

REPUBLIQUE DU NIGER



Fraternité – Travail – Progrès

=====

CABINET DU PREMIER MINISTRE

**CONSEIL NATIONAL DE
L'ENVIRONNEMENT POUR UN
DEVELOPPEMENT DURABLE**



SECRETARIAT EXECUTIF

**FONDS POUR
L'ENVIRONNEMENT
MONDIAL**



FEM

**PROGRAMME DES
NATIONS UNIES
POUR LE
DEVELOPPEMENT**



PNUD

**QUATRIEME COMMUNICATION NATIONALE SUR LES CHANGEMENTS
CLIMATIQUES**

**RAPPORT D'ETUDE SUR LA VULNERABILITE ET L'ADAPTATION AUX
CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LE SECTEUR RESSOURCES EN EAU**

Août 2020

TABLE DE MATIERES

LISTE DES TABLEAUX	I
LISTE DES FIGURES	I
RESUME	V
INTRODUCTION.....	1
I. CONTEXTE ET JUSTIFICATION.....	3
II. METHODOLOGIE.....	4
III. LES RESSOURCES EN EAU DU NIGER	5
III.1 Les eaux de pluie	5
III.2 Les ressources en eau de surface.....	7
III.2.1 Les écoulements des cours d'eau	7
III.2.2 Les plans d'eau.....	10
III.3 Les ressources en eau souterraine	10
III.3.1 Les aquifères des socles cristallins	10
III.3.2 Les aquifères de bassins sédimentaires.....	11
IV. LES DONNEES SUR LES RESSOURCES EN EAU.....	15
IV.1 Les données disponibles.....	15
IV.1.1 Les données climatologiques	15
IV.1.2 Les données hydrologiques.....	15
IV.1.3 Les données piézométriques.....	16
IV.2 Les données requises pour l'évaluation V&A	16
V. LES IMPACTS ACTUELS DES CHANGEMENTS ET VARIABILITES CLIMATIQUES	18
V.1 Les unités d'exposition retenues.....	18
V.2 L'approche utilisée pour l'évaluation de la vulnérabilité actuelle	18
V.3 Impacts sur les précipitations	19
V.4 Impacts sur les eaux de surface	20
V.5 Impacts sur les eaux souterraines	23
V.5.1 Les aquifères du bassin des lullemeden	23
V.5.2 Les aquifères du bassin du Lac Tchad	25
V.5.3 Les aquifères alluviaux	27
VI. LES IMPACTS FUTURS DES CHANGEMENTS ET VARIABILITES CLIMATIQUES.....	31
VI.1 Les projections climatiques au Niger.....	31
VI.2 Impacts futurs sur les eaux de surface	33
VI.3 Impacts futurs sur les eaux souterraines.....	34
VI.3.1 Les aquifères du bassin des lullemeden	35
VI.3.2 Les aquifères du bassin du Lac Tchad	36
VI.3.3 Les aquifères alluviaux	36
VII. LES STRATEGIES D'ADAPTATION	38
VII.1 Les stratégies nationales d'adaptation.....	38
VII.2 Les options d'adaptation futures	40
VII.2.1 Actions d'aménagement d'infrastructures / ouvrages prioritaires	41
VII.2.2 Actions soft mesures prioritaires	44
VIII. LES CONTRAINTES LIEES AUX ETUDES V&A	45

CONCLUSION..... 46
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... 47

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des principaux cours d'eau	9
Tableau 2 : Liste des actions d'aménagement d'infrastructures / ouvrages prioritaires	43
Tableau 3 : Liste des actions soft-mesures prioritaires	44

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Zones hydro-climatiques du Niger	5
Figure 2 : Profils météorologiques des principales stations synoptiques du Niger	6
Figure 3 : Carte du réseau hydrographique du Niger	7
Figure 4 : Carte schématique des systèmes aquifères et du réseau hydrographique.....	12
Figure 5 : Pluies et anomalies pluviométriques aux stations d'Agadez, Niamey et Gaya.....	20
Figure 6 : Anomalies de débits du fleuve Niger à Niamey	21
Figure 7 : Anomalies de débits de la Komadougou à Bagara	21
Figure 8 : Anomalies de débits de la Sirba à Garbé-Kourou	22
Figure 9 : Evolution du réseau de drainage (en bleu) et de l'augmentation de la superficie d'une mare à ~40 km à l'E-SE de Ouallam.....	22
Figure 10 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe du Continental Hamadien dans la Région de Maradi.....	24
Figure 11 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe du CT3 au Sud-ouest.....	25
Figure 12 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe quaternaire du Manga	25
Figure 13 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe du quaternaire du Manga au niveau du Kadzel	26
Figure 14 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe du quaternaire des Koramas.....	26
Figure 15 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe alluviale du dalloï Maouri	27
Figure 16 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe alluviale du dalloï Bosso	28
Figure 17 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe alluviale du Goulbi Maradi	28
Figure 18 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe alluviale du Goulbi Gabi.....	29
Figure 19 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe alluviale de la Komadougou	29
Figure 20 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe alluviale du Téloua (Agadez)	29
Figure 21 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe alluviale de Gogo Machaya.....	30
Figure 22 : Evolution du niveau statique de la nappe phréatique du CT3.....	36
Figure 23 : Situation des sites d'actions d'aménagement d'ouvrages prioritaires.....	42

SIGLES ET ABREVIATIONS

AAP	African Adaptation Program
ABN	: Autorité du Bassin du Niger
ACMAD	: Centre Africain pour les Applications de la Météorologie au sur le Développement
AGRHYMET	: Centre régional d'Agro-Hydro-Météorologie
CC	: Changements Climatiques
CCNUCC	: Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CI/CH	: Continental Intercalaire/Hamadien
CILSS	: Comité Inter-Etats de Lutte Contre la Sécheresse au Sahel
CN	Communication Nationale
CNEDD	: Conseil National de l'Environnement pour un Développement Durable
CNI	: Communication Nationale Initiale sur les Changements Climatiques
CoP	Conférence des Parties
CRA	: Centre Régional AGRHYMET
CT	: Continental Terminal
CTN/CVC	: Commission Technique Nationale sur les Changements et Variabilité Climatiques
DAES	: Département des Nations Unies pour les Affaires Economiques et Sociales
DMN	: Direction de la Météorologie Nationale
DRE	: Direction des Ressources en Eau
DRH	: Direction Régionale de l'hydraulique ;
EPSAT	: Estimation des Précipitations par SATellite
FAO	: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FEM	: Fonds pour l'Environnement Mondial
FIT	Front Inter Tropical
GES	: Gaz à Effet de Serre
GIEC	: Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat
GIRE	: Gestion Intégrée des Ressources en Eau
ICRISAT	: Institut International de Recherche sur les Cultures des Régions Semi-Arides
IEC	: Information Education Communication
IGNN	: Institut Géographique National du Niger

INRAN	: Institut National de Recherche Agronomique du Niger
INS	: Institut National de la Statistique
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRD	: Institut de Recherche pour le Développement
LTHE	: Laboratoire d'Etude et de Transferts en Hydrologie et Environnement
MA	: Ministère de l'Agriculture
MDA	: Ministère du Développement Agricole
ME	: Ministère de l'Elevage
MESRI	: Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation
MESS/RT	: Ministère des Enseignements Secondaires, Supérieurs, de la Recherche et de la Technologie
MESU/DD	: Ministère de l'Environnement, de la Salubrité Urbaine et du Développement Durable
MH/A	: Ministère de l'Hydraulique et de l'Assainissement
MHE/LCD	: Ministère de l'Hydraulique, de l'Environnement et de la Lutte Contre la Désertification
MPAT/DC	: Ministère du Plan, de l'Aménagement du Territoire et du Développement Communautaire
MRA	: Ministère des Ressources Animales
NTIC	: Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication
OFEDES	: Office des Eaux et du Sous-sol
OMM	: Organisation Météorologique Mondiale
ONG	: Organisation Non Gouvernementale
ORSTOM	: Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
PANA	: Programme d'Action National pour l'Adaptation aux Changements Climatiques
PANGIRE	Plan d'Action National de Gestion Intégrée des Ressources en Eau
PCD	: Plates-formes de Collecte des Données
PDES	Plan de Développement Economique et Social
PHNS	: Programme Hydraulique Niger Suisse
PIB	: Produit Intérieur Brut
PIP2	: Promotion de l'Irrigation Privée, phase 2
PLCE	: Programme de Lutte Contre l'Ensamblage

PNEDD	:	Plan National de L'Environnement pour un Développement Durable
PNUD	:	Programme des Nations Unies pour le Développement
QCN	:	Quatrième Communication Nationale sur les Changements Climatiques
RGP/H	:	Recensement Général de la population et de l'Habitat
ROSELT	:	Réseau d'Observatoire et de Suivi Environnemental à Long Terme
SCN	:	Seconde Communication Nationale
SDAGE	:	Schémas de Développement, d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SAGE	:	Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SDR	:	Stratégie de Développement Rural
SDRP	:	Stratégie de Développement accéléré et de Réduction de la Pauvreté
SDSM	:	Statistical Downscaling Model
SE/CNEDD	:	Secrétariat Exécutif du CNEDD
SGBD	:	Système de Gestion de Bases de Données
SIG	:	Système d'Information Géographique
SIGNER	:	Système d'Information Géographique du Niger
SNPA/CVC	:	Stratégie Nationale et Plan d'Action en matière de Changements et Variabilité Climatiques
SNPA/DB	:	Stratégie Nationale et Plan d'Action sur la Diversité Biologique
SRES	:	Special Report on Emission Scenarios
SRP	:	Stratégie de Réduction de la Pauvreté
TCN	:	Troisième Communication Nationale sur les Changements Climatiques
UAM	:	Université Abdou Moumouni de Niamey
UNESCO	:	Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture
V&A	:	Vulnérabilité et Adaptation

RESUME

Le Niger dispose d'un potentiel de ressources en eau de surface et souterraines important. En effet, les cours d'eau drainent un volume moyen annuel de l'ordre de 30 milliards de m³. Plus de 30% de ce volume est mobilisé par le fleuve Niger et ses affluents de la rive droite. Les ressources en eau souterraine sont constituées par plusieurs nappes aquifères réparties sur deux (02) grands bassins hydrogéologiques : le bassin des lullemedens à l'Ouest et le bassin du Lac Tchad à l'Est. Les réserves en eau souterraine évaluées à plus de 2000 milliards de m³, sont surtout constituées de ressources non renouvelables (fossiles).

Du fait des relations directes entre les précipitations, les températures et les ressources en eau, les changements et la variabilité climatiques impacteront les ressources en eau au Niger à travers notamment:

- une plus grande incertitude dans la répartition des précipitations ;
- des sécheresses récurrentes sous forme de baisses persistantes de la pluviosité ;
- une baisse des écoulements des cours d'eau, plus importante que celle des précipitations, mais une augmentation du ruissellement dans les bas-fonds des zones endoréiques (mares) ;
- un déplacement des régimes d'écoulement (hydrogramme) du fleuve et de ses affluents de la rive droite ;
- une baisse de la recharge et des réserves en eau des nappes alluviales (Goulbi Maradi, Komadougou) et de certaines nappes phréatiques (aquifères quaternaires du Manga, Korama), mais une remontée de niveaux de la nappe phréatique du Continental Terminal 3 (CT3) dans la zone d'endoréisme et les vallées fossiles (dallols).

En outre, la forte croissance démographique et ses conséquences en termes de déboisement accentuent la vulnérabilité des ressources en modifiant les états de surface et le ruissellement. La conséquence principale de ses effets anthropiques est le relèvement du niveau et des réserves des nappes phréatiques dans les zones endoréiques de l'ouest du pays (Continental Terminal, nappes alluviales des dallols). Toutefois, cette augmentation locale des ressources s'accompagne souvent d'une détérioration de la qualité de l'eau.

Les tendances observées sur les ressources en eau risquent fort de persister durant les prochaines décennies, du fait cumulé du réchauffement climatique et des effets anthropiques. Pour limiter les impacts négatifs des changements climatiques sur les ressources en eau et valoriser au mieux les ressources supplémentaires prévisibles sur certains aquifères, il importe de mettre en œuvre des stratégies d'adaptation appropriées, basées sur une amélioration des connaissances sur les ressources, la gestion intégrée des ressources eau et des terres et la mise en place d'un système de suivi hydrologique optimum.

INTRODUCTION

Le Niger est un pays enclavé compris entre les longitudes 0°16' et 16° Est, et les latitudes 11°1' et 23°17' Nord, au cœur de la zone sahélo-saharienne. En effet le littoral le plus proche du pays, le Golfe de Guinée, est situé à plus de 1000 km au Sud-ouest de la capitale Niamey. La superficie du pays est de 1 267000 km². Sur le plan administratif, le pays est organisé en huit (8) Régions à savoir Agadez, Diffa, Dosso, Maradi, Niamey, Tahoua, Tillabéri et Zinder. Ces Régions comptent 63 Départements et 269 Communes.

La population du Niger est estimée en 2020 à 20 millions d'habitants (INS, 2020) dont 49,4 % d'hommes et 50,6 % de femmes, avec un taux d'accroissement global moyen de 3,9 % (INS, 2013). Cette population est inégalement répartie sur l'étendue du pays. En effet, la densité varie de moins de 1 hab./km² dans la région d'Agadez au Nord, à 82 hab./km² dans la région de Maradi au Sud. Plus de 83% de cette population vit en milieu rural.

Entre 1990 et 1999, le secteur primaire ne représentait que 36,5% du PIB contre 17,3 % pour le secteur secondaire et 46,2% pour le secteur tertiaire (MPAT/DC, 2012). Mais cette contribution du secteur primaire a connu une augmentation relative depuis l'an 2000, passant à 44,68 % du PIB en 2015 (PDES, 2017), avant d'enregistrer une baisse significative liée d'une part à l'augmentation de la contribution du secteur secondaire grâce à l'exploitation pétrolière, et d'autre part aux effets des changements et variabilités climatiques. En effet, le secteur primaire reste encore fortement sensible à la variabilité et aux chocs climatiques et prédispose le pays à la récurrence des crises alimentaires.

L'agriculture, l'élevage, la sylviculture et la pêche constituent les principales activités économiques, pratiquées par plus de 80% de la population active. Sur la période 2007-2011, la contribution globale du secteur agro-sylvo-pastoral dans l'économie nationale est estimée à 37,02 % du PIB (PDES, 2017). Ainsi, l'économie du Niger est sans conteste largement basée sur l'exploitation des ressources naturelles, fortement dépendantes des conditions climatiques.

Le climat du Niger est aride sur les trois quarts (3/4) nord et semi-aride sur le quart (1/4) Sud. On distingue deux (02) grandes saisons : une saison sèche (octobre à mai) et une saison des pluies (juin à septembre). Les précipitations sont régies par la Mousson ouest-africaine, un vent humide soufflant du Sud-ouest vers le Nord-est sur la majeure partie du pays. Le climat nigérien est surtout caractérisé par une forte variabilité spatio-temporelle de ses principales composantes hydrologiques (précipitations, températures, évapotranspiration et écoulements).

Cette variabilité hydrologique associée à la sécheresse, la désertification et la dégradation continue des terres agricoles, conduit à des séries d'années déficitaires sur le plan agro-sylvo-pastoral, avec d'importantes conséquences socio-économiques. Hors il est avéré que la sécheresse, la désertification, et la variabilité hydrologique sont accentuées par les changements climatiques (IPCC, 2007).

Le 4^{ème} rapport du Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat (GIEC) (IPCC, 2007) indique que " ...le réchauffement du climat ne fait aucun doute et est désormais attesté par l'augmentation observée des températures moyennes de l'air et de l'océan, la fonte généralisée de la neige et de la glace et l'augmentation du niveau moyen de la mer". Le 5^{ème} Rapport du GIEC (IPCC,

2014) confirme globalement cette dynamique. En effet depuis le début du XXe siècle, la température moyenne à la surface du globe a augmenté de 0,74°C, mais cette progression n'a pas été continue puisque depuis 1976, la hausse s'est nettement accélérée, atteignant 0,19°C par décennie en accord avec les prédictions des modèles. La décennie 2001-2010 a connu la température la plus élevée jamais enregistrée sur une décennie depuis le début des relevés instrumentaux.

Malgré leurs incertitudes, toutes les simulations de l'évolution future du climat en fonction des scénarii d'émission de gaz à effet de serre (GES), prédisent :

- Une augmentation de la température moyenne globale à la surface des continents d'ici 2100, avec un taux de réchauffement nettement plus élevé que celui observé au cours du XXe siècle ;
- Une augmentation globale de la vapeur d'eau, de l'évaporation et des précipitations avec toutefois des diminutions probables des précipitations à l'échelle régionale ;
- Une accentuation des extrêmes en ce qui concerne l'aridification et les chutes de pluies très fortes, ce qui augmente le risque de sécheresses et d'inondations ;
- Une augmentation de la température moyenne globale à la surface des mers et un relèvement de leurs niveaux dû à la dilatation thermique, qui se poursuivra encore pendant des centaines d'années même après stabilisation des concentrations GES.

A travers son impact sur les précipitations, un des effets dominants du réchauffement observé de la planète et de sa persistance annoncée est la baisse de la disponibilité des ressources en eau pour le développement de l'agriculture, l'élevage, la pêche et l'industrie au Niger. Si des stratégies nationales d'adaptation adéquates ne sont pas mises en œuvre dans le secteur des ressources en eau, la combinaison de la croissance démographique (3,9%) et des effets du réchauffement de la planète devrait accentuer la pression sur ces ressources et hypothéquer le développement durable du pays. Un pas est néanmoins franchi avec l'élaboration et l'adoption du Plan d'Action National de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PANGIRE) du Niger et le début de mise en œuvre de son Programme d'Investissement.

Le présent rapport traite de la vulnérabilité et de l'adaptation (V&A) du Secteur des ressources en eau au Niger. Il présente d'abord succinctement les ressources et explicite ensuite les impacts actuels et futurs des changements climatiques sur le secteur. Il met à jour et complète les études réalisées lors de l'élaboration des trois (03) précédentes Communications Nationales et du Programme Africain d'Adaptation aux changements climatiques (*AAP-Niger*).

Plus spécifiquement, l'étude de V&A du secteur des ressources en eau, objet du présent rapport, vise à mettre à jour de l'évaluation des risques liés aux changements climatiques dans le secteur à travers notamment :

- identification et évaluation des données hydrologiques nécessaires pour l'étude d'impacts des changements climatiques dans le secteur des ressources en eau ;
- analyse des données disponibles afin d'évaluer les impacts actuels (vécus) de ces changements sur les systèmes de ressources en eau ;
- évaluation à l'aide des modèles ou tout autre outil, des impacts futurs des changements climatiques sur les ressources en eau ;
- identification de stratégies d'adaptation appropriées pour le secteur.

I. CONTEXTE ET JUSTIFICATION

Conformément aux dispositions de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), le Niger en tant que "Pays Partie" doit régulièrement présenter une "Communication Nationale (CN) sur les changements climatiques" à la Conférence des Parties (CdP). Le processus d'élaboration de la Communication Nationale intègre l'évaluation de la vulnérabilité et de l'Adaptation (V&A), qui vise à fournir des informations sur les forces et les faiblesses des conditions actuelles dans le pays en termes de relation entre les conditions climatiques, environnementales et socio-économiques concernant divers secteurs dont celui des ressources en eau. L'évaluation de la V&A a pour but notamment d'aider le pays à atteindre ses objectifs de développement durable et de lutte contre la pauvreté, par l'intégration des mesures d'adaptation identifiées dans les politiques et stratégies de développement des secteurs socio-économiques et techniques prioritaires.

Le Niger a présenté sa Communication Nationale Initiale (CNI) à la 6^{ème} Conférence des Parties (CoP06) à la CCNUCC en novembre 2000 à La Hayes (Pays Bas). Après une évaluation en 2004 de ce premier processus qui a permis d'identifier les atouts et faire ressortir les contraintes dans l'élaboration de la CNI, une Seconde Communication Nationale (SCN) a été élaborée puis présentée à la CoP15 tenue en décembre 2009 à Copenhague (Danemark).

Pour garantir la continuité du processus d'élaboration des Communications, les procédures opérationnelles de financement accéléré des CN mises en place par le Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM), ont permis au Niger de bénéficier d'un financement pour réaliser l'auto-évaluation de sa SCN en 2011. Cet exercice a permis : (i) d'identifier et analyser les difficultés et les contraintes rencontrées lors de l'élaboration de la SCN ; (ii) de proposer des solutions permettant de pallier ces contraintes, (iii) de formuler des recommandations pour l'amélioration de la qualité des Communications Nationales (CN) futures et enfin (iv) de créer les conditions pour l'élaboration de la Troisième Communication Nationale (TCN) puis de la Quatrième Communication Nationale (QCN). Grâce à ce processus itératif, le FEM à travers le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), a accordé au Niger un appui financier pour mettre en œuvre le « Projet QCN » visant à renforcer ses capacités dans la préparation, la production, la présentation à la COP et la vulgarisation de la QCN.

L'élaboration de la QCN comporte notamment la réalisation des études de vulnérabilité et de l'adaptation aux changements climatiques (V&A) des secteurs socio-économiques productifs du Niger. Les précédentes études réalisées dans ce sens, notamment dans le cadre de la mise en œuvre du Programme Africain d'Adaptation (PAA) et de l'élaboration de la TCN devraient donc être actualisées et améliorées par l'utilisation d'outils appropriés et maîtrisés par les experts nationaux.

La présente étude de V&A concerne le secteur des Ressources en Eau. Elle contribue à l'élaboration de la QCN par l'actualisation (reprendre, affiner, améliorer et actualiser) de l'évaluation de la vulnérabilité et de l'adaptation aux changements et variabilités climatiques réalisés dans le cadre du Programme Africain d'Adaptation (PAA) et des Communications Nationales précédentes.

Le présent document fait ainsi partie intégrante des résultats de la Quatrième Communication Nationale (QCN) du Niger sur les changements climatique, élaborée dans le cadre de la mise en œuvre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.

II. METHODOLOGIE

Dans l'évaluation V&A du secteur des ressources en eau, il convient de distinguer deux (02) étapes essentielles :

- la première consiste en l'évaluation des impacts actuels, c'est-à-dire ceux déjà perceptibles. Celle-ci est basée sur la collecte et l'analyse des données d'observations et de mesures hydrologiques disponibles sur les systèmes de ressources en eau. Selon la disponibilité des données, cette analyse devrait aboutir à l'élaboration de modèles hydrologiques capables de reproduire l'évolution des systèmes sur une période d'observations donnée ;
- la deuxième est celle de l'évaluation des impacts futurs qui permet de dégager les tendances à long terme. Cette étape s'appuie d'une part sur les scénarii d'évolutions futures du climat obtenus à partir des modèles climatiques, et d'autre part sur l'utilisation des modèles de simulation mis en œuvre lors de l'étape précédente.

Ce distinguo ainsi posé, la présente évaluation V&A du secteur des ressources en eau est mise en œuvre dans le cadre d'un travail d'équipe composée également des experts des autres secteurs socio-économiques (agriculture, élevage, foresterie, santé). La méthodologie adoptée s'articule notamment autour des phases suivantes :

- la collecte des données hydrologiques et hydrogéologiques disponibles auprès des institutions nationales en charge du secteur et des structures de recherche intéressées par la problématique ;
- l'analyse et l'interprétation des données en vue de caractériser les ressources en eau du Niger et d'analyser l'évolution récente des indicateurs principaux de ces ressources (débits, niveaux de nappes, qualité des eaux, etc.) pour apprécier la sensibilité des systèmes de ressources en eau aux stimuli climatiques ;
- l'exploitation d'un modèle reproduisant le comportement connu d'une unité d'exposition choisie parmi les systèmes en raison de son importance socioéconomique et de sa sensibilité à la variabilité climatique : la nappe phréatique du Continental Terminal ;
- la simulation et la projection d'impacts futurs selon les scénarii climatiques retenus (scénario sec et humide) ;
- l'identification des stratégies d'adaptations et des recommandations aux acteurs et aux décideurs pour une meilleure gestion, capable de pérenniser les ressources en eau et les activités socio-économiques qu'elles soutiennent ;
- la présentation des résultats de l'évaluation lors d'un atelier de validation ;
- la prise en compte des observations et amendements ;

III. LES RESSOURCES EN EAU DU NIGER

Les ressources en eau du Niger peuvent être classées en trois (03) catégories :

- les eaux de pluie ou précipitations;
- les ressources en eau de surface ;
- les ressources en eau souterraine.

III.1 Les eaux de pluie

Le climat qui règne au Niger résulte de l'alternance de l'air tropical chaud et sec du Nord-Est provenant du Sahara, l'Harmattan (Alizé), et de l'air équatorial maritime humide du Sud-Ouest provenant de l'anticyclone de Sainte-Hélène, la Mousson ouest-africaine. La surface de contact entre ces deux (02) masses d'air constitue le Front Intertropicale (FIT), dont l'oscillation saisonnière est à l'origine des deux (02) principales saisons au Niger : la saison sèche et la saison pluvieuse ou humide. La saison sèche (octobre à mai) est caractérisée par des précipitations très faibles à nulles. De plus, la température, l'évaporation et l'évapotranspiration atteignent de valeurs maximales.

La saison des pluies au Niger est régie par la remontée du FIT vers le Nord. En effet, sous l'influence de l'anticyclone de Sainte-Hélène, la mousson pénètre le pays en alimentant la basse atmosphère en vapeur d'eau et provoquant des systèmes pluvieux-orageux. Le FIT se déplace progressivement vers le Nord pour atteindre sa position extrême vers 20° de latitude Nord généralement au mois d'août. Les précipitations sont caractérisées par une forte variation dans l'espace et dans le temps. Elles surviennent généralement pendant 3 à 4 mois dans l'année, de juin à septembre.

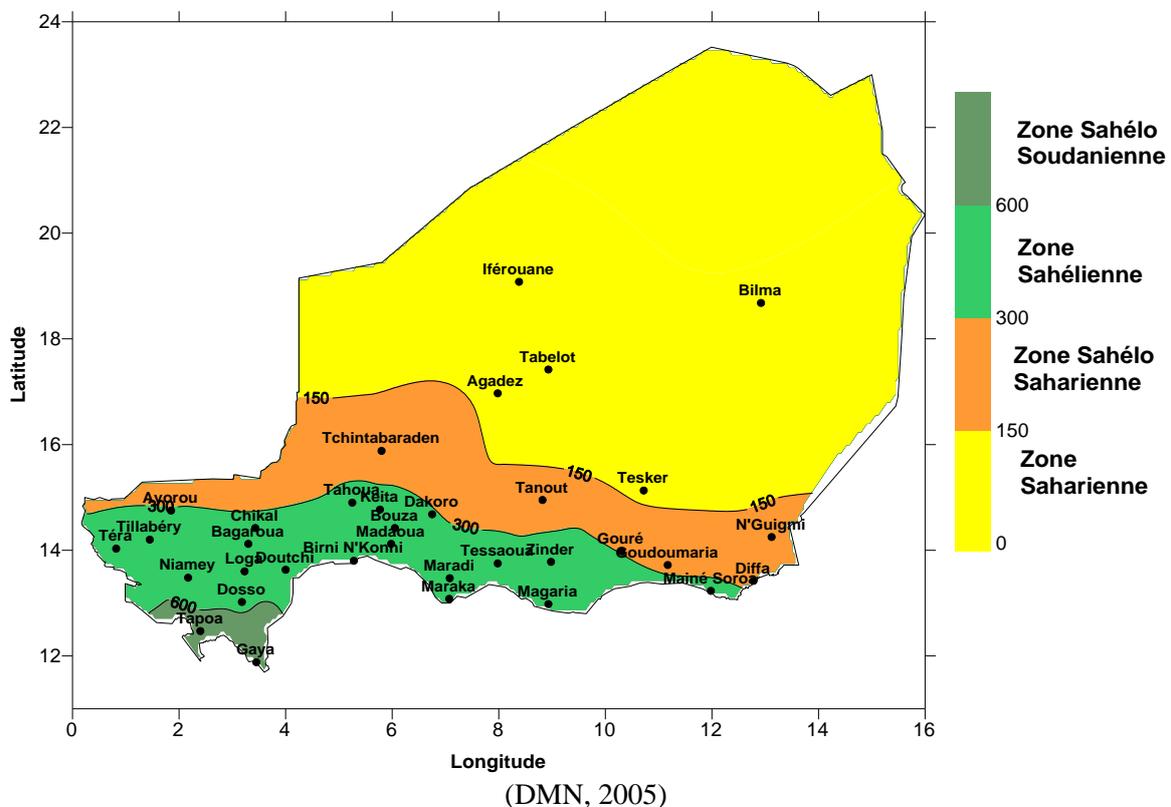


Figure 1 : Zones hydro-climatiques du Niger

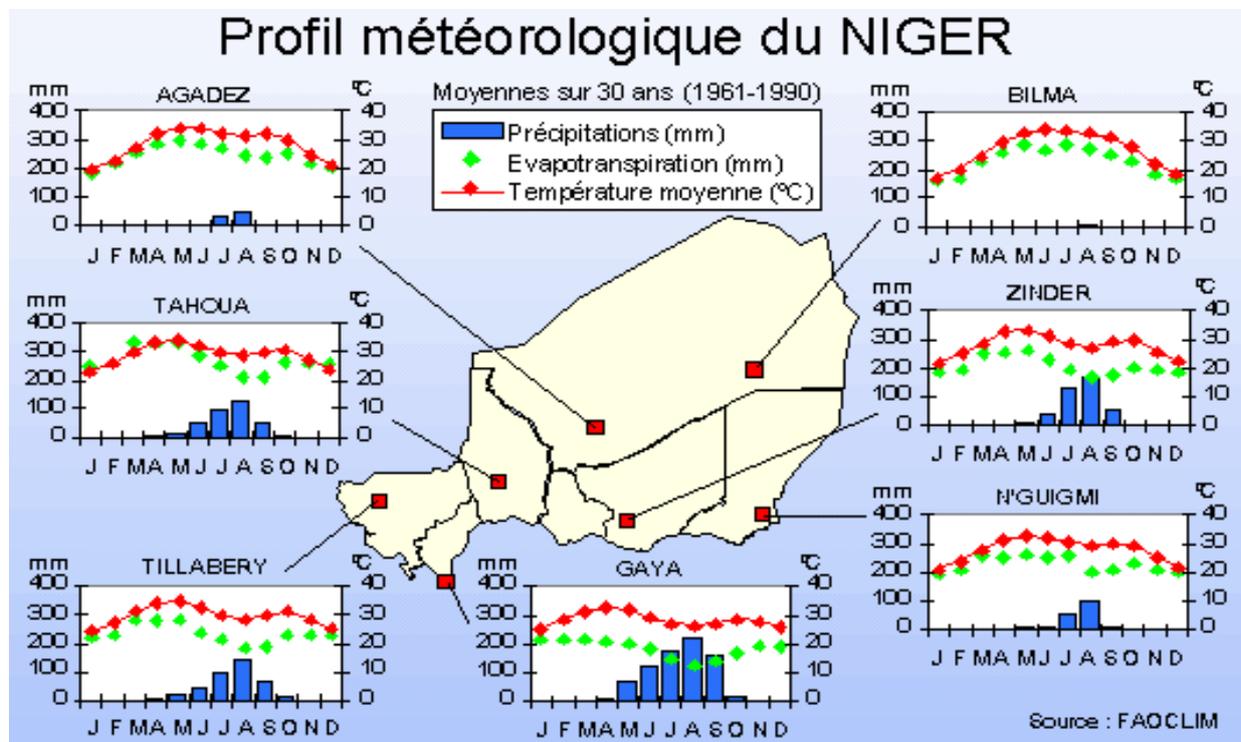
Du Sud vers le Nord du pays, la saison des pluies devient de plus en plus courte et les cumuls de pluies

annuelles de plus en plus faibles. On distingue ainsi quatre (4) zones hydro-climatiques (Fig. 1):

- la zone sahélo-soudanienne qui représente environ 1% de la superficie totale du pays et reçoit en moyenne 600 à 800 mm de pluie par an. Elle constitue une petite bande dans l'Extrême Sud-ouest du pays, contrôlée par la station synoptique de Gaya. Cette zone est propice à la production agricole et animale ;
- la zone sahélienne avec 350 à 600 mm/an, couvre 10 % du pays et inclus notamment les stations synoptiques de Maradi, Niamey, Tahoua, Tillabéri et Zinder. Elle est caractérisée par la prédominance de l'agro-pastoralisme ;
- la zone sahélo-saharienne qui enregistre entre 150 et 350 mm de pluie par an et qui représente 12 % de la superficie du pays, est bien adaptée pour l'élevage;
- la zone saharienne qui cumule en moyenne moins de 150 mm/an, mais qui couvre 77 % du pays est désertique. La station synoptique d'Agadez permet de dresser un profil météorologique de cette zone.

Cette classification hydro-climatique laisse apparaître une disparité pluviométrique très marquée entre le Nord aride et le Sud et l'extrême Sud plus humides (Fig. 2). En plus de la variation spatio-temporelle des pluies, le régime pluviométrique montre une alternance d'années sèches et humides, très caractéristique de la zone sahélienne (Mamadou et al, 1996).

Les précipitations permettent la recharge des nappes souterraines (aquifères), la formation des plans d'eau (marigots, mares et lacs) et le développement du couvert végétal agricole et naturel. Toute modification dans le cumul des précipitations engendre une migration des isohyètes avec un déplacement des activités socio-économique associées aux zones hydro-climatiques.



(Source FAOCLIM)

Figure 2 : Profils météorologiques des principales stations synoptiques du Niger

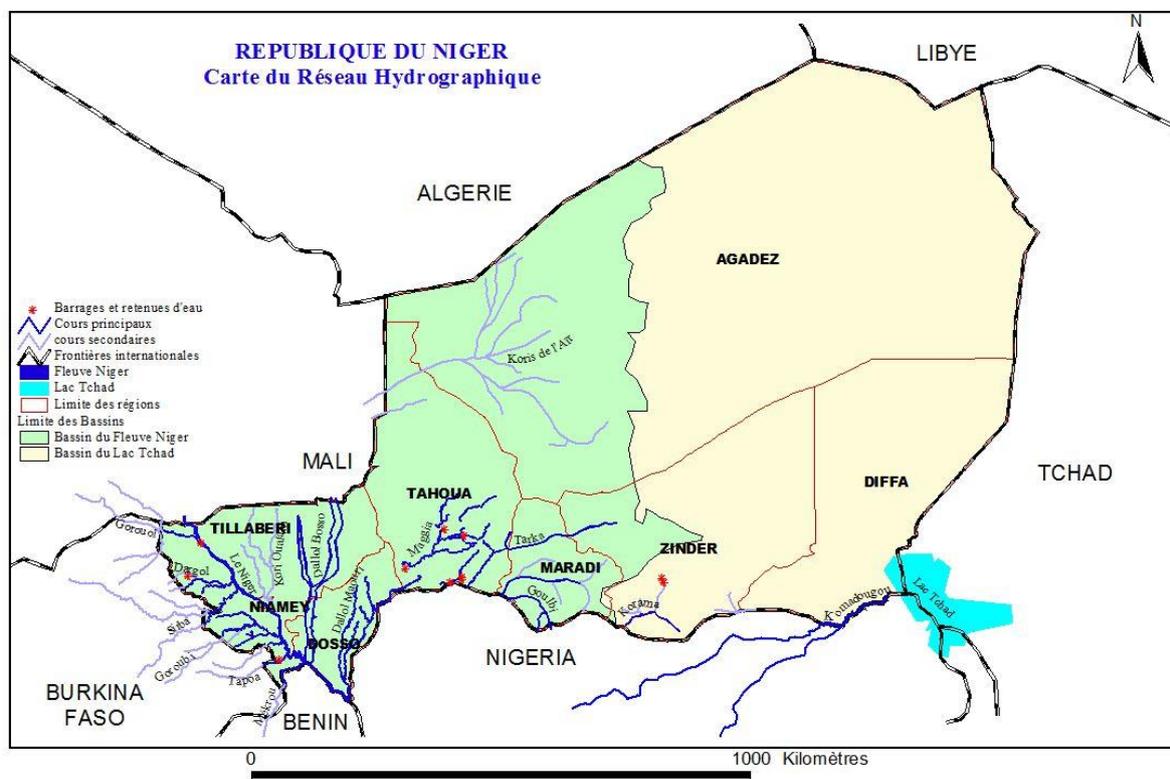
III.2 Les ressources en eau de surface

Les ressources en eau de surface sont constituées par :

- les écoulements des cours d'eau du réseau hydrographique ;
- les plans d'eau naturels et/ou artificiels.

III.2.1 Les écoulements des cours d'eau

L'irrégularité des précipitations et les faibles cumuls habituellement enregistrés sur la majeure partie du pays, confinent l'essentiel des écoulements d'eau au bassin du fleuve Niger et ses affluents de la rive droite, ceux de la rive gauche étant devenus fossiles (Fig. 3). A cela il faut ajouter quelques écoulements réduits mais encore notables dans les zones de l'Ader-Doutchi-Maggia, le Goulbi Maradi et de la partie nigérienne du bassin du lac Tchad, avec notamment la rivière (Komadougou). La majeure partie Nord du pays ne bénéficie que d'écoulements faibles et très variables d'une année à l'autre.



(SOFRECO, 2015))

Figure 3 : Carte du réseau hydrographique du Niger

On distingue sept (7) Unités hydrologiques:

- l'Unité hydrologie du fleuve Niger et de ses affluents de la rive droite : le fleuve est le seul cours d'eau permanent. Il prend sa source en Guinée dans le massif du Fouta Djalon, traverse d'abord le Mali, puis le Niger et le Nigeria, avant de se jeter dans l'Atlantique après un parcours de 4.200 km. Son bassin versant évalué à plus de 2.200.000 km² est partagé par le Niger (23,8%) et les autres pays de l'Autorité du Bassin du Niger que sont la Guinée, le Mali, le Nigeria, le Bénin, le

Burkina Faso, la Côte d'Ivoire, le Cameroun et le Tchad). Dans son parcours au Niger soit 550 km, le fleuve reçoit surtout les écoulements de ses affluents rive droite à savoir le Gorouol, le Dargol, la Sirba, le Goroubi, le Diamangou, la Tapoa et la Mékrou. Plusieurs stations hydrométriques dont celle de Niamey, permettent de mesurer les écoulements du fleuve au Niger. Son régime à Niamey est caractérisé par deux (2) crues principales :

- une "cruie locale" qui survient en août/septembre grâce aux écoulements des affluents de la rive droite en amont de Niamey (Gorouol, Dargol, Sirba). Ces affluents dépendent des pluies locales et drainent saisonnièrement d'importantes quantités d'eau vers le fleuve ;
 - une "cruie guinéenne" qui intervient en décembre/janvier et qui marque l'arrivée des eaux provenant des sous-bassins de la Guinée et du Mali.
- l'unité hydrologique des affluents de la rive gauche du fleuve, constituée par les dallols Bosso, Maouri, Foga et par de nombreux koris secondaires (i.e. Firgoun, Deykaina, Gabou, Ouallam, Dantchiandou, Farié, Boubon, Gounto-yéna, etc). Ce sont des cours d'eau fossiles sans écoulements continus, qui ont jadis caractérisé et façonné des vallées au cours du Tertiaire et où la configuration du terrain (plateaux, vallées et endoréisme) est très favorable à la recharge des nappes phréatiques ;
 - l'Ader-Doutchi-Maggia, constitué de cinq (05) importantes vallées (Tadiss de Tahoua, Badéguichiri, Keita, Maggia et Tarka) très actives pendant la saison des pluies surtout dans leurs parties supérieures. En aval en effet, les écoulements s'épandent et s'infiltrant dans les vallées. Peu de mesures d'écoulements sont disponibles sur ces vallées ;
 - les Goulbis Maradi et Kaba : le Goulbi de Maradi prend sa source au Nigeria à environ 75 km au Nord-ouest de Kano. Ses écoulements ont été mesurés entre 1961 et 1999 à la station hydrométrique de Nielloua. Ils surviennent généralement durant les mois de juin à septembre, mais l'essentiel (70%) des apports interviennent durant les mois d'août et septembre. Depuis la construction du barrage de Jibia (avec une capacité de 140 millions de m³) en 1989, les écoulements du Goulbi de Maradi sont presque entièrement contrôlés par le Nigeria. Le Goubi N'kaba est également une vallée fossile, dont les rares écoulements notables se limitent à la partie inférieure du bassin au Sud du Département de Tessaoua. Du fait de la faiblesse des écoulements, aucune mesure n'est disponible sur le bassin du Goulbi N'kaba.
 - les Korama, constituées de plusieurs cours d'eau intermittents. Restées sèches jusqu'aux années 1940, les Korama se sont remises à couler en saison pluvieuse jusqu'en 1953, avant de devenir presque permanentes jusqu'en 1965. Depuis, les crues des kori sont rares en raison des ouvrages construits dans la partie supérieure du bassin au Nigeria ;
 - la Komadougou et la cuvette du Lac Tchad : la Komadougou est une rivière non permanente qui draine les eaux des versants des haut-plateaux de Jos-Kano (Nigéria). L'essentiel de son cours d'une longueur d'environ 1500 km se passe au Nigéria et ne traverse le Niger que sur environ 150 km de sa partie la plus en aval, le long de la frontière, entre les localités de Kanama et Bosso. Les écoulements qui durent en moyenne huit (08) mois débutent en juillet. Le débit augmente progressivement pour atteindre son maximum au mois de novembre. Il décroît ensuite plus rapidement pour s'annuler généralement durant le mois de février. Deux (02) stations hydrométriques, celles de Bagara et de Gueskéroù permettent de mesurer les écoulements de la rivière au Niger.
 - les Koris de l'Air qui drainent les versants des massifs de l'Air (Mont Bagzane, Massif de

Taghouaji, Mont Togha, Bilet Adrar Egalah, Mont Goundaï, Agueraguer, Aguelal, Adrar Tamgak, Mont Gréboun, etc.). Les versants Est et Nord sont drainés par plusieurs petits koris (i.e. Affassass) dont les rares écoulements se perdent rapidement dans l'immensité des sables du Ténéré. Les versants ouest sont drainés par des koris plus actifs, dont les plus importants du Nord au Sud sont les koris Amachegh, Zilalet, Anou Mekkerene, et surtout le Téloua qui traverse la Commune d'Agadez sur toute sa moitié nord. Ces koris convergent à l'Ouest vers trois grandes vallées que sont l'Anou Zagarene, l'Anou Makarene et surtout l'Irhazer Wan Agadez. La confluence de toutes ces vallées à 200 km à l'ouest des massifs donnent naissance à l'Azaouak, un cours d'eau fossile qui jadis se jetait dans le dallol Bosso puis dans le fleuve.

Il ressort de l'analyse de l'état des unités hydrologiques qu'à l'exception du fleuve Niger, le réseau hydrographique est très dégradé et en voie de fossilisation (i.e. les dallols). Dans les Goulbi et des koris, l'ensablement des lits et l'anthropisation des bassins donnent lieu à des écoulements intermittents ou à des endoréismes très prononcés. Dans le bassin du Lac Tchad également, l'essentiel du réseau hydrographique s'est fossilisé, envahi par des dunes de sables. Seuls résistent le cours principal de la Komadougou et une portion des Korama.

Dans le cadre de la mise en œuvre de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau, ces sept (7) Unités hydrologiques sont institutionnalisées en Unités de Gestion des Eaux (UGE) dans le « Code de l'eau » (Ordonnance n° 2010-09 du 1er avril 2010), en tant qu'ensembles hydrologiques et hydrogéologiques homogènes, servant de cadre physique pour la gestion et la planification des ressources en eau.

Tableau 1 : Caractéristiques des principaux cours d'eau

Rivière	Station hydrométrique	Bassins versants (km ²)	Écoulement moyen annuel (million de m ³)	Débit max absolu (m ³ /s)
Badaguichiri	Badéguichiri	824	37	219
Dargol	Kakassi	6 940	160	-
Diamongou	Tamou	4 030	100	-
Goroubi	Diongoré	15 350	220	-
Gorouol	Alkongui	44 855	220	311
Goulbi Maradi	Nielloua	4 800	218	668
Komadougou	Bagara	115 000	501	75
Mékrou	Barou	10 500	923	410
Niger	Niamey	700 000	28 500	2 365
Sirba	Garbé Kourou	38 750	697	491
Tapoa	Campement W	5 330	40	-
Téloua	Azel	-	21	4
Zermou	Zermou	474	9	47

Source : MHE/LCD (1999a) ; PANGIRE (2017).

Les principales caractéristiques des écoulements de cours d'eau sont résumées dans le Tableau 1. L'ensemble des unités hydrologiques permet de mobiliser en moyenne 30 milliards de m³ d'eau par an. Toutefois, l'essentiel de ces apports en eau de surface (90%) provient du fleuve Niger, dont le bassin versant est partagé entre les pays membres de l'Autorité du Bassin du Niger (ABN). Les ressources en

eau de surfaces sont donc caractérisées par une forte dépendance hydrologique, estimée à 90 % par la FAO (2005).

III.2.2 Les plans d'eau

Les unités hydrologiques sont également parsemées de plans d'eau constitués par les mares naturelles endoréiques ou de débordement, et les retenues artificielles (barrages et retenues). On dénombre environ 1 000 mares dont 17 % ont un régime permanent (MHE/LCD, 1999a). Toutefois, ces plans d'eau sont encore mal connus en termes de nombre, de quantités et de qualité des eaux mobilisées, en l'absence d'inventaire exhaustif et actualisé (Bako, 2020) et de dispositifs de suivi hydrologique.

Les retenues artificielles sont au nombre de 120. A l'instar des mares naturelles, ces plans d'eau ne sont pas suivis. Ils assurent néanmoins le stockage annuel d'un volume d'eau estimé à plus de 100 millions de m³ (MHE/LCD, 1999a ; MHA, 2019). La mise en eau prochaine du barrage de Kandadji dont les travaux ont démarré permettra de rehausser les ressources mobilisées à plus de 1,7 milliards de m³ pour une superficie inondée de 30 000 ha.

Les ressources en eau mobilisées grâce aux mares naturelles et artificielles sont exploitées pour l'abreuvement du bétail, la petite irrigation et la pisciculture notamment dans la bande sud du Pays.

Globalement, les ressources en eau de surface sont peu exploitées. Les volumes prélevés sont en effet dérisoires par rapport au potentiel mobilisable (1% des ressources). L'essentiel des prélèvements sont réalisés à des fins d'irrigation, notamment dans les périmètres irrigués de l'Office National des Aménagements Hydro-Agricoles (ONAHA).

III.3 Les ressources en eau souterraine

Les ressources en eau souterraine sont constituées par les aquifères ou nappes souterraines répartis au sein de deux (02) types de réservoirs hydrogéologiques : le socle fissuré et altéré des roches cristallines (i.e. le Liptako) et les bassins sédimentaires de comblement (i.e. bassin du Lac Tchad). La figure 4 présente les limites schématiques des principaux réservoirs aquifères identifiés. Ces derniers peuvent ainsi être classés en deux (02) grandes catégories :

- les aquifères de socles cristallins ;
- les aquifères de bassins sédimentaires.

III.3.1 Les aquifères des socles cristallins

Il s'agit des aquifères des socles cristallins du Liptako, du Damagaram, du Mounio, du Sud Maradi, de l'Aïr et du Ténéré de Tafassasset. Les ressources en eau sont localisées dans des fractures, des couvertures d'altérations ou le recouvrement quaternaire.

Les nappes de socles sont alimentées par l'infiltration directe des eaux de pluie et les écoulements de koris. Elles sont caractérisées par des débits de production faibles et une qualité de l'eau très variable. Leur faible productivité limite leur utilisation qu'à des fins d'hydraulique villageoise.

III.3.2 Les aquifères de bassins sédimentaires

A. Les aquifères paléozoïques

Ces nappes situées dans l'ouest de l'Air comprennent plusieurs aquifères :

- les aquifères du grès d'Idekel et de Touaret du dévonien inférieur du Nord d'Arlit ;
- les aquifères de la série gréseuse du Cambro-Ordonvisien du Nord d'Arlit ;
- les aquifères des grès d'Amesgueur et de Farazekat du Dévonien Supérieur dans la région Nord-Ouest entre l'Ouest d'In Azaoua et l'Est d'Arlit ;
- les aquifères de la série Argilo-gréseuse de Tagora du Namurien Inférieur, d'Assamaka à Tchirozérine. Ils sont constitués par les nappes du grès de Guezouman et les nappes du grès de Tarat) ;
- l'aquifère de la série de grès d'Agadez, situé entre Arlit, la falaise de Tiguidit, la ville d'Agadez et le méridien 6°30". Il s'agit d'une nappe quasi fossile et profonde, pouvant atteindre 80 m, qui devient libre entre Agadez et Arlit. Cet aquifère fournit actuellement la majeure partie de l'eau potable des villes d'Agadez et d'Arlit ainsi que de nombreux sites miniers de la zone.

Chaque aquifère est constitué de plusieurs niveaux productifs superposés et interconnectés entre-eux.

En raison des faibles précipitations dans la zone, la recharge des aquifères du Paléozoïque est très faible voire négligeable, et peuvent donc être considérés comme non renouvelables.

A. Les aquifères du Continental Terminal

Le Continental Terminal et le Continental Intercalaire/Hamadien constituent les principaux aquifères du grand bassin des lullemeden.

Le Continental Terminal (CT) est limité à l'Ouest par le fleuve Niger et à l'Est par l'Ader Doutchi-Maggia, s'étendant ainsi sur tout le Sud-ouest du pays, intéressant les régions de Tahoua, Dosso et Tillabéri. C'est un système aquifère qui renferme deux (2) nappes en charges (dites nappe inférieure et nappe moyenne) et surtout une nappe phréatique couvrant plus de 102.000 km². Dans les dallols, la nappe phréatique est confondue avec les nappes alluviales. Les nappes inférieures et moyennes sont essentiellement rechargées à travers la nappe phréatique. Cette dernière est elle-même alimentée par infiltration directe des eaux de pluie et surtout des ruissellements dans les zones endoréiques favorables à l'accumulation des eaux dans les mares, où elle subit des fluctuations saisonnières et interannuelles importantes. La nappe phréatique du CT, est donc vulnérable à la variation des précipitations et du ruissellement ainsi qu'à la pollution d'origine anthropique. Elle renferme une eau de très bonne qualité (salinité < 200 mg/l) pour tous les usages et est facilement accessible par les puits et les forages peu profonds. En revanche, les nappes inférieure et moyenne ont des eaux de qualité variable (salinité > 400 mg/l) et ne sont exploitables que par l'intermédiaire de forages plus profonds.

L'aquifère du CT joue un rôle capital en matière de ressource en eau au Niger. Une grande partie des populations y est directement dépendante pour son alimentation en eau potable, son important effectif de bétail, et pour la petite irrigation dans les zones des dallols. L'importance socio-économique de cet aquifère ainsi que la disponibilité des données justifient sa modélisation en vue de simuler les impacts des changements climatiques sur les ressources en eau souterraine.

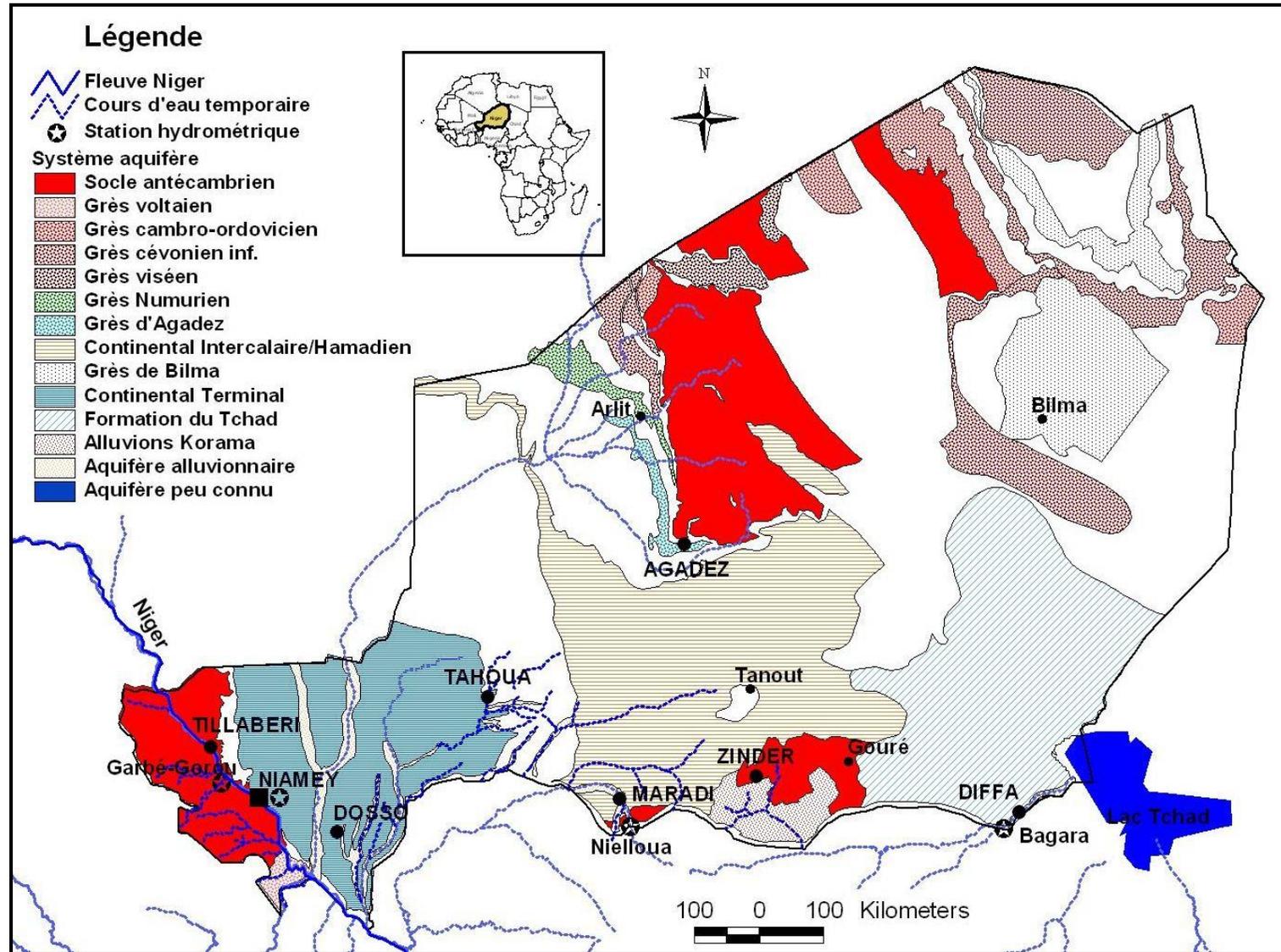


Figure 4 : Carte schématique des systèmes aquifères et du réseau hydrographique

(Elaborée d'après Greigert & Pougnet, 1965).

B. Les aquifères du Continental Intercalaire/Hamadien

Ce système aquifère composé de plusieurs nappes superposées est situé entre la zone du socle du Liptako et la frontière malienne à l'Ouest, la falaise de Tiguidit au Nord, le bassin du Lac Tchad à l'Est et le socle cristallin du Benin-Nigéria et le fleuve Niger au Sud. C'est une nappe libre dans sa partie Est (région de Maradi) où il est accessible même à l'aide de puits de surface, et captif dans la partie ouest (région de Tahoua et Dosso). Les débits sont généralement importants, surtout dans la partie captive. Toutefois, les profondeurs d'accès parfois importantes limitent son exploitation dans les reliefs élevés de la région de Tahoua (Est de l'Ader Doutchi). La qualité de l'eau est très variable. Elle est excellente dans la partie à nappe libre, mais devient légèrement plus saline avec des températures élevées dans la partie captive vers les régions de Dosso, Agadez, et Zinder. L'alimentation de l'aquifère par la pluie et le ruissellement est très faible mais les réserves sont très importantes sans contraintes qualitatives sur leur exploitation. L'aquifère du Continental Intercalaire/Hamadien est capté notamment pour l'alimentation en eau potable des centres urbains du Sud du pays (Tahoua, Dosso, Maradi).

C. Les aquifères du Pliocène du Manga

Avec les aquifères quaternaires du Manga et des Koramas, l'aquifère pliocène appartient au bassin du Lac Tchad.

Le Pliocène du Manga est limité à l'Ouest par le massif cristallin du Mounio, au Nord-Ouest par le massif de Termit et au Nord par le massif d'Agadem. Il se prolonge au Sud et à l'Est sans discontinuité vers le Nigeria et le Tchad. Cet aquifère qui occupe une bonne partie de la région de Diffa, est artésien sur une grande partie de sa surface, avec une qualité d'eau moyenne à médiocre. Malgré ses réserves importantes, la recharge et le renouvellement de ces eaux s'avèrent faibles et l'aquifère est considéré comme fossile. Les prélèvements d'eau dans cet aquifère sont essentiellement destinés aux besoins de l'agro-pastoralisme dans la région de Diffa.

D. Les aquifères du quaternaires étendus du Manga et des Koramas

L'aquifère quaternaire du Manga se rencontre sur toute la région de Diffa et la bordure Sud-Est de la région de Zinder, sur une étendue de 150.000 km². C'est une nappe phréatique peu profonde donc accessible par les puits et aux forages. L'alimentation par les eaux de pluies est faible à cause notamment de la faible perméabilité des formations. Toutefois, la recharge par infiltration peut être importante dans le lit de la Komadougou et dans les cuvettes oasiennes de Maïné, où la nappe subit des fluctuations importantes. La qualité de l'eau est moyenne à faible (100 à 300 mg/l), sauf dans les cuvettes et les bordures du lac Tchad où la salinité est très forte. L'aquifère quaternaire du Manga constitue la ressource en eau la plus sollicitée dans cette partie est du pays.

La nappe des Koramas occupe la portion sud de la région de Zinder. Il s'agit d'une nappe phréatique peu profonde (moins de 20 m) avec des réserves importantes et une bonne qualité d'eau (salinité moyenne de 100 mg/l). La nappe des Koramas est alimentée par l'infiltration des eaux de nombreux Koris et mares qui la traversent. Elle est donc fortement tributaire de la pluviométrie dont elle est sensible à toute variation.

E. Les aquifères alluviaux des Goulbi

Il s'agit des aquifères alluviaux des Goulbi de Maradi, Goulbi N'Kaba, des dallols Bosso, Maouri, Foga et de la vallée de l'Ader-Doutchi-Magia. Leur extension latérale limitée correspond généralement à l'extension de lits majeurs des cours d'eau (Goulbi et Kori) qui les rechargent au gré des crues ou des mares endoréiques. Ces nappes sont souvent associées aux nappes phréatiques sous-jacentes plus étendues et avec lesquelles elles constituent un même aquifère.

Les ressources en eau souterraine sont globalement estimées à plus de 2 000 milliards de m³ (MHE/LCD, 1999), constituées essentiellement de ressources non renouvelables (fossiles). Ces réserves sont exploitées presque exclusivement pour les besoins du secteur minier dans le nord.

Les ressources renouvelables qui ne représentent que 2,5 milliards de m³ focalisent le peu des prélèvements effectués (20% de leur volume) en raison de leur accessibilité facile et de leur bonne qualité.

IV. LES DONNEES SUR LES RESSOURCES EN EAU

IV.1 Les données disponibles

Les données disponibles sur les ressources en eau sont surtout constituées par celles collectées au fil des années par :

- La Direction de la Météorologie Nationale (DMN) relevant du Ministère des Transports, qui a en charge les observations climatologiques dont celles relatives aux précipitations.
- La Direction des Ressources en Eau (DRE) du Ministère en charge de l'hydraulique, qui assure les observations hydrologiques et hydrogéologiques ;

D'autres institutions de recherche telles que l'IRD et l'AGRHYMET collectent aussi des données hydrologiques dans le cadre de projets de recherche.

IV.1.1 Les données climatologiques

Les données disponibles à la DMN ont été acquises dans le cadre des différents projets d'élaborations des Communications nationales sur les Changements Climatiques, mis en œuvre par le Secrétariat Exécutif du Conseil National de l'Environnement pour un Développement Durable (SE/CNEDD).

Ces données sont relatives à neuf (9) stations météorologiques dites "synoptiques" à savoir Agadez, Birni Konni, Gaya, Mainé Soroa, Maradi, Niamey, Tahoua, Tillabéri et Zinder.

La période couverte par ces données va de 1961 à 2010, avec toutefois quelques lacunes ponctuelles dont l'importance varie selon les stations. Ce sont les données de :

- pluviométrie journalière (mm/j) ;
- températures minimales et maximales journalières (°C) ;
- évaporation (mm) ;
- vitesses moyennes du vent (m/s) ;
- durée de l'insolation (heure décimale) ;
- humidité minimale et maximale journalière (%).

IV.1.2 Les données hydrologiques

Il s'agit surtout de données sur les débits des cours. Les observations sur les niveaux de plans d'eau dans les mares naturelles et les barrages sont pratiquement inexistantes.

Les tailles de séries hydrométriques disponibles varient selon les stations et les cours d'eau. Les plus anciennes remontent à 1924 pour la station de Tillabéri sur le fleuve Niger.

Sur le réseau hydrométrique de base, les données hydrologiques sont généralement de très bonne qualité jusqu'à la fin des années 1990s. Une grande partie de ces informations ont été collectées par l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD, ex-ORSTOM). Les données hydrométriques les plus fiables sont celles provenant de sept (07) stations qui étaient équipées de Plateformes de Collecte de Données (PCD) et qui sont gérées collectivement par la DRE et l'ABN. Il s'agit de trois (3) stations sur le cours principal du fleuve Niger (Kandadji, Niamey et Double Vé - W) et de quatre (4) sur ses affluents rive droite à savoir Alcongou (le Gorouol), Kakassi (le Dargol), Garbé-Kourou (la Sirba) et

Campement du W (la Tapoa). Dans le reste du réseau, les stations de Dolbel (Gorouol), Bagara (Komadougou), Siconiger et Nielloua (Goulbi de Maradi) sont également de bonne qualité. Sur les autres stations du réseau hydrométrique national, les séries de données sont incertaines ou entachées de lacunes.

La plupart des stations hydrométriques sont hors-service depuis plusieurs années, ou abandonnées en raisons notamment de (i) l'insuffisance des moyens alloués par l'Etat à la collecte des données, (ii) de la vétusté des équipements (stations et brigades), (iii) du départ de partenaires traditionnels (OMM, IRD ex-ORSTOM, etc.) et (iv) de l'insuffisance du personnel à tous les niveaux.

Dans le cadre de la présente étude, l'analyse des tendances récentes des écoulements est basée sur les stations disposant de séries de données de qualité et significativement longues, sur des cours d'eau d'importance majeure. Les cours d'eau et stations suivants ont ainsi été retenus :

- le Fleuve Niger à Niamey ;
- la Sirba à la station de Garbé-Kourou ;
- la Komadougou à la station de Bagara ;
- le Goulbi Maradi à Nielloua.

IV.1.3 Les données piézométriques

Les plus anciennes données sur les niveaux de nappes souterraines remontent surtout aux travaux de Greigert (1957, 1968) qui fournissent les séries des années 1950-60. Les mesures de la fin des années 1960s et des années 1970-80 sont liées au fonçage ou à l'entretien des puits par l'ex-Office des Eaux du Sous-sol (OFEDS). Par la suite, les suivis réalisés par les Directions Régionales de l'Hydraulique (DRH) avec l'appui de certains partenaires (i.e. Coopération Suisse) complètent la chronique des données anciennes jusqu'en 1996.

A partir de 2000, les données piézométriques sont disparates, la majeure partie du réseau est abandonnée ou irrégulièrement suivie pour les mêmes raisons citées plus haut.

De façon générale, les données piézométriques sont éparées et disséminées. Certaines sont à l'état d'archives papiers dans les DRH ou dans les rapports anciens. Les séries auxquelles nous avons pu accéder sont :

- les séries piézométriques actuelles du suivi assuré par la DRE et les DRH ;
- les données de suivi effectué dans le cadre du Programme Hydraulique Niger-Suisse (PHNS) jusqu'en 1996 ;
- les données piézométriques et de qualité de la nappe phréatique sur le site AMMA-CATCH fournies par l'IRD.

IV.2 Les données requises pour l'évaluation V&A

Selon la méthodologie adoptée, les données requises pour l'analyse de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques sont constituées par :

- Les données climatologiques notamment :
 - la pluviométrie ;
 - la température ;

- l'évaporation (Ev) et l'évapotranspiration (ETP) ;
- l'humidité ... etc ;
- Les données hydrométriques :
 - les débits des cours d'eau ;
 - les hauteurs limnimétriques des plans d'eau naturels et artificiels, etc. ;
- Les données sur les ressources en eau souterraine :
 - le niveau piézométrique (piézométrie) ;
 - les données de la qualité physico-chimique de l'eau (ions majeurs, traces, pH, conductivité, ...etc.).

V. LES IMPACTS ACTUELS DES CHANGEMENTS ET VARIABILITES CLIMATIQUES

Le secteur des ressources en eau est caractérisé par une grande diversité des unités hydrologiques et de systèmes aquifères qui rend difficile toute analyse globale. L'évaluation V&A doit donc reposer sur des unités d'exposition (systèmes de ressources en eau) choisies selon :

- la sensibilité aux stimuli climatiques, notamment les variations de précipitations et/ou de températures ;
- la disponibilité de longues séries de données observées ;
- l'importance socio-économique du système.

Des unités d'exposition peuvent être choisies pour chaque type de ressources en eau (eau de surface ou eau souterraine). Mais l'interdépendance entre les types de ressources au sein d'un bassin hydrologique permet, lorsque toutes les données sont disponibles, d'identifier des unités d'exposition permettant d'évaluer simultanément la vulnérabilité des ressources en eau de surface et souterraine. Toutefois, en dehors de quelques systèmes hydrologiques associés au réseau hydrographique (nappes alluviales), la faiblesse des précipitations et des écoulements de surface sur la majeure partie du territoire national milite en faveur des unités d'exposition dites hydrogéologiques : les aquifères. De plus, les ressources en eau souterraine associées constituent l'essentiel des ressources « nationales », les eaux de surface étant fortement dépendantes des portions de bassins partagés avec les pays limitrophes.

V.1 Les unités d'exposition retenues

La vulnérabilité des ressources en eau souterraine dépend de la nature hydrogéologique du système aquifère. Les aquifères des socles cristallins (Liptako, Damagaram, Mounio, Sud Maradi, l'Air et Ténéré de Tafassasset) essentiellement alimentés par le ruissellement des eaux de pluie devraient être particulièrement vulnérables aux changements climatiques. Mais malgré l'importance qu'ils représentent notamment pour l'hydraulique villageoise, ces entités d'exposition ne peuvent être analysées dans le cadre de cette étude en raison de l'absence notoire de données piézométriques. Il en est de même pour les aquifères sédimentaires du Paléozoïque de l'Air qui sont quasi-fossiles car peu ou presque pas alimentés par les eaux de pluies déjà très faible dans cette région.

Pour les autres aquifères, trois (03) grands ensembles hydrogéologiques peuvent être identifiés :

- les aquifères du bassin des lullemeden (Continental Intercalaire/Hamadien et Continental Terminal) ;
- les aquifères du bassin de lac Tchad (l'aquifère pliocène et les aquifères quaternaires du Manga et des Koramas) ;
- les aquifères alluviaux (Goulbi de Maradi, dallols Bosso, Maouri, et l'Ader-Doutchi-Magia).

De tous les niveaux aquifères correspondants, la nappe du Continental Terminal du bassin des lullemeden reste celle pour laquelle les données hydrologiques sont les plus disponibles. Elle est en outre la plus largement exploitée par les populations et son aire d'alimentation étendue l'expose aux aléas climatiques.

V.2 L'approche utilisée pour l'évaluation de la vulnérabilité actuelle

L'évaluation de la vulnérabilité actuelle des ressources en eau est basée sur le jugement d'expert. Elle consiste en l'analyse des données hydrologiques et hydrogéologiques disponibles, afin de dégager une appréciation globale sur chaque unité et entité d'exposition aux stimuli climatiques.

La méthodologie est donc basée sur la connaissance des systèmes de ressources en eau et sur les données disponibles, bien que parcellaires et ne couvrant pas les années récentes en raison de la rareté de suivis hydrologiques.

V.3 Impacts sur les précipitations

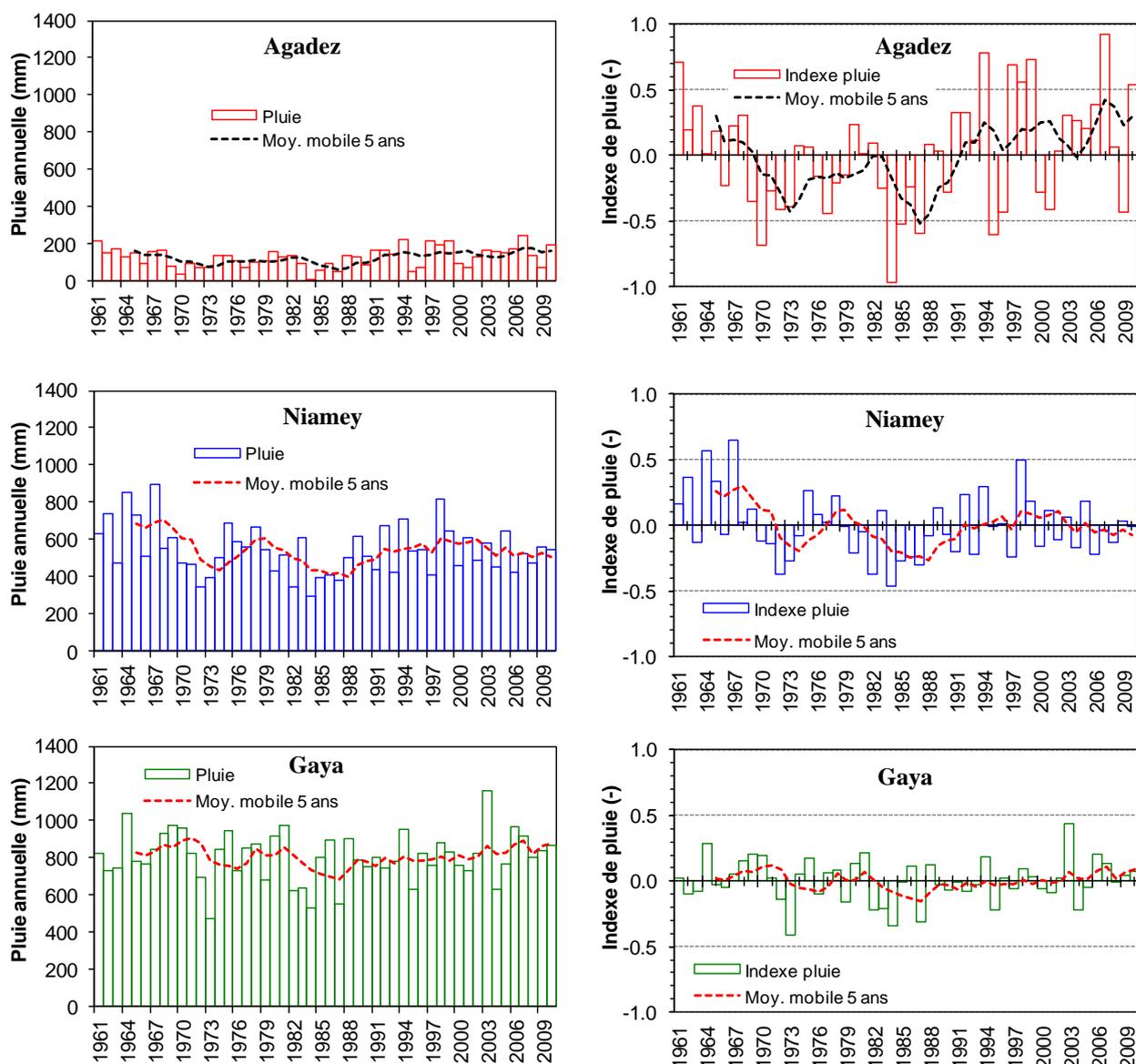
Les précipitations sont caractérisées par une grande variabilité dans l'espace et dans le temps. Elles connaissent ces dernières décennies, des perturbations chroniques de grandes ampleurs. L'analyse de l'évolution de l'indice pluviométrique¹ standardisé annuel (Nicholson et al., 1988 ; Servat, 1994) au niveau de neuf (09) stations synoptiques sur la période 1961-2010 a été réalisée. La figure 5 montre l'évolution des pluies et des anomalies pluviométriques au niveau des stations d'Agadez, Niamey et Gaya. Du Nord vers le Sud, ces stations sont représentatives respectivement des zones hydroclimatiques saharienne, sahélienne et sahélo-soudanienne. L'analyse de l'évolution des précipitations sur la période considérée montre :

- une baisse importante de la pluviométrie depuis 1970 et qui s'est prolongée jusqu'au début des années 1990s, avec une longue période déficitaire entre 1980 et 1990. Le déficit pluviométrique correspondant est en moyenne de l'ordre de 20%, mais peut dépasser 30% dans l'ouest et le centre. Les stations de Tahoua, Niamey et Tillabéry sont celles qui connaissent les plus forts déficits. Les recherches menées sur toute l'Afrique de l'ouest montrent que la baisse de la pluviométrie résulte essentiellement de la diminution du nombre d'événements pluvieux (Servat et al., 1998). Mais les causes de cette diminution restent encore à éclaircir ;
- une nette tendance au glissement des isohyètes vers le Sud pouvant atteindre 150 km, conséquemment à la baisse ci-dessus évoquée ;
- une légère tendance humide amorcée à partir de 1990 dans les zones saharienne et sahélienne, mais qui est régulièrement interrompue par 1 à 2 années sèches. La zone sahélo-soudanienne en revanche montre globalement une tendance à la stabilisation sur la même période ;
- une variabilité des précipitations de moins en moins forte vers le Sud. Elle est en effet plus importante à la station d'Agadez, alors qu'à Gaya, l'indice pluviométrique reste faible et même constant surtout au cours des 20 dernières années ;
- une tendance à la hausse des températures au niveau de toutes les stations, en relation avec des hausses des moyennes des températures minimales et maximales. Toutefois, cette hausse est relativement modérée pour les stations de Niamey et de Tahoua (CNEDD, 2011) ;
- une relative stabilité dans les valeurs moyennes de l'humidité.

Les conséquences socio-économiques sous-jacentes de la baisse et de la variabilité des précipitations sont la chute de la production Agricole, ou l'accélération du processus de désertification et la baisse de revenu des populations surtout en milieu rural.

La variabilité des précipitations et la dégradation de l'environnement dans les unités hydrologiques influencent les autres ressources en eau à travers les écoulements et la recharge des nappes souterraines.

¹ L'Indice Pluviométrique Standardisé (IPS) est calculé en une station donnée et pour une année « i » à l'aide de la formule : $IPS_i = (P_i - \bar{P}) / \sigma$; où P_i est la pluie de l'année « i » ; \bar{P} la pluie moyenne interannuelle sur la période considérée (1961-2010) et σ l'écart type de la pluviométrie annuelle sur la même période .



(Source de données DMN)

Figure 5 : Pluies et anomalies pluviométriques aux stations d'Agadez, Niamey et Gaya.

V.4 Impacts sur les eaux de surface

Les conséquences sur les écoulements, des tendances observées de la pluviométrie depuis cinquante ans sont mises en exergue par les séries de débits mesurés au niveau des principales stations hydrométriques. Les figures 6 à 8 montrent l'évolution des anomalies d'écoulements des principaux cours d'eau. L'analyse de ces chroniques montre :

- une augmentation des écoulements dans les petits bassins endoréiques de l'unité hydrologique des affluents de la rive gauche du fleuve (dallols Bosso, Maouri, Foga, koris Ouallam, Dantchandou, Boubon, etc). Cet accroissement de ressources en eau dans les bas-fonds se traduit par l'augmentation du nombre et des volumes de mares de dépressions (Fig. 9), ainsi que par des changements de régimes (de semi-permanent à permanent) de certaines (Massuel, 2005).
- une baisse généralisée des écoulements du fleuve Niger (Fig. 6) et de Komadougou (Fig. 7),

souvent bien plus importante que celle des précipitations. Pour le fleuve Niger (Fig. 6), la baisse des écoulements à la station de Niamey varie de 40 à 60% depuis le début des années 1970s, contre 20 à 30% pour la pluviométrie. La baisse des écoulements est moins importante dans les bassins versants des affluents de la rive droite (i.e. Fig. 8). En effet l'analyse de l'hydrogramme du fleuve à Niamey montre au contraire une augmentation des écoulements de ces affluents situés à l'amont, attestée par l'ampleur de la crue dite "locale" qui en est un indicateur. Celle-ci prend de plus en plus d'ampleur ces dernières décennies et dépasse parfois la "crue guinéenne" en termes de débit de pointe ;

- une variation importante des débits moyens annuels, synchronique à celle de la pluviométrie à partir de 1970 pour le fleuve Niger et la Komadougou ;
- une intensification de l'érosion et une augmentation de la densité de drainage dans le bassin du fleuve (région de Tillabéri) depuis les années 1970s (Fig. 9), en réponse surtout à la diminution du couvert végétal sous l'effet du déboisement (Ibrahim, 2010) et témoignant de la sensibilité des sols à l'érosion hydrique (Chinen, 1999 ; Leblanc et al. 2008).

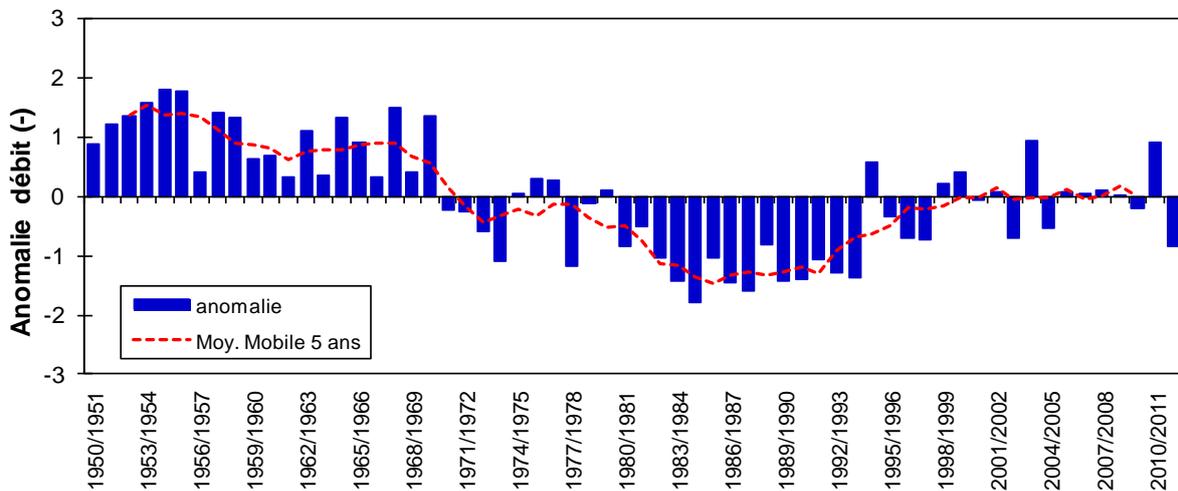


Figure 6 : Anomalies de débits du fleuve Niger à Niamey

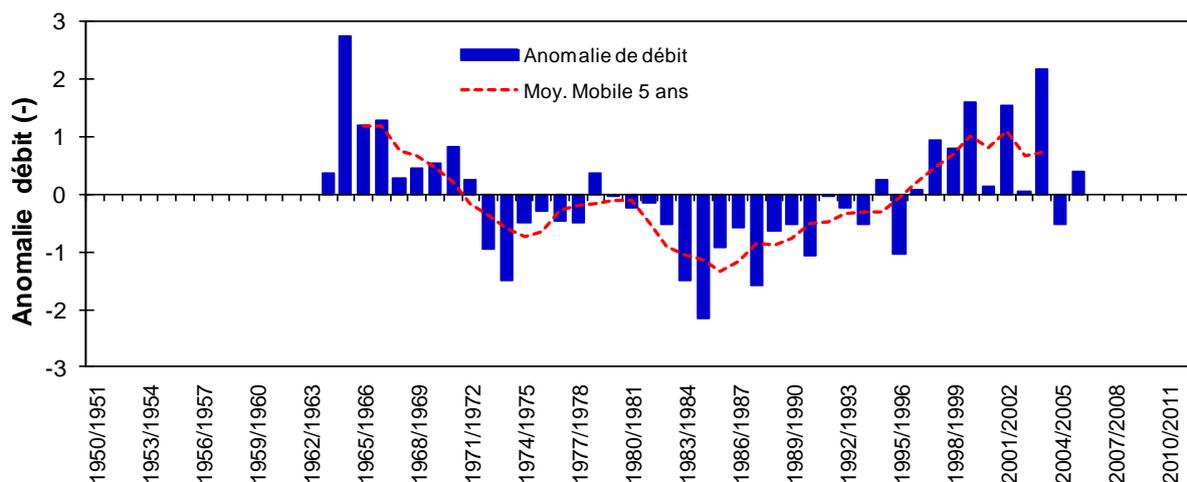


Figure 7 : Anomalies de débits de la Komadougou à Bagara

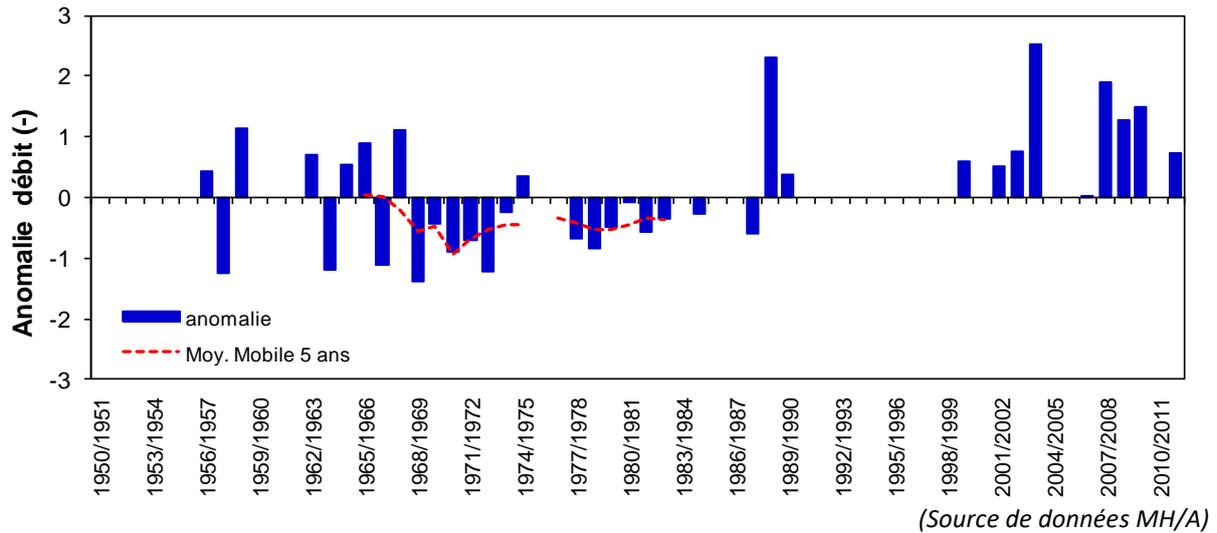
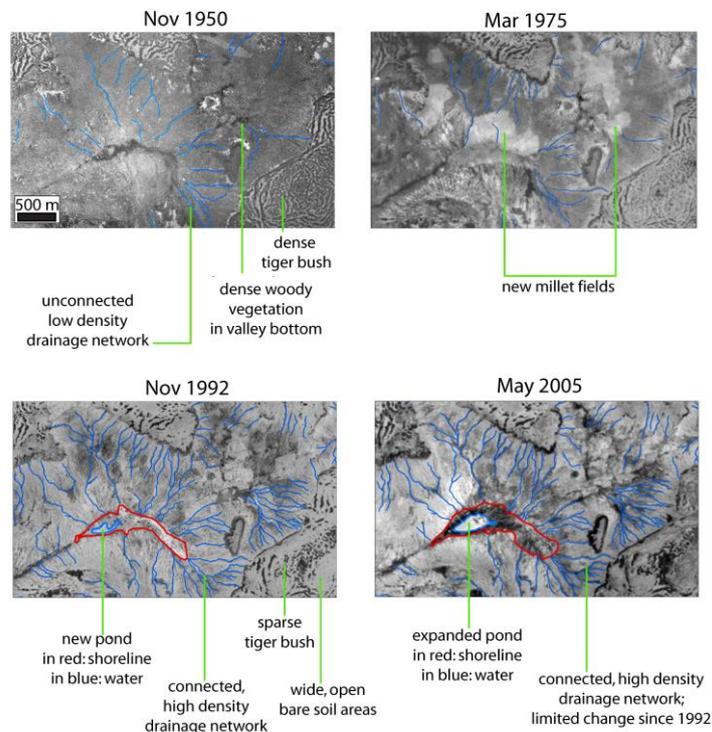


Figure 8 : Anomalies de débits de la Sirba à Garbé-Kourou



(D'après Favreau et al., 2009).

Figure 9 : Evolution du réseau de drainage (en bleu) et de l'augmentation de la superficie d'une mare à ~40 km à l'E-SE de Ouallam.

En outre, l'analyse de l'hydrogramme du fleuve Niger à Niamey (CNEDD, 2011) montre également que :

- le débit de pointe de la crue guinéenne arrive de plus en plus tôt, de février/mars dans les années 1950s, à décembre/janvier ces dernières décennies ;
- le tarissement est également de plus en plus rapide, le débit minimal survenant jadis en juin/juillet, est enregistré dès le mois de mai durant la dernière décennie.

Une tendance similaire est observée sur les dates de début et de fin des écoulements de la Sirba à Garbé-Kourou, avec :

- des écoulements qui surviennent de plus en plus tôt, de mai/juin à la fin des années 1950s, à juin/juillet depuis le début des années 2000 ;
- un tarissement qui intervient également de plus en plus tôt, de décembre/janvier à la fin des années 1950s, à novembre/décembre au début des années 2000.

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

V.5 Impacts sur les eaux souterraines

Les changements et variabilité climatiques ont des impacts sur les ressources en eau souterraine à travers leurs influences sur les précipitations et les écoulements qui permettent la recharge des nappes. Les impacts peuvent être quantitatifs et/ou qualitatifs :

- les impacts quantitatifs concernent la variation de réserves des aquifères. L'indicateur de cette variation est le niveau piézométrique de la nappe (ou la profondeur de la nappe, plus généralement mesurée) dont la baisse suggère une diminution de la disponibilité de la ressource ;
- les impacts qualitatifs sont relatifs à la variation de la qualité des eaux souterraines en lien avec la modification de leur minéralisation. L'indicateur couramment utilisé est la conductivité électrique de l'eau ou la salinité, qui augmentent avec le taux de minéralisation. En dépit de nombreuses analyses physico-chimiques effectuées sur les ouvrages, les données sur la qualité des eaux souterraines sont disséminées et à l'état d'archives notamment dans les laboratoires d'analyses (i.e. Laboratoire d'Analyses des Eaux de la Faculté des Sciences et Techniques de l'UAM).

La vulnérabilité des ressources en eau souterraine face aux changements climatiques dépend des caractéristiques hydrogéologiques de chaque nappe, notamment le mode et les conditions de sa recharge : les aquifères renouvelables (nappes phréatiques, nappes alluviales) qui dépendent de l'infiltration des eaux de pluie sont très sensibles aux aléas climatiques, alors que les aquifères fossiles, à faible taux de renouvellement, sont très peu vulnérables.

V.5.1 Les aquifères du bassin des Iullemeden

Les nappes du Continental Intercalaire/Hamadien sont des nappes faiblement alimentées par l'infiltration des eaux de pluie même dans la partie à nappe libre du Continental Hamadien (région de Maradi). Le renouvellement de ces eaux est donc faible et le caractère fossile de la ressource limite sa vulnérabilité.

Peu de données piézométriques sont disponibles sur ces aquifères. Les quelques chroniques accessibles sur la nappe du Hamadien (Fig. 10) montre un niveau piézométrique relativement stable sur la période 1991-1998.

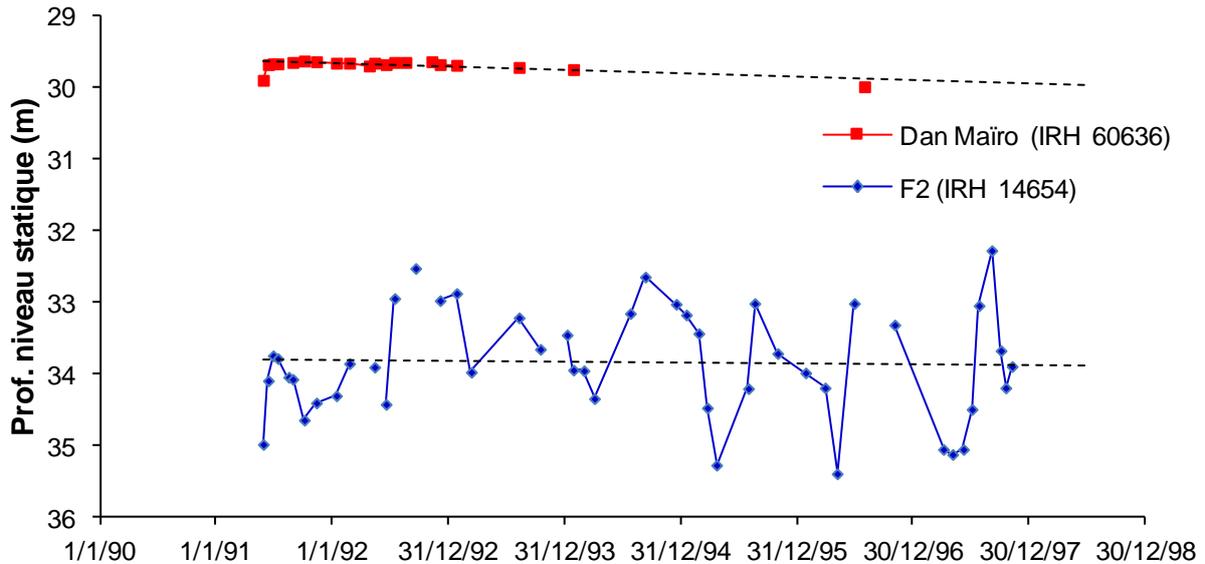


Figure 10 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe du Continental Hamadien dans la Région de Maradi

La nappe phréatique du CT3 est essentiellement alimentée par l'infiltration des eaux de crues des koris et des ravines. Dans les zones endoréiques du Sud-ouest du pays favorables à l'accumulation des eaux de ruissellements dans les mares qui occupent souvent les lits des koris fossiles (Dantiandou, les dallols), la vidange rapide de ces mares est le mécanisme de recharge le plus prépondérant. Dans ces bas-fonds, la nappe phréatique subit en effet des fluctuations saisonnières et interannuelles importantes. Cette forte dépendance de la ressource aux écoulements fait de la nappe phréatique du CT3 une ressource particulièrement vulnérable aux stimuli climatiques. Les observations piézométriques (Fig. 11) et les études réalisées dans le site EPSAT à l'Ouest de Niamey (Favreau, 2001) montrent une tendance à la remontée de la nappe depuis plusieurs décennies, en relation avec l'augmentation de la recharge d'au moins un facteur de 10. La figure 11 montre les évolutions piézométriques de l'aquifère du CT3 au puits de Boggol, Téko Baba et Banizoumbou (école). De façon générale, les niveaux piézométriques de la nappe phréatique du CT3 se sont élevés de 3,5 m en moyenne sur la période 1963-1999 (Favreau et Leduc, 1998). Cette hausse représente une augmentation moyenne des ressources en eau de la nappe de 10% par rapport aux réserves initiales du début des années 1960s. Les variations de la pluviométrie jouent un rôle à court terme sur les fluctuations interannuelles de la nappe, mais la poursuite de la hausse piézométrique pendant les sécheresses des années 1970s et 1980s montre que la variabilité climatique n'est pas à l'origine de cet accroissement des réserves. En effet, les données de la télédétection et les enquêtes de terrain suggèrent que le déboisement et l'augmentation des surfaces cultivées sont les principaux facteurs de la remontée de la nappe du CT3 (Favreau et Leduc, 1998 ; Favreau et al., 2009). La hausse récente, en moyenne de 0,20 m/an sur la décennie 90, montre une accélération de la tendance à long terme. Toutefois, dans les zones de recharge, la remontée de la nappe phréatique s'accompagne généralement d'une hausse de la minéralisation essentiellement due aux nitrates. Ces derniers proviennent du lessivage des sols déboisés.

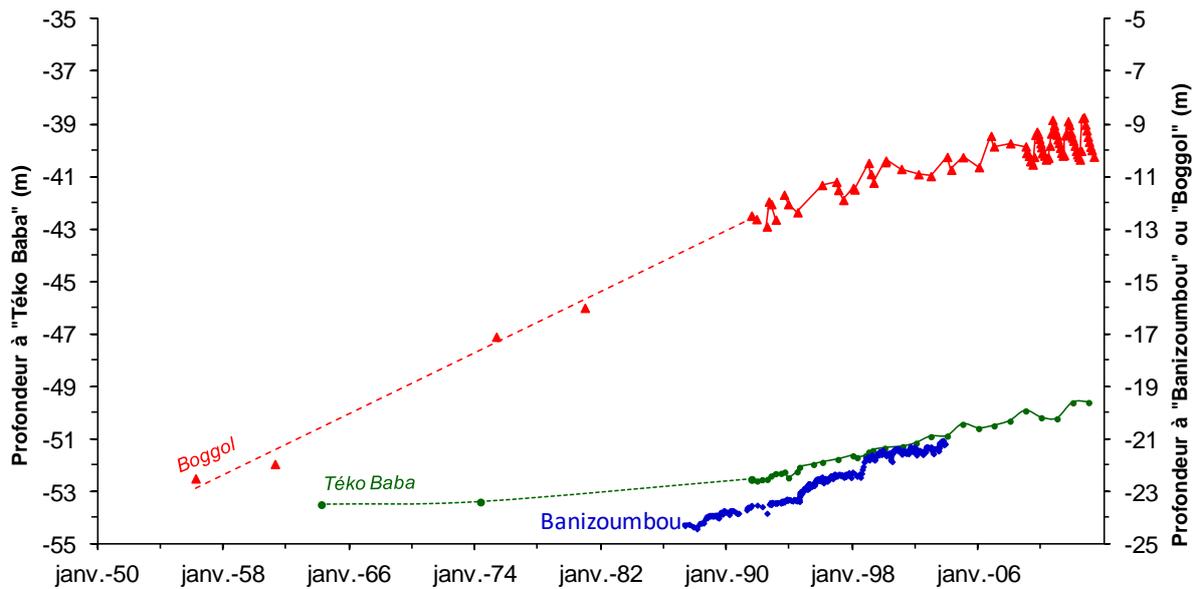


Figure 11 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe du CT3 au Sud-ouest

Les nappes inférieure (CT1) et moyenne (CT2) du Continental Terminal sont rechargées à travers la nappe phréatique du CT3. Leur vulnérabilité aux stimuli climatiques dépend donc de celle de la nappe phréatique. En outre, nous ne disposons que de très peu de données piézométriques sur ces aquifères.

V.5.2 Les aquifères du bassin du Lac Tchad

La nappe du pliocène du Manga est potentiellement peu vulnérable aux changements et à la variabilité climatiques, en raison de son caractère fossile en lien avec sa recharge considérée très faible. De plus, les prélèvements à des fins de agro-pastoralisme restent encore relativement faibles au regard des réserves disponibles.

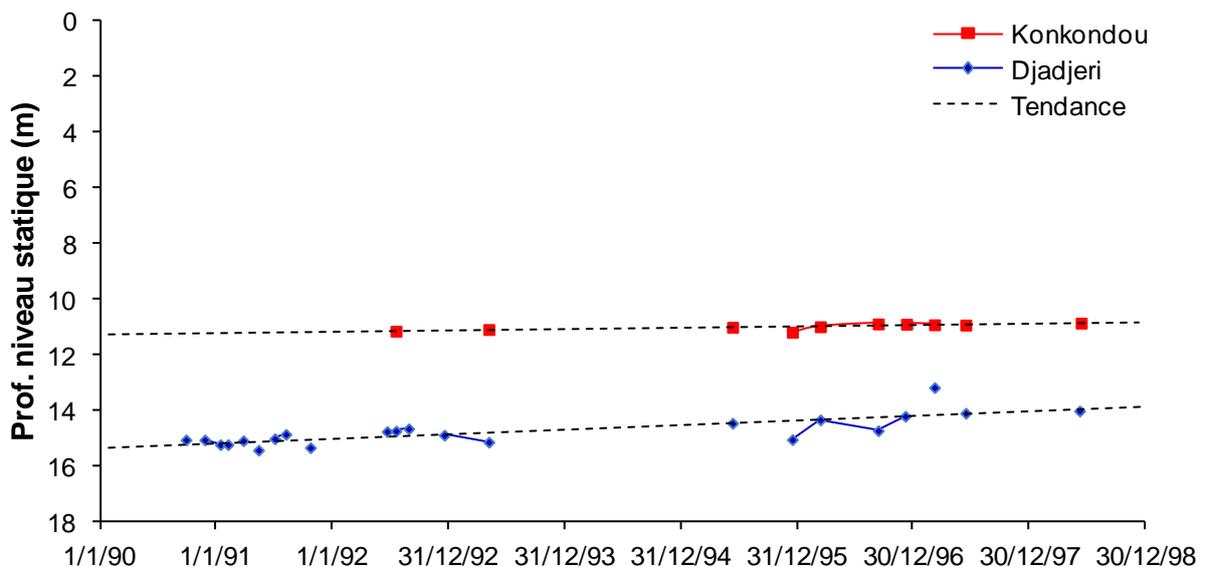


Figure 12 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe quaternaire du Manga

L'aquifère quaternaire très étendu du Manga, alimenté par l'infiltration dans le lit de la Komadougou, des mares et dans les cuvettes oasiennes, subit des fluctuations saisonnières et interannuelles bien

marquées qui témoignent de sa vulnérabilité aux stimuli climatiques. Toutefois, l'absence de séries de données piézométriques de longues durées ne permet pas de dégager clairement l'évolution des ressources. Les quelques données disponibles montrent une tendance variable, avec globalement une montée de la nappe (Fig. 12).

Dans la dépression du Kadzel, les observations piézométriques (Fig. 13) montrent une légère tendance à la baisse de la nappe entre 1990 et 1998, liée surtout aux conditions anthropiques locales (déboisement). Là également, le nombre limité des points d'observations et le manque de données ne permettent pas de généraliser cette tendance.

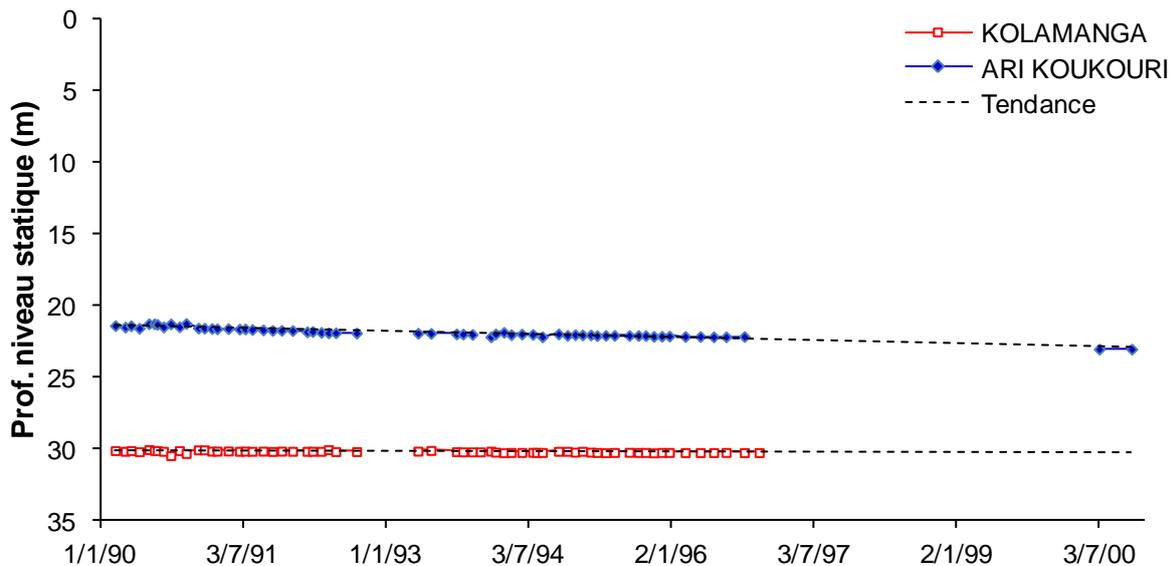


Figure 13 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe du quaternaire du Manga au niveau du Kadzel

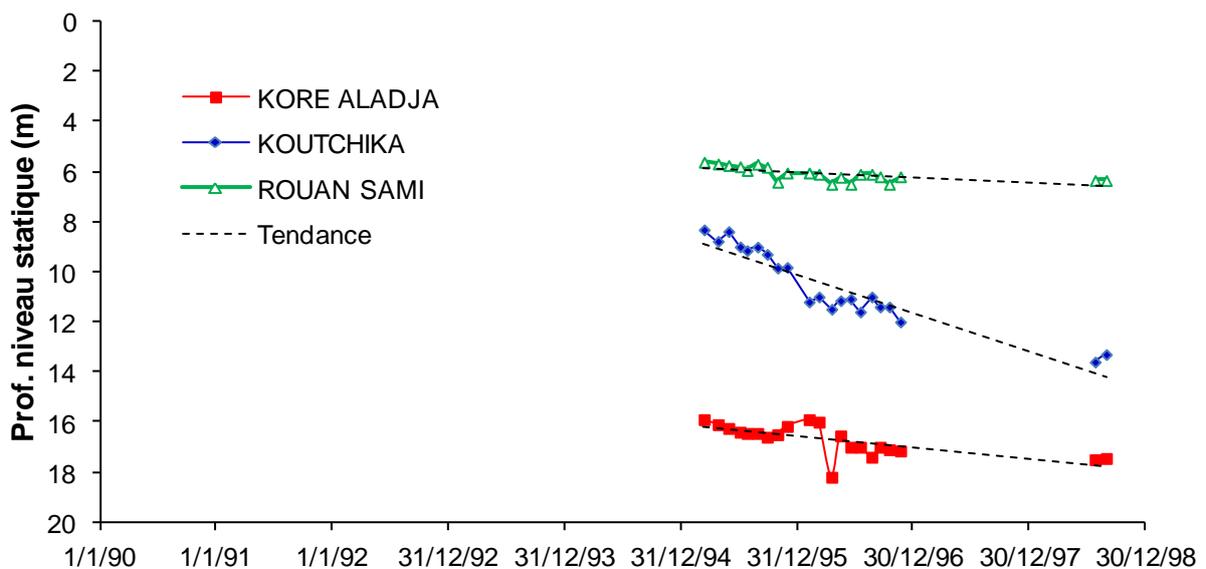


Figure 14 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe du quaternaire des Koramas

La nappe quaternaire des Korama est alimentée par les eaux des koris et des nombreuses mares qui

lui sont associées. Elle est de ce fait vulnérable aux stimuli climatiques à travers les écoulements de surface. Les observations piézométriques (Fig. 14) montrent une tendance à la baisse du niveau de la nappe et donc de ses réserves. La baisse observée entre 1995 et 1998 varie entre 0,16 et 1,9 m, avec une moyenne de 0,61 m.

V.5.3 Les aquifères alluviaux

Les aquifères alluviaux dépendent des écoulements de cours d'eau et sont donc très vulnérables aux changements et à la variabilité climatiques. Cette ressource facile d'accès à cause de sa faible profondeur fait souvent l'objet de prélèvements importants à des fins d'irrigation et d'eau potable. A cela il faut ajouter la sensibilité des écoulements aux actions anthropiques modifiant l'état et les conditions de surface dans les bassins versants.

L'évolution des niveaux piézométriques des nappes alluviales durant la dernière décennie permet de distinguer deux (2) groupes de tendances :

- Les nappes alluviales des dallols Maouri et Bosso qui présentent une tendance généralisée à la remontée. Cette hausse est en accord avec la remontée de la nappe phréatique du CT3 avec laquelle elles sont associées indistinctement. Dans le dallol Maouri (Fig. 15), la hausse de la nappe entre 1991 et 1998 varie entre 0,13 et 1,31 m, avec une moyenne de 0,45 m, soit 6 cm/an. Dans le dallol Bosso (Fig. 16), la hausse est légèrement plus importante et atteint en moyenne 0,58 m sur la même période.
- Les nappes alluviales des koris encore plus ou moins actifs, telles que la nappe du Goulbi de Maradi et celle de la Komadougou Yobé et de la vallée du Téloua montrent d'importantes fluctuations saisonnières et interannuelles :

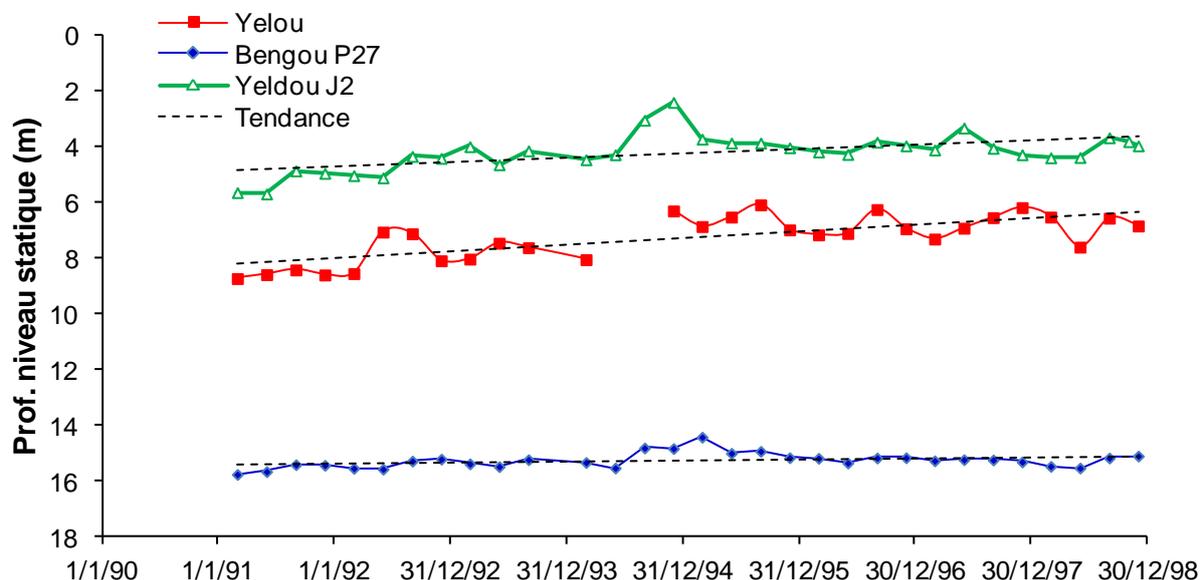


Figure 15 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe alluviale du dallol Maouri

Sur le Goulbi de Maradi, les observations piézométriques entre 1991 et 1998 (Fig. 17) montrent que les fluctuations saisonnières atteignent 2,5 m. Une tendance à la hausse de la nappe alluviale, allant de 0,37 à 2,5 m se dégage également, avec une moyenne de 1,18 m. Toutefois, dépendamment des conditions locales, une baisse est aussi observée au niveau de quelques piézomètres (i.e. Hadamna), plus importante dans la vallée du Goulbi Gabi, un affluent rive gauche (Fig. 18) ;

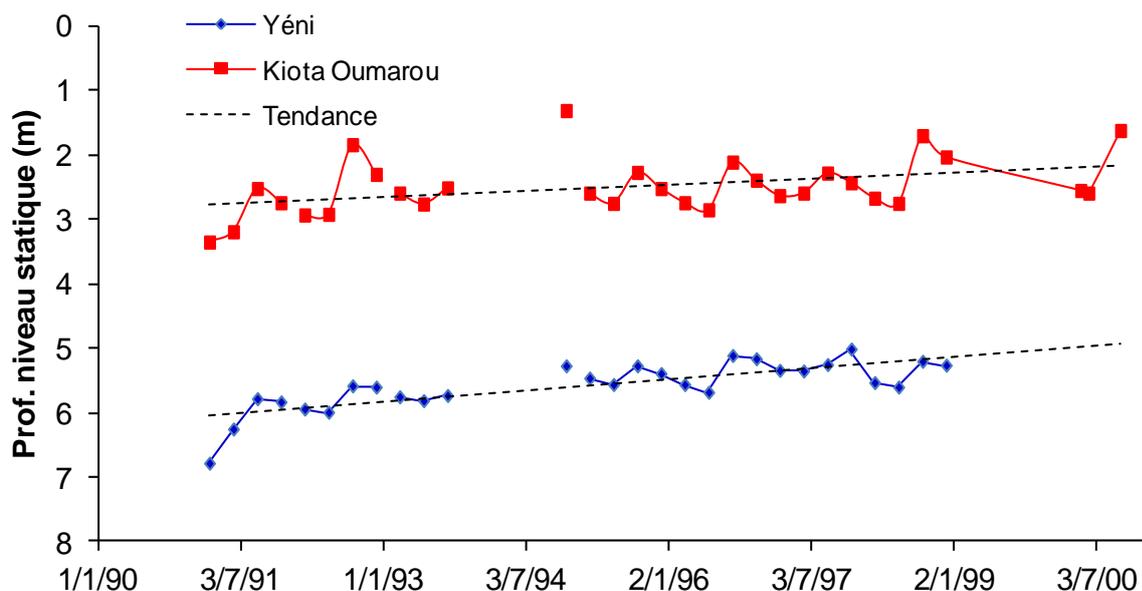


Figure 16 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe alluviale du dallol Bosso

- Dans la nappe de la Komadougou (Fig. 19), la fluctuation interannuelle de la nappe sur la période 1994-1997 atteint 1,04 m. La remontée moyenne sur cette même période est de 19 cm/an. Une tendance similaire serait présente dans la vallée de la Tarka où nous n'avons pas pu disposer de données fiables ;
- La nappe alluviale du Téloua (Fig. 20), fortement tributaire d'une pluviométrie faible et irrégulière montrerait, au-delà de ses fluctuations, une légère remontée de son niveau durant les dernières décennies.

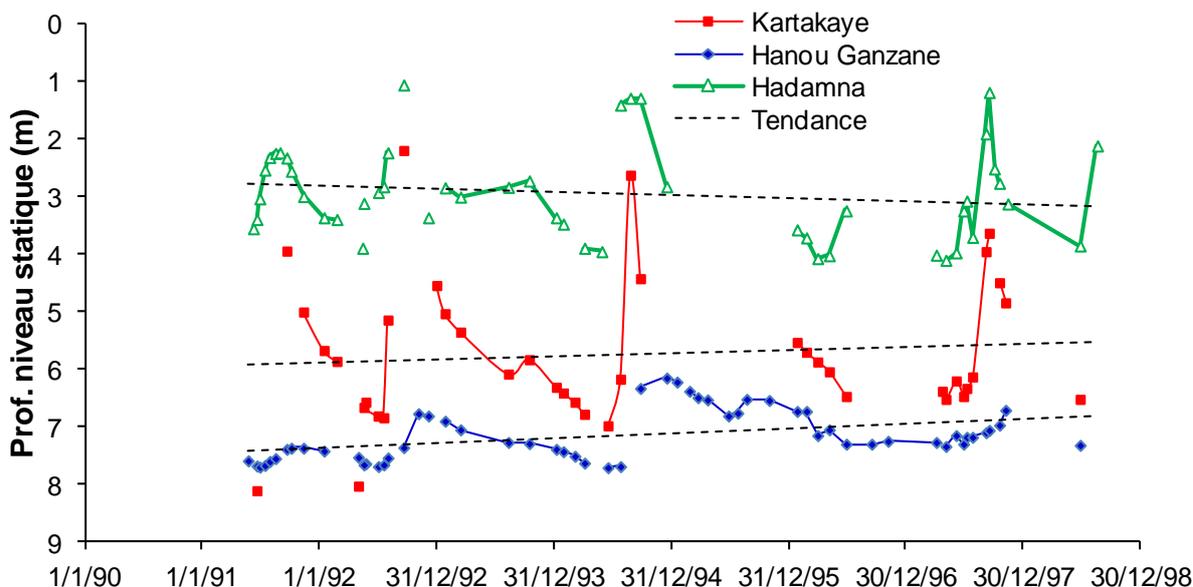


Figure 17 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe alluviale du Goulbi Maradi

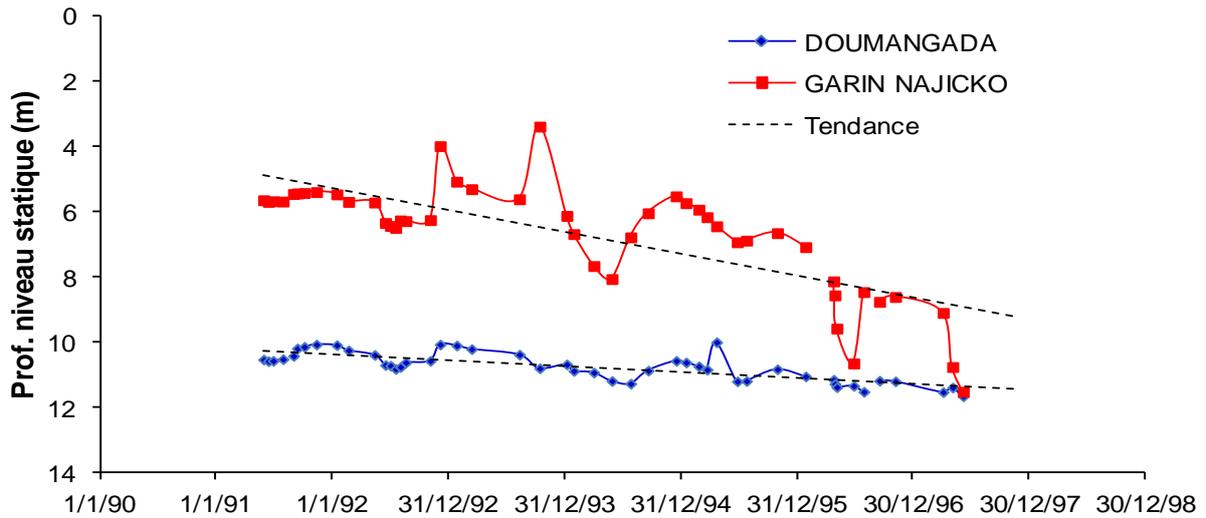


Figure 18 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe alluviale du Goulbi Gabi

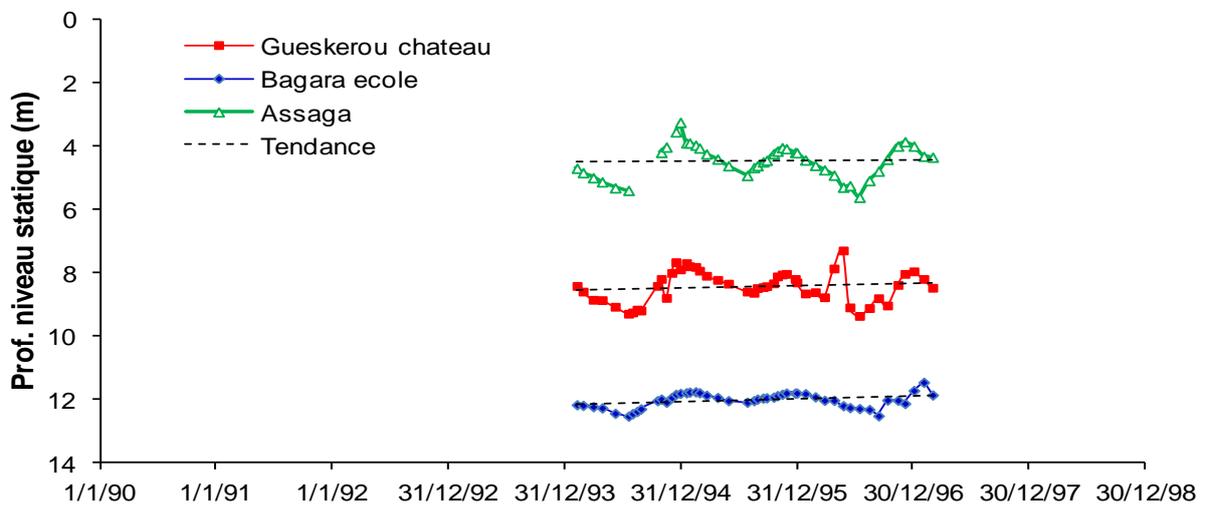


Figure 19 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe alluviale de la Komadougou

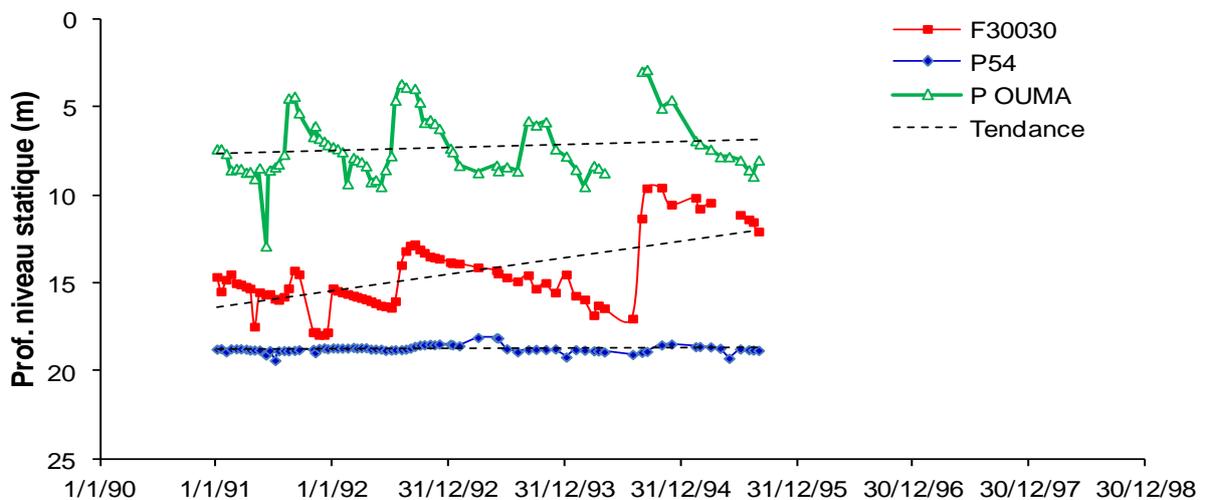


Figure 20 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe alluviale du Téloua (Agadez)

Malgré un potentiel saisonnier important de recharge, les nappes alluviales soumises aux prélèvements intensifs montrent une baisse continue de leurs niveaux piézométriques. C'est le cas de la nappe de Gogo dans la région de Zinder (Fig. 21) qui a enregistré au niveau de certains piézomètres, une baisse de niveau allant de 0,5 à 3,7 m entre 1990 et 1998 (A 8a et F 6b), avec une moyenne de 2,23 m. L'amplitude intersaisonnière de fluctuations a atteint 4,55 m en 1994.

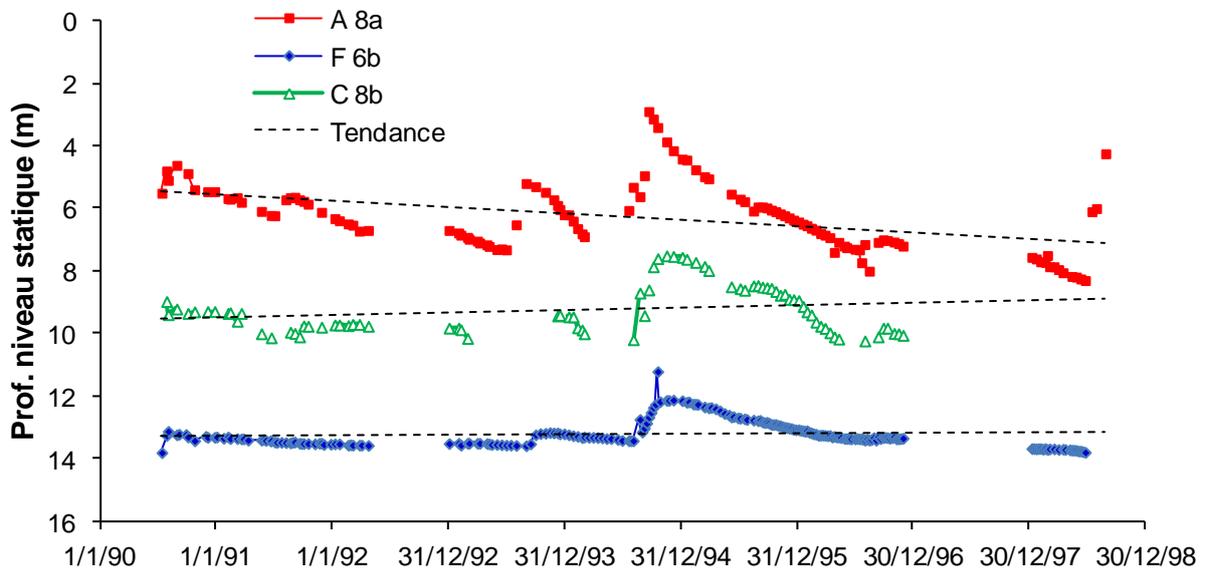


Figure 21 : Evolution du niveau piézométrique de la nappe alluviale de Gogo Machaya

VI. LES IMPACTS FUTURS DES CHANGEMENTS ET VARIABILITES CLIMATIQUES

VI.1 Les projections climatiques au Niger

Grâce aux travaux de GIEC, les modèles climatiques permettent aujourd'hui de simuler l'évolution future des précipitations à l'échelle globale avec des incertitudes de plus en plus maîtrisées. Mais à l'échelle sous-régionale, nationale ou locale, la grande variabilité des précipitations et l'insuffisance des données rendent les prévisions sur les changements climatiques futurs très problématiques. En dépit des résultats prometteurs, les incertitudes associées sont encore importantes.

Les observations pluviométriques de ces dernières décennies et les tendances annoncées par les modèles globaux pour la zone ouest-africaine laissent entrevoir ou persister au niveau national les modifications pluviométriques suivantes :

- une plus grande variabilité des précipitations : en effet la plupart des scénarii prévoient une diminution des précipitations qui varie de 0,5 à 40% dans la sous région, avec une moyenne de 10 à 20% pour les horizons 2025 ;
- la poursuite du glissement des isohyètes vers le Sud : cette tendance amorcée déjà depuis la fin des années 1960s va persister en rapport avec la baisse de la pluviométrie ;
- un renforcement du cycle hydrologique avec l'apparition de phénomènes climatiques jadis méconnus dans le pays (inondations, vagues de chaleur et vents violents) ;
- hausse de la fréquence des épisodes de fortes précipitations, et des sécheresses, mais avec des incertitudes sur les zones concernée et les périodes ;

Depuis l'élaboration de la CNI en 2000, deux (02) exercices de simulations de tendances (scénarii) futures d'évolutions du climat ont été réalisés au Niger :

- le premier dans le cadre des études V&A effectuées lors de l'élaboration de la SCN en 2006, a utilisé les sorties d'un modèle de Circulation Générale pour générer des données climatiques au niveau de neuf (09) stations synoptiques principales du pays pour deux scénarios d'émission de gaz à effet de serre ;
- le second a été réalisé dans le cadre la mise en œuvre du Programme Africain d'Adaptation (PAA) dans son volet amélioration des études des V&A, est basé sur les sorties mensuelles de onze (11) Modèles Régionaux de Climat. Les stations synoptiques ont été retenues sur la base de la qualité et de la disponibilité des données météorologiques (pluviométrie, températures minimales et maximales, insolation, vitesse du vent, etc.) recueillies au fil des années.

Les projections de climat futures réalisées dans le cadre de l'élaboration de la SCN, utilisent le modèle « Downscaling » SDSM (Statistical DownScaling Model) de changement d'échelle pour désagréger les sorties du Modèle de Circulation Générale (MCG) HadCM3 (Hadley Centre for Climate Prediction and Research) pour les scénarios d'émission de Gaz à Effet de Serre A2 et B2 au niveau de neuf (09) stations synoptiques principales du pays (Agadez, Niamey, Tahoua, Tillabéri, Zinder, Mainé Soroua, Tahoua, Birni Konni et Gaya). Le modèle SDSM a été calibré et validé avec des prédictors températures (minimales et maximales), vent et surtout précipitations, qui expliquent au mieux la variabilité des observations locales. Le modèle a été ensuite utilisé pour déterminer les conditions climatiques locales futures au niveau des stations synoptiques, avec des prédictors issus des scénarios A2 et B2 du modèle HadCM3 sur la période allant jusqu'en 2050.

Bien que d'autres modèles stochastiques de climat aient été testés au cours du même exercice (LARS-WG), le choix du SDSM s'explique par le fait qu'il ne prend en entrée que les précipitations qui sont bien simulées par les MCG dans cette région, limitant ainsi les prédicteurs aux variables qui sont les mieux simulées par les MCG (CNEDD, 2007).

Malgré une grande variabilité des résultats selon les stations (CNEDD, 2007), le modèle prévoit une augmentation moyenne des températures maximales allant jusqu'à 2.5°C à l'horizon 2050 pour le scénario A2 et plus de 3°C pour le scénario B2. Les plus fortes augmentations concernent les stations d'Agadez, Mainé, Konni et Maradi. A l'inverse, les stations de Niamey et Gaya connaîtront les plus faibles hausses, pouvant néanmoins atteindre 1.5°C. La hausse de températures maximales journalières est moins marquée au cours des mois de juin, juillet, août et septembre correspondant à la saison des pluies. Les hausses prévues par modèle LARS-WG sont encore plus importantes.

Quant aux températures journalières minimales elles subiraient également une hausse pouvant aller jusqu'à 3.5°C, notamment sur la station de Maradi.

Pour les « précipitations », les projections climatiques données par ce modèle SDSM pour l'horizon 2050 montrent, par rapport à la période de référence 1961-1990 (CNEDD, 2007) :

- des hausses notables de cumuls des précipitations à l'horizon 2050 pour les stations de Tahoua, Konni, Zinder, Mainé, Agadez et surtout Tillabéry ;
- une légère diminution des cumuls en revanche sur les stations de Gaya, Niamey et Maradi. Les baisses de précipitations mensuelles sont surtout prévues pour le mois de novembre. Mais le taux relativement important de ces baisses est à prendre avec précaution car il ne met en jeu que de faibles hauteurs de précipitations (quelques millimètres) ;
- un démarrage plus tardif de la saison des pluies sur l'ensemble des zones considérées;
- une faible variation de la durée de temps sec (nombre de jours consécutifs sans pluie) pendant toute la saison de pluie;
- une augmentation nette de l'évapotranspiration à Niamey, Zinder, Tahoua et Tillabéry ;
- une augmentation de nombre et de la fréquence des événements extrêmes (températures et pluies) au niveau de toutes les stations. Tillabéry présente de loin les plus fortes augmentations, notamment en termes de pluies extrêmes. L'augmentation des températures extrêmes peut atteindre 3.3 °C.

En prélude aux études V&A dans le cadre de la TCN, une analyse comparative entre les séries obtenues lors des deux (02) exercices de simulations d'évolutions futures du climat au Niger a été réalisée (CNEDD, 2013). Cette étude a conclu qu'en termes de températures et de précipitations, les deux approches s'accordent au moins sur :

- une augmentation des températures maximales journalières pouvant atteindre 3°C, notamment au niveau des stations d'Agadez, Mainé et Maradi. Cette augmentation intéresse moins la saison pluvieuse (juin à septembre) pour laquelle des baisses sont même envisagées pour des stations comme celle de Maradi ;
- une augmentation des précipitations pour les scénarios dits « humides » ou « optimistes » pouvant atteindre 50% sur les cumuls annuels. Les stations de Tillabéry, Agadez, Mardi et Tahoua seront notamment les plus grandes bénéficiaires de cette hausse de cumuls annuels de précipitations. L'augmentation des précipitations au Sahel est corroborée par des études

récentes (Reindert et al., 2005). Toutefois, le rapport du GIEC (IPCC, 2007), indique que les résultats des modèles sur les changements des précipitations au Sahel sont parfois contradictoires ;

- un démarrage plus tardif de la saison des pluies sur l'ensemble des stations considérées ;
- une faible variation de la durée de temps sec (nombre de jours consécutifs sans pluie) pendant toute la saison des pluies ;
- une augmentation de nombre et de la fréquence des événements extrêmes (températures et pluies) au niveau de toutes les stations. Tillabéry et Agadez présentent de loin les plus fortes augmentations, notamment en termes de pluies extrêmes. L'augmentation des températures extrêmes peut atteindre 3.3 °C.

Mais l'analyse de la variabilité à travers l'écart-type des cumuls annuels des précipitations montre que les écarts-types de précipitations projetées dans le cadre du projet AAP sont systématiquement plus faibles que ceux observés sur la période de référence 1961-2011. Cela traduit une faible variabilité interannuelle dans la chronique projetée.

Par conséquent les séries climatiques projetées obtenues lors de l'exercice de la SCN prennent mieux en compte les événements extrêmes, permettant ainsi de tenir compte notamment de la variabilité interannuelle des précipitations dans le pays. Fort de cette recommandation, nous avons donc retenues ces séries pour la réalisation l'étude V&A sur les ressources en eau.

L'évolution des précipitations et des températures annoncée par les modèles laissent présager des impacts plus ou moins importants sur les différentes unités d'exposition du secteur des ressources en eau du pays.

VI.2 Impacts futurs sur les eaux de surface

Les impacts des changements climatiques sur ces ressources en eau de surface peuvent être appréciés à l'aide d'un modèle Pluie-débit, permettant de générer des débits d'écoulement de cours d'eau à partir des chroniques de pluies projetées par les modèles climatiques. Mais la mise en œuvre de tel modèle nécessite des moyens importants (logiciel) et surtout des données fiables sur une période suffisamment longue. A défaut de disposer de ces préalables, nous avons utilisé le jugement d'expert pour prévoir l'évolution future de ces ressources en eau.

Les dérèglements des précipitations et des températures annoncés par les modèles influenceraient fort probablement les ressources en eau de surface et induire notamment :

- une poursuite de la baisse des écoulements du fleuve Niger à Niamey, en relation avec la baisse des apports de la crue guinéenne ;
- un accroissement de volume et de débit de pointe de la crue locale, qui prendra de plus en plus de l'ampleur, comme observé ces dernières années ;
- une augmentation des écoulements dans les petits bassins versants endoréiques et les affluents de la rive droite du fleuve, en relation avec la pression anthropique sur le couvert végétal qui modifie les états de surface ;
- une augmentation de la charge solide des écoulements notamment ceux provenant de petits bassins versants, en relation avec l'aggravation de l'érosion due au déboisement ;
- une baisse du remplissage des lacs et barrages. En revanche dans les petits bassins endoréiques, l'augmentation des écoulements et de la charge solide va induire un surplus d'apports solides au niveau des plans d'eau, avec des risques d'envasement importants ;

- une élévation de la température de l'eau qui entraînerait une baisse de la qualité des eaux de surface. Dans les cours d'eau secondaires, cet effet pourrait être compensé en partie par la hausse des écoulements. En revanche dans le fleuve, la diminution des écoulements pourrait accentuer celle de la qualité de l'eau, ce qui augmenterait les concentrations en éléments chimiques rejetés par les industries dans la ville de Niamey ;
- un déplacement de régime hydrologique du fleuve et de ses principaux affluents rive droite (i.e. la Sirba) qui se poursuivrait, avec des débits de pointe de la crue Guinéenne à Niamey qui seront décalés de février/mars à décembre/janvier, voire même novembre/décembre dans les cas de scénarii les plus défavorables ;
- une augmentation de l'ampleur et la fréquence des inondations notamment dans la bande sud du pays. Cette augmentation découlera de la hausse attendue de la fréquence des épisodes de fortes précipitations ;
- un renforcement de l'évaporation en accord avec la hausse de la température, ce qui pourrait réduire les débits d'étiages (i.e. fleuve).

VI.3 Impacts futurs sur les eaux souterraines

Les impacts des changements climatiques sur les ressources en eau souterraine dépendent:

- des variations de volumes, périodes et qualité des écoulements et de la recharge par infiltration ;
- des caractéristiques hydrogéologiques de l'aquifère ;
- des prélèvements auxquels l'aquifère est soumis et des mesures de gestion et d'adaptation prises. En effet, les activités anthropiques pourraient avoir des impacts plus importants que ceux liés aux changements climatiques. Les pressions supplémentaires accroissent la vulnérabilité, alors que les mesures d'adaptation appropriées la réduisent.

Partant des impacts annoncés des changements climatiques sur les précipitations et les écoulements, les impacts probables sur les eaux souterraines sont :

- la baisse de la recharge des nappes et de leurs niveaux piézométriques, notamment les nappes phréatiques et alluviales, due à la diminution de la pluviométrie et des écoulements. Cette vulnérabilité sera accentuée par la pression anthropique liée aux prélèvements. Il est peu probable que les changements climatiques annoncés aient des effets majeurs sur la demande municipale et industrielle. Mais ils pourraient fortement affecter les prélèvements pour l'irrigation. Les prélèvements destinés à l'irrigation, très dépendants du climat, pourraient donc augmenter ou diminuer selon l'évolution des précipitations. De plus, les hausses de températures auraient tendance à augmenter la demande, en raison du taux d'évaporation plus élevé ;
- l'augmentation de la recharge des nappes phréatiques et la hausse de leurs niveaux piézométriques dans les bassins endoréiques où les écoulements pourraient augmenter ;
- la diminution très sensible de la recharge des aquifères des grands bassins sédimentaires ;
- la diminution ou l'augmentation de l'apport des nappes phréatiques au cours d'eau selon l'augmentation ou la baisse de la recharge ;
- l'augmentation ou la réduction des ressources en eau souterraine en rapport avec l'évolution de la recharge ;
- la détérioration de la qualité de l'eau en relation avec la hausse ou la baisse de la recharge des nappes phréatiques. L'augmentation des écoulements dans les zones déboisées favorisera le lessivage des sols et la concentration des éléments polluants vers les zones de dépressions favorables à la recharge. La pollution est transférée vers la nappe à travers la zone non saturée.

Dans les zones urbaines, le développement peu contrôlé des zones d'habitations et l'insuffisance de l'assainissement accentueront la pression sur les ressources en eau.

De façon spécifique, les différents systèmes de ressources en eau souterraine pourraient subir les impacts suivants à l'horizon 2025.

VI.3.1 Les aquifères du bassin des Iullemeden

L'impact à long terme des changements climatiques sur les ressources en eau du bassin des Iullemeden sera variable selon les nappes considérées.

Pour évaluer les impacts probables des changements climatiques sur les nappes du Continental terminal, des simulations ont été effectuées à l'aide du modèle hydrogéologique mis au point sur cet aquifère à partir du logiciel Processing Modflow Pro (PMWIN Pro) dans le cadre des études AAP. Les principes de PMWIN Pro ont été largement décrits (CNEDD, 2011). Le modèle étant déjà calé en régimes permanent et transitoire, nous l'avons utilisé pour simuler l'évolution des ressources en eau de la nappe phréatique du CT3 jusqu'à horizon 2050.

Les variables climatiques prises en compte dans ces simulations sont :

- les chroniques pluviométriques projetées obtenues à l'aide du modèle SDSM pour les deux (02) scénarii extrêmes et qui permettent de prendre en compte une nouvelle évolution de la recharge de la nappe phréatique. Ainsi un flux d'infiltration des eaux de pluies a été imposé dans les zones propices à la recharge de la nappe phréatique. Il est calculé à partir des chroniques pluviométriques SDSM (CNEDD, 2007) et de l'extension de ces zones. La recharge "localisée" sous les mares n'a encore pas été prise en compte en l'absence d'un inventaire détaillé des mares favorables ;
- les séries d'évapotranspiration calculées pour ces deux scénarios extrêmes pour tenir compte de la reprise évaporatoire dans le niveau aquifère superficiel (nappe phréatique).

Les autres paramètres et les conditions aux limites ont été maintenus identiques.

Les résultats des simulations montrent notamment une persistance de la remontée piézométrique (Fig. 22) de la nappe phréatique dans les zones préférentielles de recharge (zones endoréiques) même dans le cas de scénario sec, en réponse notamment au déboisement et à la pression anthropique.

L'amplitude de la remontée est plus importante que celle obtenue lors des simulations réalisées dans le cadre des études AAP, et atteindrait 12 m dans les bas-fonds à l'horizon 2050. Une telle remontée peut avoir des conséquences importantes dans les zones à faible profondeur d'eau où la nappe pourrait affleurer et créer des mares permanentes.

De manière globale, les résultats bien que modestes en raison du peu de données disponibles, suggèrent que dans la nappe phréatique (CT3), les tendances déjà observées persisteront à savoir :

- la remontée généralisée des niveaux piézométriques due à l'augmentation des écoulements dans les bassins endoréiques. Cette hausse sera plus importante dans les bas-fonds ;
- l'augmentation des réserves due à la hausse des niveaux piézométriques ;
- la détérioration de la qualité des eaux liée à une augmentation de la minéralisation en nitrates, surtout dans les zones les plus favorables à la recharge ;
- l'augmentation des apports de la nappe aux mares des dallols Bosso et Maouri, avec multiplication des mares permanentes et/ou accroissement de leurs superficies.

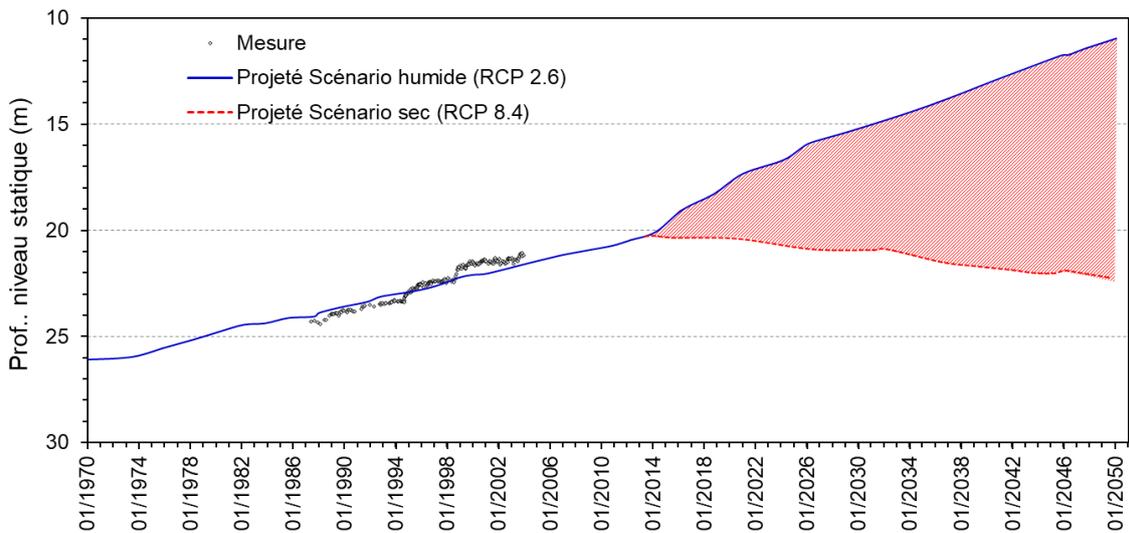


Figure 22 : Evolution du niveau statique de la nappe phréatique du CT3

La vulnérabilité des nappes inférieures (CT1) et moyennes (CT2) du Continental Terminal est liée à celle de la nappe phréatique qui les alimente. Si les tendances observées au niveau de cette dernière devraient persister, les impacts à long terme sur les nappes sous-jacentes seront :

- une remontée localisée des niveaux piézométriques et l'augmentation de réserves des nappes ;
- une légère détérioration localisée de la qualité des eaux souterraines due à une augmentation de la minéralisation, notamment en nitrates ;
- une baisse localisée de l'artésianisme due à la baisse des niveaux piézométriques consécutive à des écoulements "libres" persistants depuis plusieurs années (forages artésiens libres).

Les impacts à long terme dans les aquifères du Continental Intercalaire et du Continental Hamadien qui sont faiblement alimentés seront minimales. Ils découleront de la baisse, voire de l'annulation totale de la faible recharge directe due à la baisse des précipitations. La vulnérabilité la plus importante résultera surtout de la dynamique des prélèvements pour l'irrigation dans le cadre de la sécurité alimentaire.

VI.3.2 Les aquifères du bassin du Lac Tchad

Les impacts futurs probables des changements climatiques sur les aquifères du bassin du Lac Tchad seront :

- une baisse de la nappe quaternaire du Manga due à la diminution progressive de la recharge et l'augmentation probable des prélèvements ;
- la poursuite de la baisse des niveaux piézométriques et des réserves de la nappe des Koramas, avec des risques d'assèchement localisés, aggravés par les prélèvements pour l'irrigation ;
- la dégradation de la qualité des eaux.

VI.3.3 Les aquifères alluviaux

La vulnérabilité future des nappes alluviales aux changements climatiques se traduirait probablement par des tendances variables pour les aquifères alluviaux des cours d'eau fossiles (les dallols) et les aquifères des koris encore actifs (Goulbi Maradi, Komadougou) :

Au niveau des aquifères alluviaux des dallols Bosso et Maouri associés indistinctement à la nappe phréatique du CT3, on prévoit en général une augmentation des ressources en eau, avec localement une baisse de la qualité de l'eau due à une augmentation de la minéralisation en nitrates. La vulnérabilité future aux changements climatiques se manifestera à travers :

- la remontée généralisée des niveaux piézométriques due à l'augmentation des écoulements dans les bassins endoréiques. Cette hausse sera plus importante dans les bas-fonds ;
- l'augmentation des apports de la nappe aux mares des dallols Bosso et Maouri, avec multiplication des mares permanentes et/ou accroissement de leurs superficies ;
- la détérioration de la qualité des eaux due à une augmentation de la minéralisation, surtout dans les zones les plus favorables à la recharge.

Au niveau des aquifères alluviaux du Goulbi de Maradi et la Komadougou, la vulnérabilité se manifestera par une baisse des ressources en eau. On prévoit en effet une baisse des niveaux piézométriques due à la diminution des écoulements consécutive non seulement aux changements climatiques, mais aussi à la construction des barrages au Nigeria en amont. Cette baisse pourrait être accentuée par les prélèvements généralisés opérés à partir des puisards et entraîner une situation de quasi-assèchement des aquifères.

VII. LES STRATEGIES D'ADAPTATION

Les pratiques actuelles de gestion des ressources en eau sont remises en question par les changements climatiques en raison des incertitudes qu'ils ajoutent. En effet, les bases anciennes de conception et d'exploitation des infrastructures ne sont plus valables car on ne peut plus supposer que le régime hydrologique futur sera identique à celui du passé.

La difficulté majeure est d'intégrer l'incertitude dans la gestion et la planification des ressources en eau. Mieux prévoir l'écoulement des semaines ou des mois à l'avance améliorerait considérablement la gestion et la capacité de faire face à de nouvelles tendances dans la variabilité hydrologique. En outre, la capacité d'adaptation est plus grande quand les terres et les ressources en eau sont gérées de manière intensive et produisent des biens marchands, que lorsque les terres sont gérées moins intensivement comme c'est le cas actuellement, ou lorsque aucune valeur marchande n'est donnée à l'eau. La mise en œuvre de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) dont le Plan d'Action National (PANGIRE) a été élaboré en 2017 permettra d'élargir le potentiel d'adaptation dans le secteur.

VII.1 Les stratégies nationales d'adaptation

A partir des expériences capitalisées et au regard des grands principes de la politique internationale en matière de gestion de l'eau dans l'optique d'un développement durable, le Niger a élaboré une politique de l'eau et de l'assainissement déclinée dans le "Schéma Directeur de Mise en valeur et de Gestion des Ressources en eau ». Celle-ci vise à rétablir le système productif du pays et à faire de l'eau un facteur de développement socio-économique et un élément déterminant dans la sauvegarde de l'environnement.

La politique nationale de l'eau et de l'assainissement est basée sur la mise en valeur et la gestion intégrée des ressources (GIRE) à travers les grands axes suivants :

- la connaissance et la maîtrise des ressources en eau ;
- l'utilisation des informations météorologiques ;
- l'amélioration de la couverture des besoins en eau des populations et de leur cadre de vie ;
- l'appui à tous les secteurs de production tout en recherchant une meilleure adéquation entre coûts d'investissements, d'entretien et de fonctionnement des infrastructures hydrauliques ;
- la pleine participation des populations à la conception et à la réalisation des travaux, l'amélioration de la prise en charge des infrastructures, la clarification et le respect des rôles des différents partenaires (Etat, collectivités, secteur privé, populations bénéficiaires) et la sécurisation des droits d'exploitation ;
- la protection des ressources en eau, de la qualité de l'eau et des écosystèmes aquatiques ;
- la valorisation des ressources en eau à travers une meilleure organisation des filières ;
- l'adéquation entre la fourniture de l'eau (à usage domestique, industriel, agricole...) et le traitement des eaux résiduaires ;
- l'adéquation entre les aménagements perturbant le régime des eaux (urbanisation, pistes remblais, surface imperméabilisées...) et les mesures visant à en corriger les effets nuisibles.

La mise en œuvre de la GIRE au Niger repose sur l'instauration des Unités de Gestion de l'Eau (UGE) sur les unités hydrologiques pour servir de cadre à la planification, à la mise en valeur et à l'exploitation des ressources en eau.

Le Plan d'Action National de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PANGIRE) a été élaboré en 2017. Il représente la synthèse des principaux résultats du bilan de l'état des lieux de la gestion des ressources en eau au Niger.

LE PANGIRE constitue le cadre national de gestion des ressources en eau et devant servir d'outil opérationnel pour la mise en œuvre de la Politique nationale de l'eau, tout en permettant de mieux intégrer les actions projetées des différentes stratégies et programmes sectoriels et intersectoriels de l'eau. Sur la période de 2017 à 2030, les objectifs spécifiques du PANGIRE visent notamment (MHA, 2017) :

- l'amélioration des connaissances et du suivi des ressources en eau et de leurs usages ;
- l'amélioration de la mobilisation et de la valorisation des ressources en eau pour satisfaire les utilisations économiques ;
- l'amélioration de l'accès équitable et durable des populations à l'eau potable et aux installations d'assainissement, en prenant en compte les questions du genre ;
- l'amélioration de la bonne gouvernance du secteur de l'eau ;
- la protection et la préservation de l'environnement et le développement de la résilience face aux effets des changements climatiques.

Ces objectifs seront poursuivis à travers quatre (4) composantes à savoir : (i) amélioration de la connaissance des ressources en eau, (2) mobilisation et valorisation des ressources naturelles et développement des activités socio-économiques, (iii) préservation de l'environnement et développement de la résilience aux changements climatiques et (iv) l'amélioration de la gouvernance de l'eau et renforcement des capacités.

Les stratégies de mise en œuvre de la politique nationale en matière de ressources en eau ont été déjà intégrées au Programme "Eau et le Développement Durable" du Plan National de l'Environnement pour un Développement Durable (PNEDD.) Elles visent les objectifs spécifiques suivants :

- améliorer la connaissance du potentiel hydrique et des possibilités de sa mise en valeur ;
- mobiliser les eaux de ruissellement à des fins de production agro-sylvo-pastorale ;
- relancer le secteur de l'élevage par une gestion intégrée des ressources en eau et en pâturages ;
- promouvoir la pêche et la pisciculture par une meilleure valorisation des ressources en eau ;
- valoriser les infrastructures hydro-agricoles existantes et les ressources potentielles en eau souterraine facilement accessibles par la promotion de la petite irrigation privée ;
- contribuer à la moindre dépendance énergétique nationale par la mise en valeur de l'énergie solaire en hydraulique rurale ;
- améliorer le rendement des cultures pluviales par de vastes programmes de CES/DRS ;
- adapter et vulgariser les cadres juridiques et institutionnels de la prise en charge des infrastructures par les populations ;
- améliorer l'efficacité de l'eau et son recyclage tout en prévenant et maîtrisant la pollution ;
- harmoniser la gestion intégrée des ressources en eaux partagées dans un cadre de coopération sous régionale ;
- contribuer à la réalisation du barrage de Kandadji ;
- élaborer les schémas directeurs d'assainissement des chefs-lieux de département ;
- élaborer les plans d'assainissement pour les autres agglomérations selon l'acuité des besoins ;

- définir les besoins en matière d'assainissement de toutes les agglomérations et exécuter les programmes de réalisation correspondants.

La mise en œuvre des stratégies nationales en matière d'eau et d'assainissement se fait de manière timide, au gré des projets sous le financement des partenaires au développement. Aussi, la capacité du pays à s'adapter aux changements climatiques est actuellement très faible en raison de ses ressources limitées. Dans les domaines de l'agriculture et de l'eau (données, technologies, méthodes), les capacités actuelles ne seront probablement pas suffisantes pour garantir la sécurité alimentaire dans le cadre d'un développement durable et l'augmentation de la variabilité climatique constituera un frein supplémentaire au développement. Les processus d'adaptation aux changements climatiques mondiaux, y compris les transferts de technologie et la séquestration du carbone, offrent cependant de nouvelles opportunités. L'adoption du Programme Stratégique de Résilience Climatique (PSRC/PPCR) peut permettre d'impulser les processus.

VII.2 Les options d'adaptation futures

Les options d'adaptation futures du secteur des ressources en eau visent à poursuivre la mise en œuvre des stratégies nationales conformément à la Stratégie Nationale et Plan d'Action sur les Changements et Variabilité Climatiques (SN/PA/CVC). Quel que soit le scénario d'évolution future du climat national et mondial, les actions spécifiques suivantes doivent notamment être mises en œuvre :

- la mobilisation des eaux de surface pour l'accroissement de la production agricole et pour la réalimentation des nappes souterraines ;
- la protection des berges et la réhabilitation des mares ensablées ;
- la réhabilitation et renforcement du dispositif national de suivi des eaux de surface ;
- l'identification et protection des zones vulnérables aux inondations ;
- la mise en place et/ou renforcement du système d'alerte précoce et de gestion des catastrophes liées aux inondations ;
- la poursuite des actions de réalisation de retenues collinaires et de barrages ;
- la régénération du milieu naturel dégradé des bassins versants par l'introduction d'espèces végétales mieux adaptées aux nouvelles conditions ;
- la réhabilitation et le renforcement du dispositif national de suivi qualitatif et quantitatif des eaux souterraines, notamment les aquifères alluviaux importants et les grands aquifères (lullemeden, lac Tchad) en rapport avec les pays concernés ;
- l'amélioration de la connaissance des grands aquifères fossiles (Continental Intercalaire, Continental Hamadien, les aquifères du Paléozoïque de l'Air) en vue de leur exploitation équilibrée, et afin de localiser d'autres aquifères pouvant être mis en exploitation dans les zones aux nécessités urgentes (zones de socles, zones à grandes profondeurs d'accès, ...) ;
- l'établissement d'une adéquation entre la disponibilité des ressources en eau et les besoins en eau pour l'irrigation et la consommation des populations et du bétail ;
- la mise en œuvre et le développement de la gestion concertée des eaux (souterraines et superficielles) à travers la Commission nationale et les Commissions régionales de l'Eau et de l'Assainissement pour les eaux nationales et à travers les Commissions mixtes et les Organismes inter-étatiques pour les eaux transfrontalières.

La multiplicité des futurs changements climatiques plausibles montre que la gestion de l'incertitude est très importante. Pour réduire la vulnérabilité actuelle aux changements et variabilité climatiques tout en

maintenant les options de gestion ouvertes pour faire face aux scénarii les plus défavorables, mais aussi pour saisir les opportunités qui pourraient se présenter, les actions futures incluent également de mettre l'accent sur :

- le renforcement des suivis climatiques et de ressources en eau par la « promotion » de la collecte des données météorologiques, hydrologiques, socioéconomiques et environnementales, afin de disposer des données fiables d'une portée plus vaste dans le temps et dans l'espace ;
- la promotion de la recherche nationale notamment dans le domaine de la modélisation hydrologique et hydrogéologique ;
- la mise en place d'un réseau d'informations fiables (réseaux optimisés d'observations systématiques et de suivi au niveau des services météorologiques, hydrologiques,...) et des plateformes de gestion efficace des données et d'informations ;
- le renforcement et l'intensification des formations sur l'évaluation de la vulnérabilité et les mesures d'adaptation dans le secteur des ressources en eau.

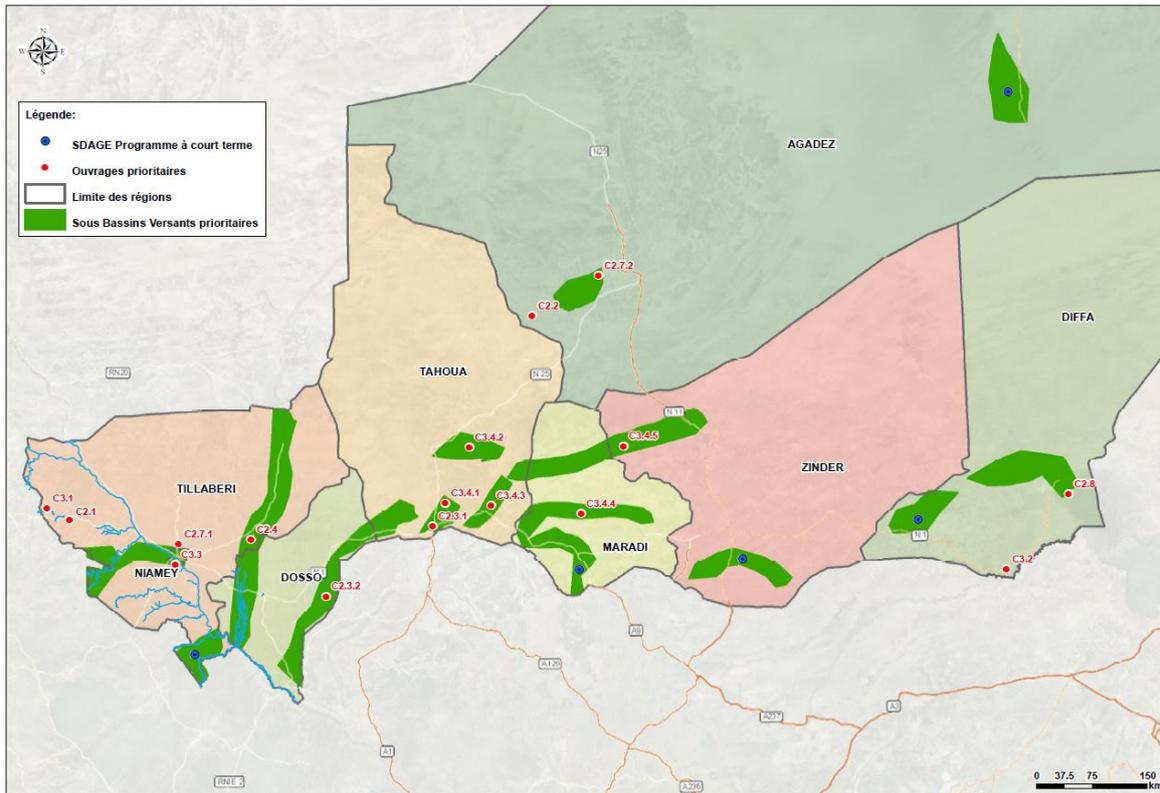
Toutefois, le PANGIRE a retenu quarante (40) options multiples et variées, certaines actions sont transversales à l'instar des actions d'appui institutionnel, de renforcement des capacités et de communication. D'autres sont techniques et relatives au développement des infrastructures tels que les aménagements hydro-agricoles, celles d'accès à l'eau potable et à l'assainissement, ainsi celles destinées à la préservation de l'environnement.

La mise en œuvre des actions du PANGIRE est planifiée et structurée en trois (3) Programmes à court, moyen et long termes. Chaque programme intègre des actions d'aménagement d'ouvrages et des actions « soft » en guise de mesures d'accompagnement.

Le programme à court terme (Programme P1) est défini comme prioritaire pour l'opérationnalisation du PANGIRE et comporte les actions ci-après (MHA, 2017).

VII.2.1 Actions d'aménagement d'infrastructures / ouvrages prioritaires

Ces actions d'ordre technique portent sur divers domaines tels que les aménagements d'infrastructures hydro-agricoles, l'alimentation en eau potable et l'assainissement, la préservation de l'environnement. Certaines peuvent concerner plus d'un site et comporter des sous actions. Au total, le P1 intègre 18 actions et sous-actions d'aménagement d'ouvrages (Tableau 21 et Fig. 23)



(PANGIRE, 2017)

Figure 23 : Situation des sites d’actions d’aménagement d’ouvrages prioritaires

Tableau 2 : Liste des actions d'aménagement d'infrastructures / ouvrages prioritaires

Code action	Nom de l'action	Nom de la sous-action
C2.1	Renforcement de la mobilisation des ressources en eau pastorale le long des couloirs de transhumance	C2.1-Renforcement de la mobilisation des ressources en eau pastorale le long des couloirs de transhumance dans le département de Téra (Tillabéri)
C2.2	Plan d'action de préservation de la qualité de l'eau dans une zone pastorale pilote de l'Aïr	C2.2-Plan d'action de préservation de la qualité de l'eau dans une zone pastorale pilote de l'Aïr
C2.3	Plan d'Action Mobilisation des ressources en eau et d'Aménagement hydroagricole dans les sous-bassins prioritaires	C2.3.1-Plan d'Action de Mobilisation des ressources en eau et d'Aménagement hydroagricole dans le sous-bassin prioritaire de la Maggia
		C2.3.2-Plan d'Action de Mobilisation des ressources en eau et d'Aménagement hydroagricole dans le sous-bassin prioritaire du Dallol Maouri
C2.4	Aménagement et mise en valeur de la petite irrigation familiale, individuelle et collective notamment pour les femmes et les jeunes	C2.4.1 Aménagement de 4 seuils d'épandages et de 100 ha de petite irrigation dans le SBV de Dallol Bosso
		C2.4.2 Aménagement d'une mare et de 50 ha de petite irrigation dans le SBV de Dallol Bosso
		C2.4.3 réhabilitation de 50 ha de la petite irrigation dans le SBV de Dallol Bosso
C2.7	Amélioration de l'accès à l'eau potable en milieu rural	C2.7.1-Amélioration de l'accès à l'eau potable en milieu rural dans la région de Niamey
		C2.7.2-Amélioration de l'accès à l'eau potable en milieu rural dans la région d'Agadez
C2.8	Amélioration de l'accès à l'eau potable en milieu urbain	C2.8-Amélioration de l'accès à l'eau potable en milieu urbain dans la commune de Bosso/Région Diffa
C3.1	Plan d'action de reboisement des zones forestières dégradées	C3.1-Plan d'action de reboisement des zones forestières dégradées dans le Sous bassin de la forêt de Tera, Filingué et Ouallam (Région de Tillabéri)
C3.2	Réhabilitation des cuvettes oasiennes pour la promotion des cultures irriguées	C3.2-Réhabilitation des cuvettes oasiennes pour la promotion des cultures irriguées dans les Communes Rurales de Chétimari (Diffa)
C.3.3	Protection des koris et aménagement des mares	C.3.3-Protection des koris et aménagement des mares dans la région de Niamey
C3.4	Plan d'actions CES/DRS pour une gestion durables des ressources naturelles	C3.4.1-Plan d'actions CES/DRS pour une gestion durables des ressources naturelles dans le SBV de La Maggia
		C3.4.2-Plan d'actions CES/DRS pour une gestion durables des ressources naturelles dans le SBV de la Vallée Badaguichéri
		C3.4.3-Plan d'actions CES/DRS pour une gestion durables des ressources naturelles dans le SBV de la Vallée Doguérawa
		C3.4.4-Plan d'actions CES/DRS pour une gestion durables des ressources naturelles dans le SBV du Goulbi N'Kaba
		C3.4.5-Plan d'actions CES/DRS pour une gestion durables des ressources naturelles dans le SBV de la Haute et basse vallée de la Tarka, mais aussi la Korama

VII.2.2 Actions soft mesures prioritaires

Le tableau 3 suivant présente la liste des actions « mesures soft », appartenant au P1 du PANGIRE, qui sont d'ordre transversal, comme les actions d'amélioration des connaissances des ressources en eau, d'appui institutionnel, de renforcement de capacité, de communication.

Tableau 3 : Liste des actions soft-mesures prioritaires

N°	Désignation de l'action
C1.1	Renforcement du dispositif de suivi des ressources en eau de surface
C1.2	Renforcement du dispositif de suivi des ressources en eau souterraine
C1.3	Création d'un Observatoire de l'Eau et de l'Environnement
C1.4	Renforcement du dispositif de contrôle de la qualité de l'eau
C1.5	Etudes des caractéristiques géomorphologiques des bassins versants et hydrodynamiques des aquifères alluviaux ainsi que les relations entre les écoulements de surface et les nappes phréatiques
C1.6	Elaboration des monographies et des atlas de planification des ressources en eau
C1.8	Etudes des besoins en eau de surface et souterraine des sites miniers et protection du milieu naturel
C2.9	Elaboration et mise en œuvre d'un programme de sensibilisation et de démonstration à l'Hygiène et à l'Assainissement au niveau des communautés
C3.6	Elaboration d'un plan d'action pilote pour le développement de la résilience des populations au changement climatique
C4.1	Elaboration des SDAGE
C4.2	Etude de la stratégie de financement du secteur de l'eau
C4.3	Renforcement de la recherche dans le domaine de l'eau
C4.4	Appui à la mise en œuvre du Code de l'Eau
C4.5	Création du Secrétariat Permanent du PANGIRE
C4.6	Actualisation et mise en œuvre des mesures législatives et réglementaires relatives à la protection des ressources naturelles et de l'environnement
C4.7	Appui à l'élaboration des PLEA dans les régions en particulier à Zinder et à Diffa
C4.8	Renforcement et opérationnalisation de la décentralisation dans la gestion des RE
C4.9	Réforme et réaménagement institutionnels pour le pilotage intersectoriel et durable du processus GIRE
C4.10	Mise en œuvre d'un plan de communication du secteur de l'eau
C4.11	Mise en œuvre d'un plan d'action de renforcement des capacités des cadres du secteur de l'eau

VIII. LES CONTRAINTES LIEES AUX ETUDES V&A

L'insuffisance des connaissances sur les ressources est la contrainte commune à l'ensemble des pays en développement dans l'évaluation V&A du secteur. Elle découle essentiellement de la méconnaissance de l'importance des données hydrologiques dans la résolution des problèmes de développement et donc, la faible disponibilité de ces données de base, surtout en matière de ressources en eaux souterraines. A cela, il faut ajouter les capacités scientifiques locales très limitées en matière d'étude sur les changements climatiques et leurs impacts.

Les autres contraintes majeures dans les études V&A peuvent être résumées comme suit :

- une insuffisance des données hydrologiques et hydrogéologiques en quantité et en qualité, qui rend difficile l'estimation des ressources en eau et de leur évolution face à la variabilité et aux changements climatiques ;
- une insuffisance des moyens matériels de collecte et d'archivage, d'analyse et de communication pour la plupart des services producteurs de données ;
- faiblesse des institutions de recherche et d'observations systématiques dans le domaine de l'eau ;
- une insuffisance de formations scientifiques sur certains aspects tels que la vulnérabilité, l'adaptation et l'atténuation de l'impact du climat ;
- une insuffisance de mécanismes efficaces de prévisions climatiques et hydrologiques d'aide à la prise de décisions et de systèmes de gestion basés sur les résultats de la recherche.

CONCLUSION

Le potentiel de ressources en eau de surface et surtout souterraine dont regorge le Niger est important. Même si ces potentialités sont encore insuffisamment exploitées, leur mise en valeur constitue un levier essentiel au développement socio-économique du pays.

Cependant, la forte variabilité hydrologique très caractéristique du sahel, les sécheresses récurrentes et la dégradation continue des terres sous l'effet de la pression démographique augmentent sensiblement la vulnérabilité des ressources en eau du Niger face aux changements climatiques. La combinaison de la croissance démographique forte (3,9%) et des effets du réchauffement climatiques va accentuer la pression sur ces ressources.

D'ores et déjà, les observations hydrologiques montrent que la vulnérabilité actuelle des ressources en eau se manifeste surtout par :

- un déficit pluviométrique chronique ;
- des sécheresses récurrentes sous forme de baisse de pluviométrie, de grande incertitude dans la répartition de celles-ci, et de baisse des débits du fleuve Niger à Niamey ;
- une baisse de la recharge et des ressources en eau des nappes phréatiques (aquifère quaternaire du Manga, Korama) et alluviales (Goulbi Maradi, Komadougou) ;

Néanmoins, dans les zones endoréiques du Sud-ouest du pays, la dégradation d'origine anthropique du couvert végétal induit une hausse du niveau et des réserves de la nappe phréatique du Continental Terminal et des nappes alluviales des dallols. Cette hausse s'accompagne toutefois d'une détérioration locale de la qualité de l'eau.

Selon les prévisions d'évolution future du climat au Niger, certaines tendances déjà observées sur les ressources en eau risquent fort de persister durant les prochaines décennies. Pour limiter les impacts sur les ressources en eau, il importe de mettre en œuvre les stratégies d'adaptation plus appropriées, qui feront de l'eau un facteur de développement socio-économique et un élément déterminant dans la sauvegarde de l'environnement. La capacité d'adaptation du pays sera plus grande lorsque les terres et les ressources en eau seront gérées de manière intégrée et intensive.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANCR, 2006 : Etude Sur l'évaluation des capacités à renforcer. Rapport. 54 pp + Annexes
- Anderson, M.P., Woessner, W.W., 1992 : Applied groundwater modeling : Simulation of flow and advective transport. Academic press Inc., San Diego. 381 p.
- BAKO M., 2020 : L'application de l'imagerie satellitaire à l'inventaire et au suivi des eaux de surface : cas du bassin du Goulbi N'Maradi. Mémoire, Faculté des Sciences & Techniques, Université Abdou Moumouni, Niamey, 75p.
- Boeckh, E., 1965 : Contribution à l'étude hydrogéologique de la zone sédentaire de la république du Niger. Ministère des Travaux publics et des Mines de la république du Niger. Rapport technique BRGM / BFBH, DAK 65-A 20. Dakar, Sénégal.
- Chiang, W.H., Kinzelbach, W., 2001: 3D-Groundwater Modeling with PMWIN. Springer Berlin Heidelberg New York. ISBN 3-540 67744-5, 346 p.
- Chinen, T. 1999. Recent accelerated gully erosion and its effects in dry savanna, southwest of Niger. Human response to drastic changes of environments in Africa, Faculty of Economics, Ryutsu Keizai Univ. 120, Hirahata, Ryugasaki 301-855, Japan, pp. 67-102.
- CNEDD, 1998 : Plan National de l'Environnement pour un Développement Durable. Rapport. 112 pp + annexes.
- CNEDD, 2000 : Première communication nationale du Niger. Rapport. 86 p.
- CNEDD, 2003 : Stratégie Nationale et Plan d'Action en Matière de Changements et Variabilité Climatiques. Rapport. 64 p.
- CNEDD, 2006a : Etat des lieux en besoins de renforcement des capacités dans le cadre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques. Rapport. 56 p.
- CNEDD, 2006b : Etude sur les circonstances nationales. Rapport final. Rapport, 44 p.
- CNEDD, 2006c : Etude sur les lacunes et contraintes, besoins techniques, financiers et humains en matière de changements climatiques. Rapport 28 pp + annexes.
- CNEDD, 2006d : Programme d'Action National pour l'Adaptation aux Changements Climatiques. Rapport.
- CNEDD, 2007 : Scénarios plausibles de changements climatiques au Niger. Rapport provisoire.
- CNEDD, 2011 : Scénarios de changements climatiques sur le Niger. Rapport. Niamey, 42 p.
- CNEDD, 2013 : Appui à la réalisation des études d'évaluation de la vulnérabilité et de l'adaptation aux changements climatiques. Rapport. Niamey, 43 p.
- CNEDD, 2016 : Troisième Communication Nationale sur les Changements Climatiques - TCN. Rapport, CNEDD, Niamey.
- FAO, 1970 : Etudes en vue de la mise en valeur du dallol Maouri, Niger : les eaux souterraines. Rome, Italie - 162p. ; cart., graph.. PROJET FAO/SF: 281/NIR 8, 1970.
- Favreau, G., 2001 : Caractérisation et modélisation d'une nappe phréatique en hausse au sahel: dynamique et géochimie de la dépression piézométrique naturelle du kori de Dantiandou (sud-ouest du Niger). Thèse de doctorat, univ. de Paris XI – Orsay, 258 p.
- Favreau, G., et al., 2009 : Land clearing, climate variability and water resources increase in Southwest

Niger: A review. *Water Resources Research*, 45, 7, W00A16.

- Favreau, G., LEDUC, C., 1998 : Fluctuations à long terme de la nappe phréatique du Continental Terminal près de Niamey (Niger) entre 1956 et 1997. in : "Variabilité des ressources en eau en Afrique au XYème siècle", conférence Abidjan'98, 1998. AISHPubl., 252, p.253-258.
- Field C.B., V.R. Barros, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, M. van Aalst, W.N. Adger, D.J. Arent, J. Barnett, R. Betts, T.E. Bilir, J. Birkmann, J. Carmin, D.D. Chadee, A.J. Challinor, M. Chatterjee, W. Cramer, D.J. Davidson, Y.O. Estrada, J.-P. Gattuso, Y. Hijoka, O. Hoegh-Guldberg, H.Q. Huang, G.E. Insarov, R.N. Jones, R.S. Kovats, P. Romero-Lankao, J.N. Larsen, I.J. Losada, J.A. Marengo, R.F. McLean, L.O. Mearns, R. Mechler, J.F. Morton, I. Niang, T. Oki, J.M. Olwoch, M. Opondo, E.S. Poloczanska, H.-O. Pörtner, M.H. Redster, A. Reisinger, A. Revi, D.N. Schmidt, M.R. Shaw, W. Solecki, D.A. Stone, J.M.R. Stone, K.M. Strzepek, A.G. Suarez, P. Tschakert, R. Valentini, S. Vicuña, A. Villamizar, K.E. Vincent, R. Warren, L.L. White, T.J. Wilbanks, P.P. Wong, and G.W. Yohe, 2014: Technical summary. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 35-94.
- Greigert, J., 1968 : Les eaux souterraines de la république du Niger. Ministère des Travaux Publics, des Transports, des Mines et de l'Urbanisme de la république du Niger. Rapport BRGM, 68 ABI 006 NIA, 2 volumes, 407 p. Niamey, Niger.
- Greigert, J., 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., Pougnet, R., 1965 : Carte géologique de la république du Niger au 1 : 2 000 000. BRGM éd.
- INS, 2010 : Niger en chiffre 2010. (http://www.stat-niger.org//statistique/file/Annuaire_Statistiques...)
- INS, 2013 : Présentation des résultats préliminaires du quatrième (4^{ème}) recensement général de la population et de l'habitat (RGP/H) 2012.
- IPCC, 2000 : IPCC Special Report on Emission Scenarios (SRES).
- IPCC, 2007 : Bilan 2001 des changements climatiques : Rapport de synthèse. Résumés du Groupe de travail I du GIEC sur « Les éléments scientifiques ».
- IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.
- IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel,

- A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 688.
- Leblanc M., et al. 2008. Land clearance and hydrological change in the Sahel: SW Niger. *Global and Planetary Change*, 61, 135-150.
- Margat, J., 1982 : Aquifère du Continental intercalaire du bassin sédimentaire du Niger (Mali, Niger, Nigeria). *Bull. BRGM, Hydrogéologie*, n°2.
- Massuel S., 2005. Evolution récente de la ressource en eau consécutive aux changements climatiques et environnementaux du sud-ouest Niger. Modélisation des eaux de surface et souterraines du bassin du kori de Dantiandou sur la période 1992-2003. Thèse de doctorat, Université de Montpellier 2, France, 220 pp.
- Mcdonald, M.G., Harbaugh, A.W. 1988: A modular three dimensional finite-difference ground water flow model; USGS.
- MH/A, 2017. Plan d'Action National de Gestion Intégrée des Ressources en Eau, PANGIRE Niger. Rapport, Ministère de l'Hydraulique et de l'Assainissement, République du Niger, Niamey, 158p.
- MHA, 2019: Schéma Directeur de Mise en Valeur et de Gestion des Ressources en Eau (Actualisation). Rapport, Ministère de l'Hydraulique et de l'Assainissement, République du Niger, Niamey. 175p.
- MHE/LCD, 1999a : Schéma Directeur de Mise en Valeur et de Gestion des Ressources en Eau du Niger.
- MHE/LCD, 1999b : Politique et stratégies du Secteur de l'Eau et de l'Assainissement au Niger.
- MPAT/DC, 2012. Plan de Développement Economique et Social (PDES) 2012-2015. Niamey (Niger) : éditions Ministère du Plan de l'Aménagement du Territoire et du Développement Communautaire du Niger.
- Parry, M.L., O.F., Canziani, Palutikof, J.P., et les auteurs de 2007 : Résumé technique in: Bilan 2007 des changements climatiques: Impacts, adaptation et vulnérabilité. Contribution du Groupe de travail II au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson, (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, É.-U.
- PDES, 2017. Plan de Développement Economique et Social du Niger PDES 2017-2021 : Un Niger renaissant pour un peuple prospère. Rapport, Ministère du Plan, République du Niger, Niamey, 171p.
- 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.
- Saad, K.F., 1969 : Étude hydrogéologique de l'est du Mali, Rapport 1856/BMS.RD/SCF, 55 p., UNESCO, Paris.
- SDDCI, 2017. Stratégie de Développement Durable et de Croissance Inclusive (SDDCI) Niger 2035 : Un pays et un peuple prospères. Tome I : Diagnostic, Enjeux et Défis. Tome II : Scénarii, Vision et Orientations Stratégiques. Rapport, République du Niger, Niamey, 51 p + 35 p.
- Servat, E., Paturel, J.E., Kouame, B., Masson, J.M., Travaglio, M., Ouedraogo, M., Boyer, J.F., Lubes-

Niels, H., Fritsch, J.M., Masson, J.M. & Marieu, B., 1998 : Variabilité spatiale des pluies au Sahel : une question d'échelle. 2. Modélisation. Water Resources Variability in Africa during the XXth Century. (Proceeding of the Abidjan'98 Conference, Abidjan, Côte d'Ivoire, November 1998). IASH Publ.n°252, 1998, pp153-158.

SOFRECO (2015) : Étude diagnostique de la situation actuelle des ressources en eau au NIGER dans le cadre du PANGIRE. Rapport thématique n°1 : Connaissances des ressources en eau. Rapport, MH/A , Niamey, Niger.

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Alley, R.B., Berntsen, T., Bindoff, N.L., Chen, Z., Chidthaisong, A., Gregory, J.M., Hegerl, G.C., Heimann, M., Hewitson, B., Hoskins, B.J., Joos, F., Jouzel, J., Kattsov, V., Lohmann, U., Matsuno, T., Molina, M., Nicholls, N., Overpeck, J., Raga, G., Ramaswamy, V., Ren, J., Rusticucci, M., Somerville, R., Stocker, T.F., Whetton, P., Wood, R.A., And Wratt, D.,, 2007: Résumé technique. In: changements climatiques 2007: Les éléments scientifiques. Contribution du groupe de travail I au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur les changements climatiques [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, Etats-Unis d'Amérique.

SP/SRP, 2002 : Stratégie de Réduction de la Pauvreté.

SP/SRP, 2003 : Stratégie de Développement Rural (version initiale).

SP/SRP, 2006 : Stratégie de développement rural (version révisée).

Taupin, J.D., Amani, A., Lebel, T., 1998 : Variabilité spatiale des pluies au Sahel, une question d'échelles, Approche expérimentale. Water Resources Variability in Africa during the XXth Century. (Proceeding of the Abidjan'98 Conference, Abidjan, Côte d'Ivoire, November 1998). IASH Publ.n°252, 1998, p.143-151.