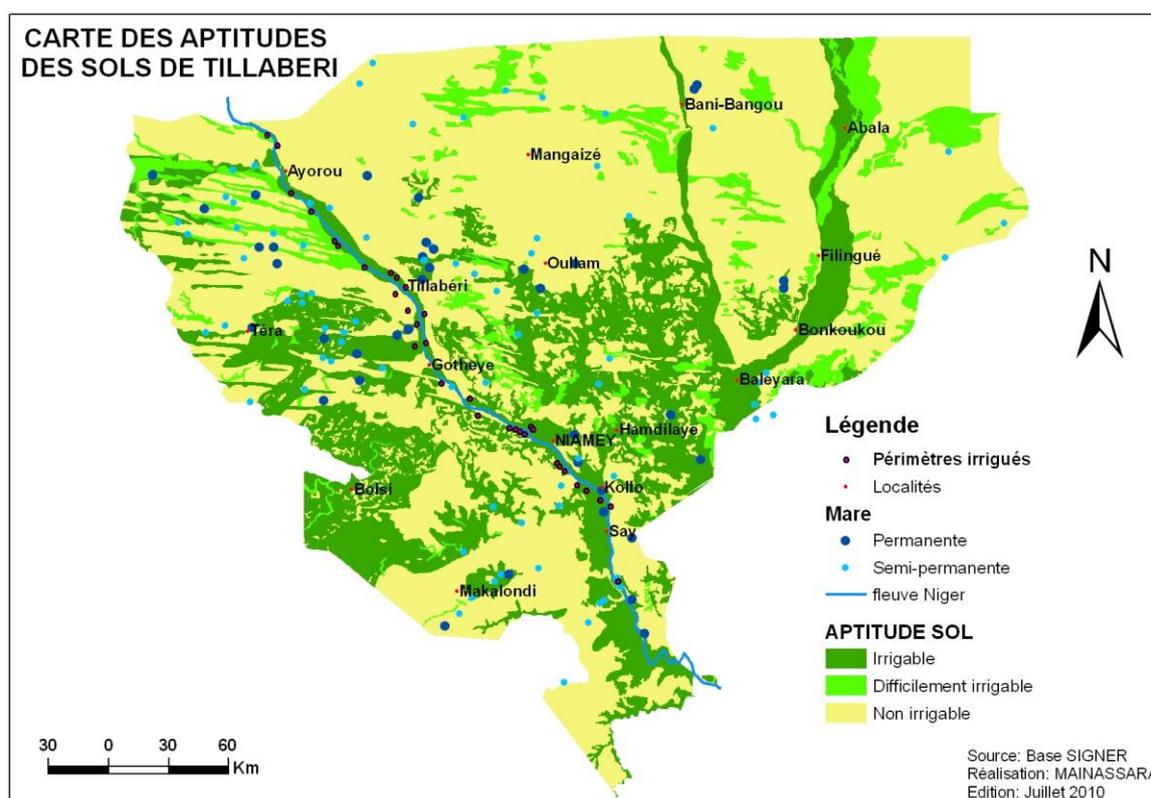


Figure N°11: Carte des aptitudes des sols de la Région de Tillabéri

Cependant, ce potentiel irrigable est sous exploité (moins de 10% mis en valeur). En effet seuls environ 9 500 ha, répartis en 33 périmètres collectifs, sont actuellement aménagés en

² Une **terre irrigable** est une terre classée arable dans un premier temps (potentiellement irrigable), classification dont on constate ensuite la justification économique (bénéfices supérieurs aux coûts) dans le cadre d'un plan de mise en valeur comprenant les installations hydrauliques et autres nécessaires à une irrigation régulière. (d'après US Bureau of Reclamation in **Bulletin Pédagogique de la FAO - 55**)

périmètres de type « grande irrigation », le long du fleuve (Base SIGNER), dans lesquels se posent aussi beaucoup de difficultés de gestion des infrastructures (système d'exhaure très onéreux en entretien et en coût d'énergie, non paiement de la redevance eau...). Ailleurs ce sont quelques périmètres de petites superficies qui sont exploitées en cultures de contre-saison ou en irrigation privée.

Au regard de la topographie de la région, la pente des terres irrigables est un paramètre qui peut avoir une incidence importante sur les couts de mise en valeur et les risques d'érosion.

C'est ainsi que nous avons généré la carte des pentes (*Annexe III*), à partir du modèle numérique SRTM90 de la région, et utilisé la classification de la FAO pour les terres irrigables pour une appréciation sur la base de ce facteur. La superposition de la carte des pentes avec celle des aptitudes des sols, montre que sur les terres aptes à l'irrigation, ce sont les classes de pentes de 0.5 à 1% (plat) et 1 à 2.5%(modérée) qui dominent. Ainsi du point de vue critère pente (*Voir Annexe IV*), nous pouvons dire que les terres de la région présentent une bonne aptitude à l'irrigation. Cependant le choix de certaines méthodes d'irrigation de surface nécessitera des travaux de nivellement ou des mesures à même de réduire les risques d'érosion (par exemple faire les raies ou les rigoles orientées transversalement à ligne de plus grande pente).

VI. POTENTIEL D'IRRIGATION DES RESSOURCES EN EAU

L'inventaire des ressources en eau de la région de Tillabéri met en évidence l'importance de son patrimoine hydrique (eaux de surface, eaux souterraines). Cependant des disparités existent à l'échelle de la région en termes de type, de disponibilité et d'accessibilité selon la position géographique.

La confrontation des données sur les ressources en eau et sur terres aptes à l'irrigation nous permet d'apprécier les potentialités de ressources en eau à même de permettre un développement de l'agriculture irriguée dans la région. De part sa relation étroite avec la disponibilité, l'accessibilité et la qualité de l'eau d'une part et l'importance des terres irrigables, le potentiel d'irrigation des ressources en eau serait donc lui aussi inégalement répartis dans la région.

6.1. Qualité des eaux de la région et leur usage pour l'irrigation

La teneur en sels d'une eau est le critère le plus utilisé pour évaluer sa qualité en vue d'une utilisation en irrigation. En effet, la salinité a une influence sur la disponibilité de l'eau pour

les cultures et sur le risque de salinisation des sols surtout en milieu aride ou semi aride. Le tableau ci-après nous donne la compilation des teneurs en sels des eaux des différentes sources de la région de Tillabéri.

Tableau N°6: Teneur en Sels des eaux de la région de Tillabéri

Type	Sources d'eau	Salinité (Teneur en sels)
Eaux de surface	cours d'eau, mares, retenues	33 mg/l (valeur médiane)
Eaux souterraines	Nappe phréatique du CT	<300mg/l pour 75% des eaux; >1000mg/l pour seulement 4% des eaux
	Nappe des sables inférieures du CT2	950±100 mg/l
	Nappe des oolithes du CT2	850±150 mg/l
	Nappes alluviales	différences minimales avec la Nappe phréatique du CT
	Nappes du socle	456 µs/cm ≈ 291.84 mg/l; (Car 1dS/m ≈ 640mg/l; <i>Source: Etudes et prospections pédologiques en vue de l'irrigation, Bulletin pédologique de la FAO-42. Rome, 1990</i>)

Source: Compilation de données de la Recherche bibliographique

Bien que la tolérance en sels varie selon les cultures, la comparaison de ces valeurs de salinité, aux valeurs standards de la FAO, données au tableau ci-dessous, nous amène à conclure que les eaux sont dans l'ensemble utilisables pour l'irrigation sans aucune restriction sauf que des mesures doivent être prises dans certaines localités pour un apport optimum en eau aux cultures afin d'éviter les excès. C'est le cas notamment de la mare permanente de Tinga (département de Ouallam) où nous avons photographié des signes évidents de salinisation des sols.

Tableau N°7: Qualité de l'eau d'irrigation et risque de salinisation du sol

Concentration des sels dans l'eau d'irrigation (mg/l)	Risque de salinisation du sol	Restrictions à l'utilisation
< 500 mg/l	Aucun risque	Aucune
500 - 2000 mg/l	Risque minime à modéré	devrait être utilisée avec des pratiques appropriées de gestion de l'eau
>2000 mg/l	Fort risque	usage en général déconseillé sauf après consultation de spécialistes

Source: Irrigation Water Management: Training Manual N°1 - Introduction to Irrigation, FAO 1985



Figure N°12: croûtes de sel sur le sol autour de la mare de Tinga .

6.2. Disponibilité et accessibilité à l'eau: mesures d'aménagement envisageables

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 l'abondance 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 importantes (Wankama, Dantiandou, Tinga, Waidi Bengou, etc.). Ainsi, sur la base des besoins approximatifs en eau pour l'irrigation, tirés des études de la FAO (voir Annexe V), les mesures suivantes sont envisageables :

a) Dans la vallée du fleuve et de ses affluents :

L'irrigation à grande échelle (aménagements hydro-agricoles de riziculture ou polyculture, irrigation privé), est possible à cause de l'importance du potentiel en eau de surface qui peut 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; (Voir à l'annexe V un exemple montrant l'effet de variation de régime d'une source d'eau sur son potentiel d'irrigation). Aussi un programme de construction d'ouvrages de stockage et de régulation 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 économiquement utilisées pour la promotion de la petite irrigation privée sur les terrasses du Niger.

b) Autour des mares permanentes et semi-permanentes

Les mares sont concurremment sollicitées par d'autres usagers (notamment l'élevage). Mais néanmoins, l'irrigation à petite échelle (petits aménagements de cultures contre-saison³, des petites exploitations privées) peut être développée autour de ces plans d'eau très nombreux dans la région, surtout en zone de socle. La disponibilité en eau pour l'irrigation n'est garantie que pour les mares sont permanentes ou semi-permanentes dans certains cas. En effet, le 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 très importante. Une solution à ce problème c'est de faire en sorte que le calendrier cultural coïncide avec la disponibilité et l'accessibilité aux eaux des ces mares (exemple, démarrer la campagne d'irrigation le plutôt possible après la saison des pluies). Des actions de désensablement de surcreusement et/ou d'imperméabilisation des lits peuvent être entreprises pour augmenter la capacité de stockage et/ou réduire les « pertes » par infiltration.

c) Dans les vallées fossiles du dallol Bosso et des kori 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 au Sud, et les nappes profondes du CT de part leur artésianisme, constituent des sources d'eau à même d'assurer un approvisionnement continu pour la promotion de la petite irrigation privée et de petits aménagements collectifs 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.

³ Cultures de contre saison: au Niger, ce terme est utilisé pour désigner les cultures pratiquées uniquement en saison sèche, (de septembre/octobre à mai/juin selon les années) à l'opposé de l'agriculture pluviale. Elles servent prioritairement à couvrir les dépenses sociales (mariages, baptêmes), à acheter des vivres pour la famille et du bétail (de traite ou pour l'embouche)

- 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.

6.3. Systèmes de captage et d'exhaure

- *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 pédale ou à la main (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 N°13 présente quelques illustrations de ces différentes techniques de captage et d'exhaure inventoriées déjà dans la région.



Figure N°13: 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 plus utilisée par les femmes ; exhaure avec Pompe à pédale, exhaure avec puisette.

Tableau N°8: Coûts des équipements de captage et d'exhaure

Equipement	Coûts (FCFA)
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

D'après Joanne Cochand; 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 le niveau du plan d'eau est faible.
- **Au niveau de la vallée du fleuve** : au regard des tendances climatiques actuelles, seule l'option ouvrages de régulation ou de stockage avec périmètres peut assurer l'approvisionnement durable des aménagements hydro-agricoles envisagés. 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. On place une motopompe sur la berge au bord du fleuve et grâce à un tuyau d'aspiration immergé au fil de l'eau, celle-ci est pompée pour 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. Sinon le captage ne peut se faire qu'à l'aide de forages équipés de pompes immergées.

6.4. Systèmes 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 seau ou arrosoir) et l'irrigation de surface (par submersion, par raie, 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 ci-dessous pour le principe et les différents variantes).

Ce système est spécialement recommandé pour vaincre les contre-pentes et contribue aussi 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%), les raies ou les rigoles orientées transversalement à ligne de plus grande pente afin d'éviter les risques d'érosion.

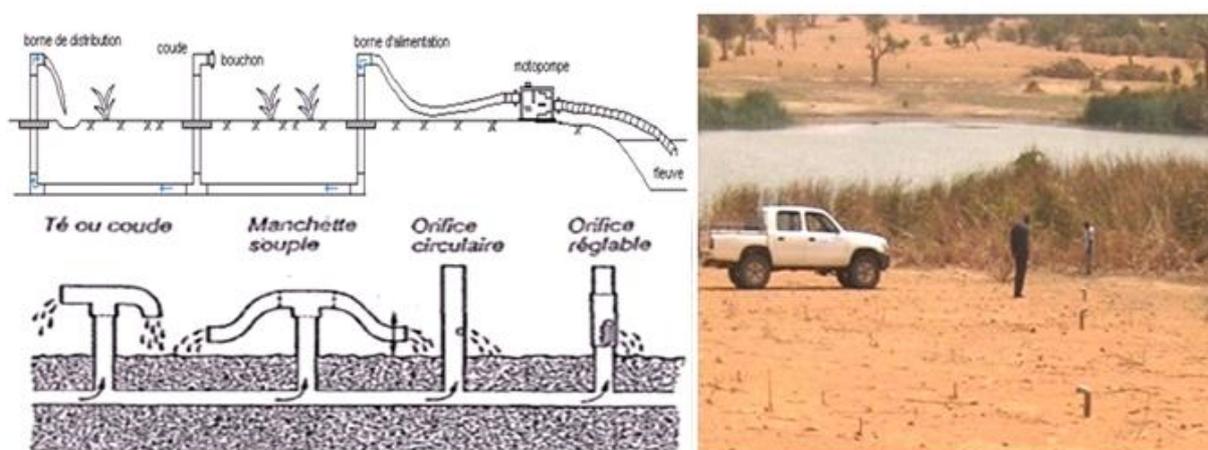


Figure N°14: Réseau Californien, principe et variantes

VII. AUTRES OPPORTUNITES DE DEVELOPPEMENT DE L'AGRICULTURE IRRIGUEE

Outre son important potentiel en eau et en terres irrigables, la région de Tillabéri, possède d'autres atouts pour le développement de l'agriculture irriguée.

a) Existence des débouchés pour écouler les produits : en effet, outre les marchés locaux, le marché de Niamey, proche des périmètres de production, constitue un débouché sûr.

b) Existence de la main d'œuvre : la promotion de l'irrigation permettra de réduire l'exode dont la cause est en partie le manque d'activités génératrices de revenus pendant la saison sèche.

c) la volonté manifeste des agriculteurs d'améliorer leur production, donc leur revenu : pour cela ils demandent à être appuyer en équipement d'irrigation (ouvrage de mobilisation,

matériel d'exhaure...). A propos, voilà ce que nous dit Oumarou Alzouma un paysan de Ouallam avec qui nous avons eu un entretien dans son jardin lors de notre mission sur terrain « *ces dernières années, j'accorde beaucoup plus d'importance à l'exploitation de mon jardin qu'aux cultures sur hautes terres à cause de l'insuffisance des pluies. Cette année par exemple, c'est la vente de ma production du jardinage qui m'a permis de me ravitailler suffisamment en mil et maïs. C'est dire combien cette activité est profitable et gage de sécurité alimentaire. Si je pourrai avoir un appui en motopompe et en grillage pour la clôture, je mettrai en valeur toute la superficie de mon jardin*».

VIII. CONCLUSION

L'étude sur les ressources en eau dans la région de Tillabéri et leur potentiel d'irrigation, révèle un important potentiel en eau et en terres nécessaire propice au développement et à l'intensification des pratiques agricoles dans la région, mais nettement sous exploité encore aujourd'hui. En effet, en dépit des disparités entre les différentes contrées de la région, certaines zones présentent l'avantage de combiner disponibilité, qualité et facilité d'accès à l'eau avec les terres aptes à l'irrigation :

Dans la zone de socle, les eaux souterraines sont peu abondantes et très irrégulières à l'exception des nappes alluviales du fleuve Niger et certains affluents. Cependant l'essentiel des écoulements de surface actifs dans le pays, constitués du fleuve Niger et des ses affluents de la rive droite se trouvent dans cette zone en plus d'un nombre importants de mares permanentes et semi-permanentes. Parallèlement, les vallées du fleuve Niger et de ses affluents disposent d'un important potentiel en terres irrigables. Sa la mise en valeur nécessite la construction des ouvrages de stockage et de régulation sur les cours d'eau.

Toute la partie Est du fleuve appartient pour l'essentiel au bassin sédimentaire des Iullemmeden. Dans cette partie le réseau hydrographique s'ordonnant autour des vallées du Dallol Bosso et des koris est entièrement fossilisé et favorise la formation de mares qui constituent les eaux de surface dans cette partie de la région. Les ressources en eau souterraines identifiées dans cet ensemble sont les nappes alluviales du dallol Bosso et la nappe phréatique du Continental Terminal, caractérisées par leurs forts taux de renouvellement et leur accès facile en certains endroits, mais également les nappes captives du CT caractérisées par leur artésianisme. Ces ressources en eau peuvent être sollicitées pour la promotion de la petite irrigation privée et des périmètres collectifs de cultures de contre saison moyennant des puits maraichers, des forages manuels dans le cas des nappes peu profondes et des forages ou puits-forages dans le cas des nappes profondes.

Autour des mares permanentes et semi-permanentes la promotion de petites exploitations est envisageable en cherchant une intégration avec les autres usagers notamment l'élevage.

Des études conduites à une échelle beaucoup plus réduite (département ou commune), permettront d'avoir des résultats plus précis.

IX. RECOMMANDATIONS

L'utilisation durable des ressources en eau de la région pour un développement de l'agriculture irriguée nécessite de :

- Lutter contre l'ensablement et la prolifération de plantes aquatiques dans le fleuve Niger et les plans d'eau de la région;
- Établir un périmètre de protection autour des plans d'eau et assurer l'accès au bétail en respectant les tracés des couloirs de passage afin d'éviter d'éventuels conflits entre agriculteurs et éleveurs;
- Rechercher à moyen terme une exploitation rationnelle des aquifères à fort taux de renouvellement (nappes du dallol Bosso, nappe phréatique du CT) et des nappes profondes dont le taux de recharge est très faible.

Assurer un suivi des nappes souterraines à travers les fluctuations piézométriques et la qualité des eaux grâce notamment à la mise en place d'un réseau piézométrique approprié.

BIBLIOGRAPHIE

AHMED OUMAROU, ROUSCOUA BOUBACAR (Juin 2001). Analyse diagnostique du bassin du fleuve Niger : bilan et analyse des aspects hydro-environnementaux, écologiques et socio-économiques du bassin du fleuve Niger au Niger.

ALTERNATIVE, ANDDH, AREN, FUGPN-MOORIBEN, avec l'appui d'Oxfam-International (juin 2007). L'insécurité alimentaire dans la région de TILLABERI. Rapport.

L.HERRMANN, K.VENNEMANN. Atlas des ressources naturelles et agronomiques du Niger et du Bénin

https://www.uni-hohenheim.de/~atlas308/startpages/page2/french/content_fr/conframe_fr.htm

C. BROUWER, K. PRINS, M. KAY ET M. HEIBLOEM (FAO 1990). Gestion des eaux en irrigation, Manuel de formation n° 5 : Méthodes d'irrigation.

C. LEDUC, A. KARBO (1994). Variabilité spatio-temporelle de l'impact de l'infiltration sur la nappe phréatique du Continental Terminal (Hapex-Sahel, Niger). X^e journées hydrologiques-ORSTOM-Septembre 1994.

CHRISTIAN LEDUC, GUILLAUME FAVREAU (1998). Fluctuations a long terme de la nappe phréatique du Continental Terminal près de Niamey (Niger) entre 1956 et 1997. IAHS publ. no.252, 1998.

COUTURE Isabelle, agr., M.Sc, 10 février 2006. Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation. Colloque sur l'irrigation : l'eau, source de qualité et de rendement Hôtel Mortagne, Boucherville.

DEROUANE Johan (Octobre 2005). Modélisation des eaux souterraines. Programme de valorisation des ressources en eau de l'ouest (VREO), Burkina Faso.

FAO, 1989. Evaluation des Terres pour l'Agriculture Irriguée: Directives- Bulletin Pédagogique de la FAO-55.

FAO, GOUVERNEMENT DE LA REPUBLIQUE DU NIGER, NEPAD (avril 2005). Programme National de mobilisation des eaux et de développement des cultures irriguées (PME/DCI).

FAO, 1997. Irrigation Potential in Africa: a basin approach.

FAO, 1992. Irrigation Water Management: Training Manual No. 6 - Scheme Irrigation Water Needs and Supply,

FAO, (1985). Irrigation Water Management: Training Manual No.1 - Introduction to Irrigation.

FAO, 1990. Etudes et prospections pédologiques en vue de l'irrigation, Bulletin pédologique de la FAO-42, Rome.

FAVREAU G (2000) Caractérisation et modélisation d'une nappe phréatique en hausse au Sahel. Thèse de doctorat. Université de Paris XI.

GREIGERT, J., BERNERT, G., 1979. Atlas des eaux Souterraines de la république du Niger. État des connaissances. Rapport BRGM, 79 AGE 00 1. Orléans, France.

GREIGERT, J., 1966. Description des formations crétacées et tertiaires du bassin des Iullemmeden (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.

GUILLAUME FAVREAU (juillet 1996). Modélisation locale de la recharge de La nappe phréatique sur le site de Wankama (Sud-Ouest du Niger) Mémoire de DEA.

GUILLAUME FAVREAU, CHRISTIAN LEDUC, CHRISTELLE MARLIN, ABDOU GUERO (2002). Une dépression piézométrique naturelle en hausse au Sahel (Sud-Ouest du Niger). *C. R. Géoscience* 334 (2002) 395–401. ©2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS.

JOANNE COCHAND, (Juillet 2007). La petite irrigation privée dans le sud Niger : potentiels et contraintes d'une dynamique locale, Le cas du sud du Département de Gaya. Mémoire. Université de Lausanne.

LEDUC, C., TAUPIN, J.D., 1997. Hydrochimie et recharge de la nappe phréatique du Continental Terminal (Niamey, Niger), in: "Hydrochemistry", Rabat symposium, 1997. AZSH Publ., 244,235-243.

L.RIEUL, Division irrigation-CEMAGREF-Montpellier. Les techniques modernes d'irrigation et les économies d'eau. Publication CIHEAM-options méditerranéennes 11.1 à 11.20.

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

ORSTOM, Centre de Dakar, Comité de la Recherche Scientifique du Niger (1965). Etudes pédologiques au 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.

REPUBLIQUE DU NIGER, Ministère de l'Hydraulique et de l'Environnement (juin 1999). Schéma directeur de mise en valeur et de gestion des ressources en eau du Niger : le référentiel du secteur de l'eau et de l'assainissement au Niger.

REPUBLIQUE DU NIGER, Conseil National de l'Environnement pour un Développement Durable (juillet 2006). Programme d'action national pour l'adaptation aux changements climatiques.

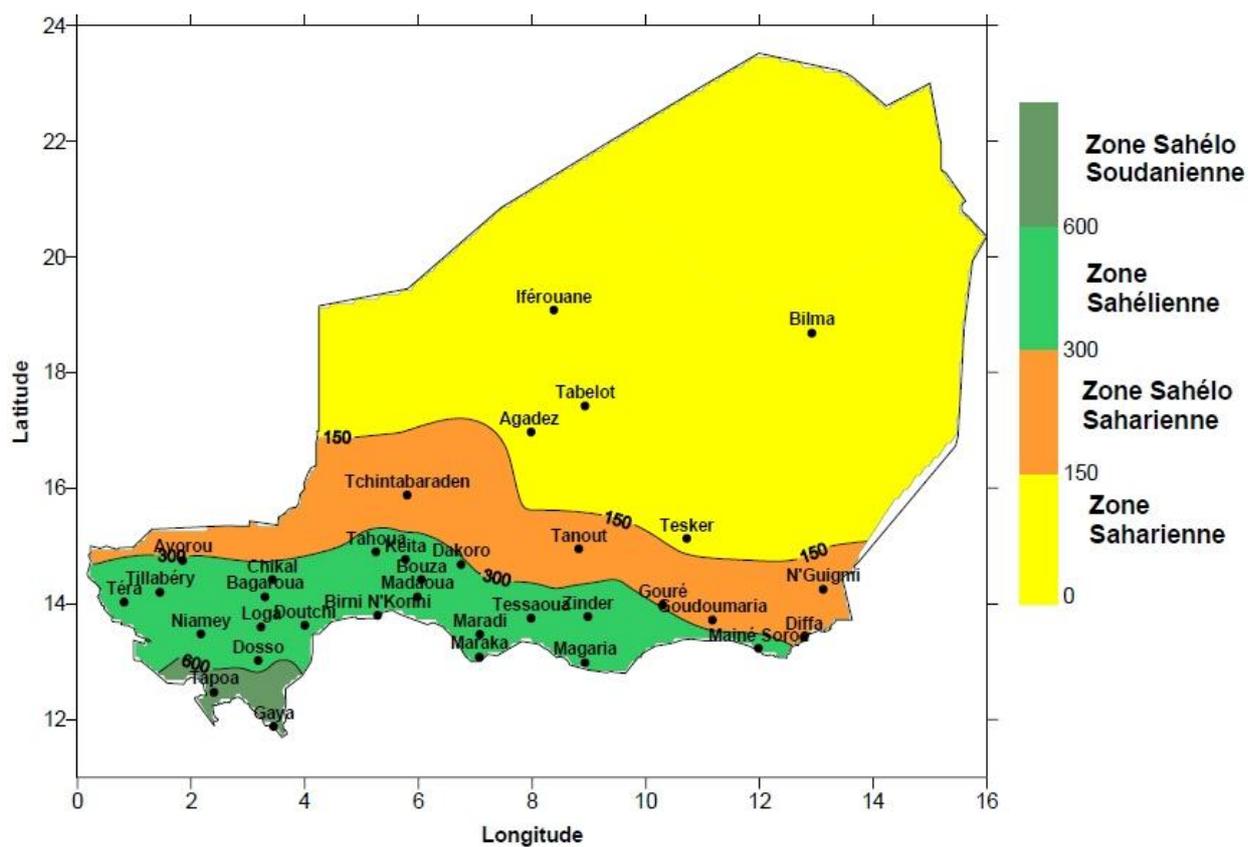
TIRAT, M., 1964. Contribution à l'étude hydrogéologique du Continental Terminal. Rapport BRGM, NIA.64.A1, 77 p. Niamey, Niger.

ANNEXES

SOMMAIRE DES ANNEXES

Annexe I: Zones climatiques du Niger (Pluviométrie annuelle moyenne sur la période 1975-2004)....	1
Annexe II: Elaboration de la carte de profondeur de la nappe phréatique générale du CT sur ArcGis 9.2 à partir de la piézométrie et du modèle numérique du terrain (MNT) SRTM90.....	2
Annexe III: Carte des zones de pentes selon la classification FAO, générée à partir du Modèle Numérique de Terrain SRTM 90 de la région de Tillabéri sur ArcGis 9.2.....	4
Annexe IV: Critères utilisés pour l'évaluation de l'aptitude des sols à l'irrigation de surface	5
Annexe V: Méthodes approximatives de la FAO pour évaluer les besoins en eau et le potentiel d'irrigation d'une source d'approvisionnement.	6

Annexe I: Zones climatiques du Niger (Pluviométrie annuelle moyenne sur la période 1975-2004)



Source : Rapport Programme d'action national pour l'adaptation aux changements climatiques juillet 2006 d'après Direction de la Météorologie Nationale, édition 2005

Annexe II: Elaboration de la carte de profondeur de la nappe phréatique générale du CT sur ArcGis 9.2 à partir de la piézométrie et du modèle numérique du terrain (MNT) SRTM90.

1) Réalisation d'un modèle numérique de Piézométrie(MNP) en format raster avec une grille de 90m x 90m, couvrant l'extension de nappe phréatique continue sur la zone d'étude.

- Nous avons convertis les lignes isopièzes (shapefiles de type « polyligne ») de la carte Piézométrique de Boeckh, en points (shapefiles).

“ArcToolbox>>Data management>>Features>>Feature To Point”

- A ces points nous avons ajouté d'autres points (shapefiles), représentant les points d'eau dont les niveaux piézométriques ont été utilisés pour l'établissement de la carte piézométrique, afin d'avoir un nombre plus important de mesures ponctuelles à interpoler.

“ArcToolbox>>Data management>>General>>Merge”

C'est le thème « ponctuel », issu de cette fusion qui sera utilisé pour générer le MNP. Dans la table des attributs, l'attribut « niveau piézométrique » sur lequel se fera l'interpolation doit être en valeurs numérique. (Figure : a)

- Le MNP est obtenu En interpolant les valeurs piézométriques selon une méthode d'interpolation de type *inverse distance weighted* (IDW) (Figure : b)

“ArcToolbox>>Spatial Analyst Tools>>Interpolation>>IDW”

Pour la grille de sortie (Output cell size) utilisé, le raster MNT pour avoir 90m x 90m.

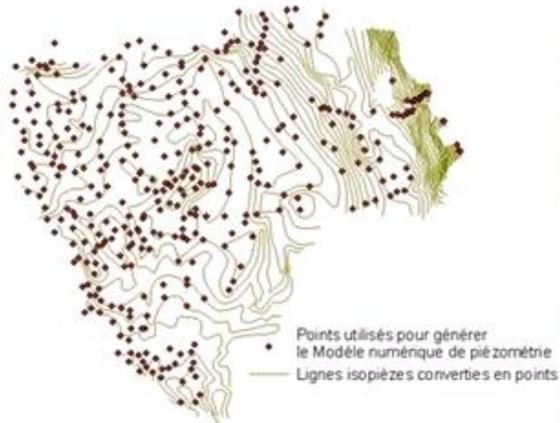
- Découper le raster MNP sur l'extension de la nappe phréatique continue dans la zone d'étude en utilisant l'utilitaire Hawth's Tools. (Figure : d)

Activer l'utilitaire à partir du menu View-Toolbars ; “ Hawth's Tools>>Raster Tools>>Clip Raster By Polygons”

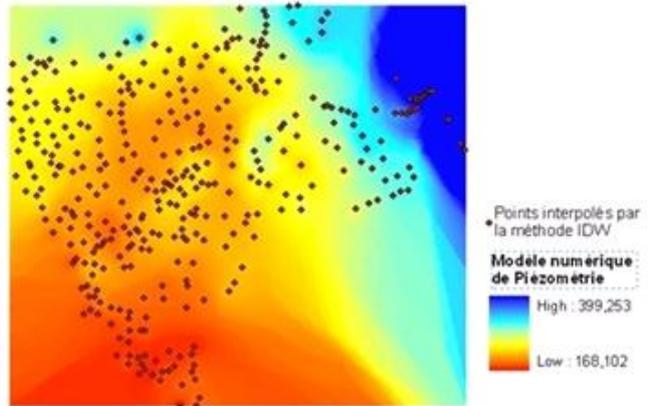
2) Obtention de la carte de profondeurs de la nappe phréatique continue du CT. (Figure : e)

On fait la différence entre le Raster MNT SRTM90 découpé aussi sur la même extension (Figure : c) et le Raster MNP issu du découpage.

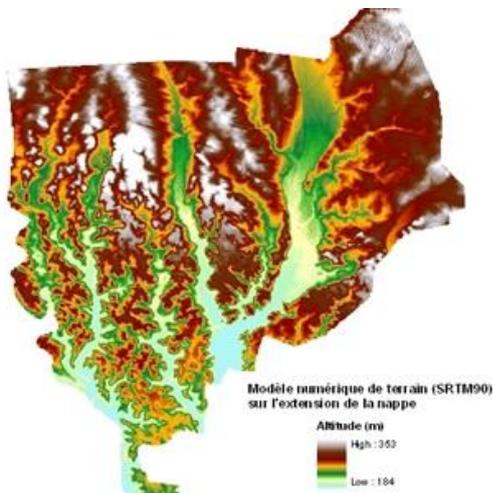
“ArcToolbox>>Spatial Analyst Tools>>Math>>Minus”



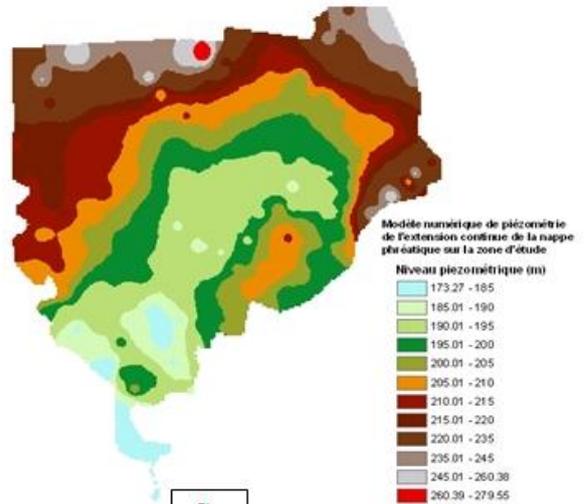
a)



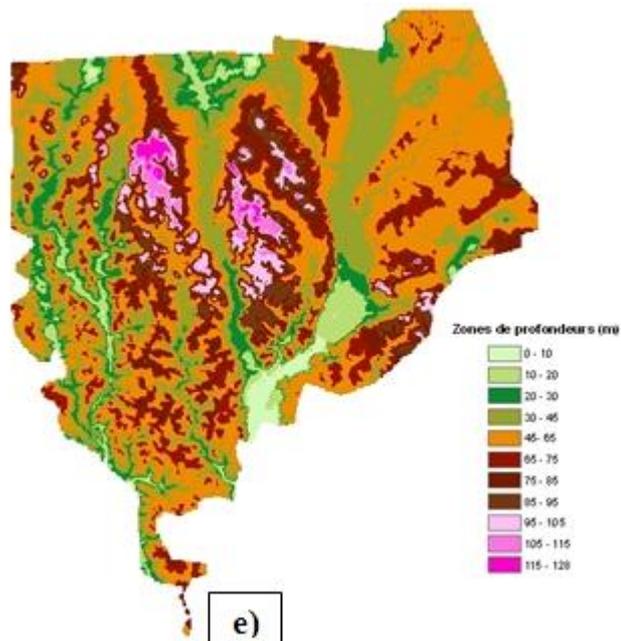
b)



c)

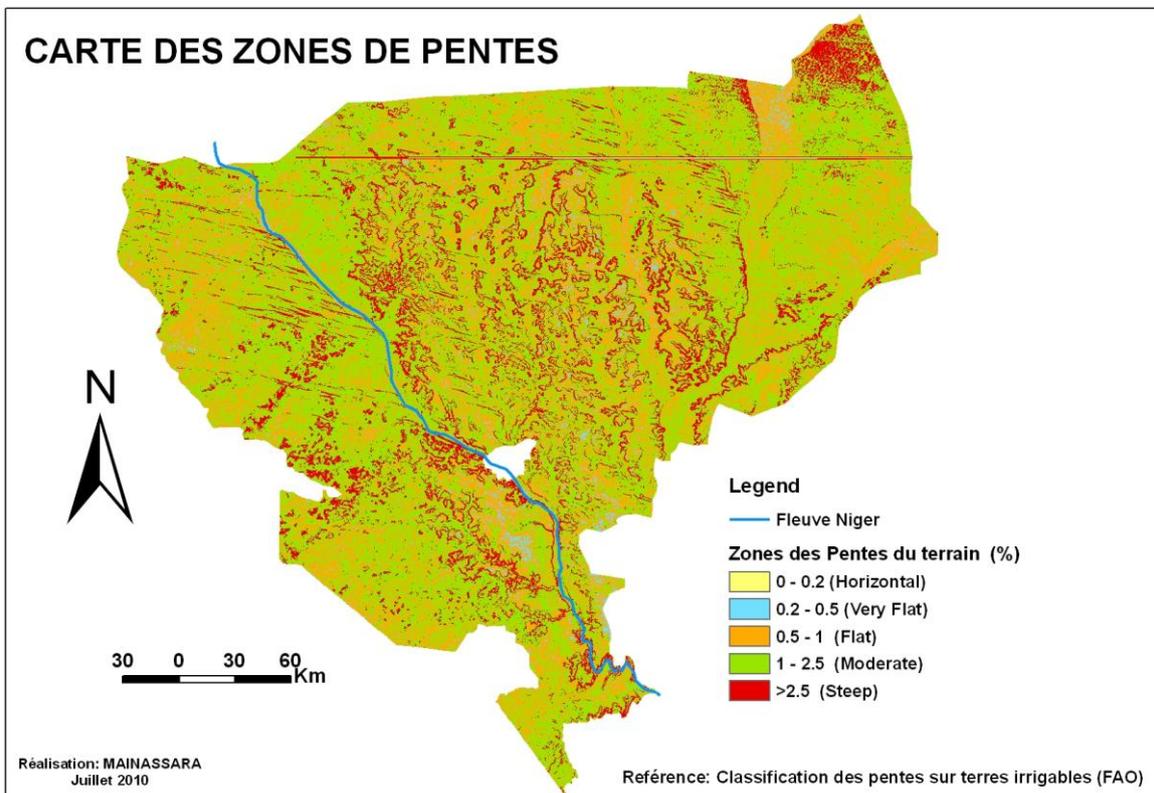
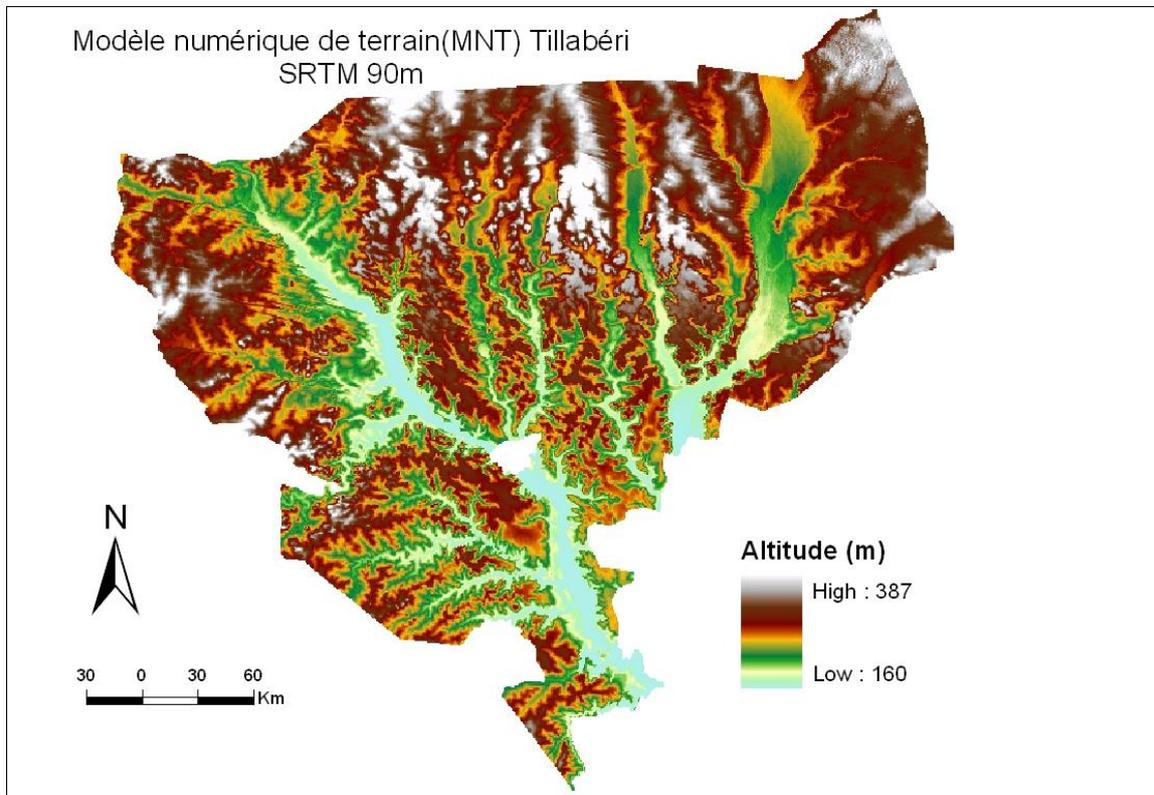


d)



e)

Annexe III: Carte des zones de pentes selon la classification FAO, générée à partir du Modèle Numérique de Terrain SRTM 90 de la région de Tillabéri sur ArcGis 9.2
Le MNT en coordonnées géographiques doit d'abord être projeté en coordonnées UTM dans ArcMap puis : **"ArcToolbox>>Spatial Analyst Tools>>Surface>>Slope"**



Annexe IV: Critères utilisés pour l'évaluation de l'aptitude des sols à l'irrigation de surface
 Source: "Irrigation Potential in africa; a basin approach", FAO 1997

Criteria used in the evaluation of soil and terrain suitability for irrigation

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

(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.

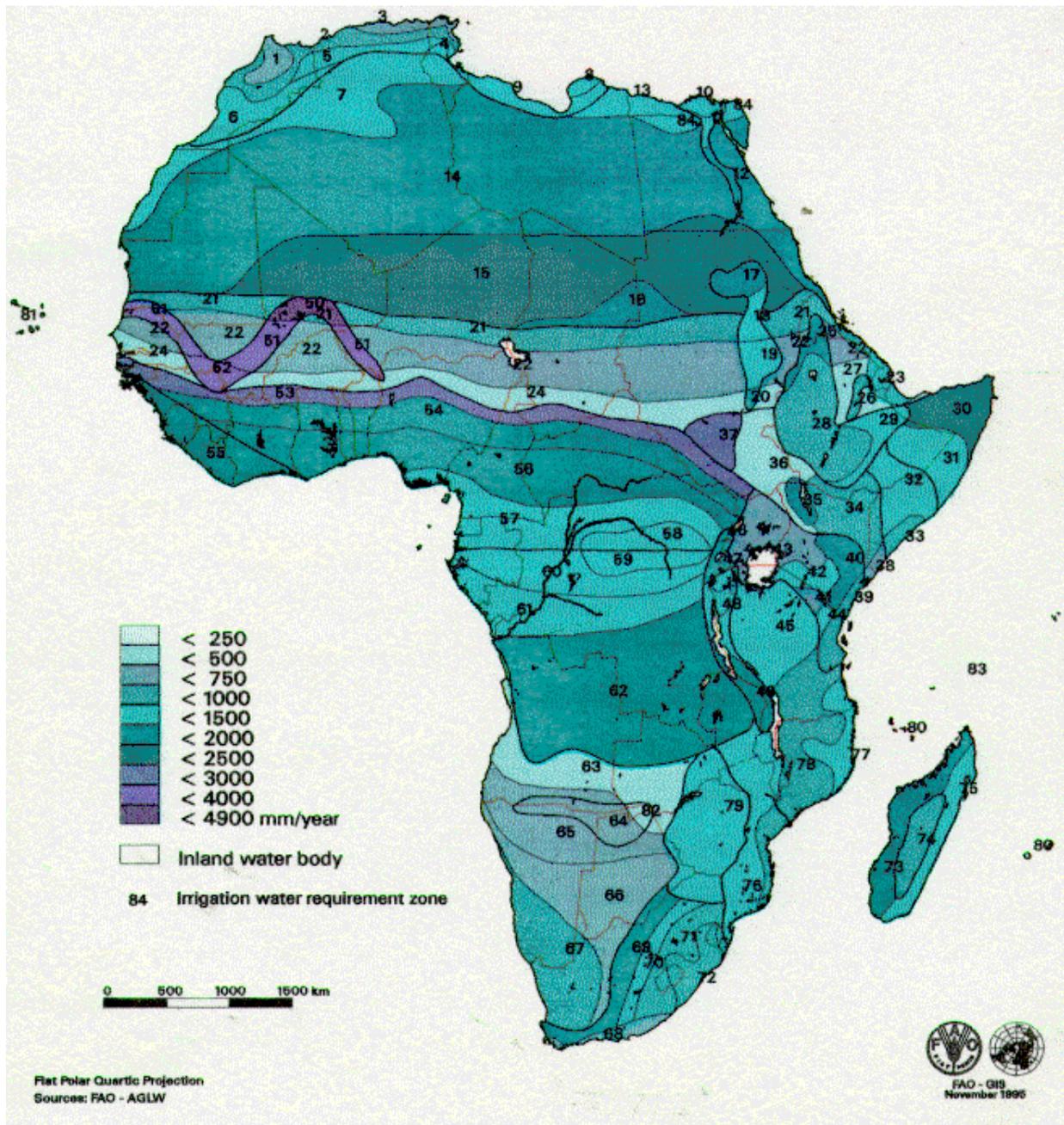
(4) Alkalinity: ESP = Exchangeable Sodium Percentage.

Annexe V: Méthodes approximatives de la FAO pour évaluer les besoins en eau et le potentiel d'irrigation d'une source d'approvisionnement.

a) Régionalisation des besoins bruts en eau d'irrigation. (méthode : Irrigation de surface)

Source: "Irrigation Potential in Africa; a basin approach", FAO 1997

Cette évaluation est basée sur le calendrier culturel ainsi que les cultures actuellement pratiquées et celles qui le seront potentiellement quand les conditions de disponibilité en eau seront réunies, dans chaque pays.



L'analyse de cette carte fait ressortir pour la région de Tillabéri deux zones de besoins :

-Zone du fleuve : besoins compris entre 3000 et 4000 mm/an soit un volume d'eau compris entre 30000 et 40000 m³/an/ha

-La partie Est du fleuve : besoins compris entre 500 et 750 mm/an soit un volume d'eau compris entre 5000 et 7500 m³/an/ha

b) Valeurs moyennes approximatives des besoins nets d'irrigation sous différents climats et la riziculture

Type de Climat	Besoins net d'irrigation
Humid tropical climate	0.5 l/s/ha
Monsoon climate wet season	0.5 l/s/ha
Monsoon climate dry season	1.0 l/s/ha
Semi-arid climate wet season	1.0 l/s/ha
Semi-arid climate dry season	1.5 l/s/ha
Arid climate	1.5 l/s/ha
Rice	1.5 l/s/ha

Source: *Irrigation Water Management: Training Manual No. 6 - Scheme Irrigation Water Needs and Supply*, FAO 1992.

Exemple : Avec un forage débitant 10 m³/h, on évalue son potentiel d'irrigation

-sous climat semi-aride en saison sèche, à 1.80 ha obtenu en effectuant : 10000 L/ (3600*1.5)

-sous climat tropical humide, à 5 ha

c) Impact de la variation du débit d'une source sur la superficie susceptible d'être mise en valeur

Exemple: Au cours d'une campagne d'irrigation de 5 mois, les débits mensuels d'une petite rivière et les besoins mensuels bruts sont donnés. Donner le potentiel d'irrigation de cette rivière au cours de la campagne

débit cours d'eau	Besoins bruts	Superficie potentiellement irrigable
month 1: 2000 l/s	5 l/s/ha	2000/5 = 400 ha
month 2: 1000 l/s	2 l/s/ha	1000/2 = 500 ha
month 3: 300 l/s	2.5 l/s/ha	300/2.5 = 120 ha
month 4: 200 l/s	2.5 l/s/ha	200/2.5 = 80 ha
month 5: 400 l/s	1.5 l/s/ha	400/1.5 = 267 ha

Source: *Irrigation Water Management: Training Manual No. 6 - Scheme Irrigation Water Needs and Supply*, FAO 1992.

Cet exemple montre que dans le 4^e mois seulement 80 ha peuvent être irrigués adéquatement, bien qu'il y ait beaucoup plus d'eau disponible pendant le reste de la saison. Il est appelé mois critique. Le rapport entre la quantité d'eau disponible et le besoin brut d'irrigation, pendant ce mois représente le potentiel d'irrigation de la rivière pendant cette campagne (80 ha).