

Projet AGES – Appui à l’Autorité du Bassin du
Fleuve Niger pour la Gestion des Eaux Souterraines

Rapport de synthèse des activités du projet AGES

- Phase II -



Hanovre, Septembre 2019



Autorité du Bassin du Fleuve Niger (ABN)

BGR Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe



Auteur: Kolja Bosch et Matthias Heckmann

Commissionné par: Ministère Fédéral de la Coopération Économique et du Développement
(Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung,
BMZ)

Projet: Appui à l'ABN pour la Gestion des Eaux Souterraines (AGES)

BMZ-N°: 2009.2470.4

BGR-N°: 05-2373

ELVIS-lien:

Date: Septembre 2019

Sommaire

1	Introduction	1
1.1	Cadre organisationnel	1
1.2	Ateliers de planification	2
1.3	Axes de travail	2
2	Axe de Travail I - Réseau de suivi des eaux souterraines	3
2.1	Réseau de suivi régional à l'échelle du bassin du fleuve Niger	3
2.2	Réseau de suivi dans les zones pilotes	5
2.3	Réseau de suivi dans la zone urbaine de Niamey	10
2.4	Réseau des stations météorologiques	12
2.5	Base de données pour le suivi des eaux souterraines dans le bassin du Fleuve Niger 13	
3	Axe de Travail II – Outils de gestion des eaux souterraines	15
3.1	Mise en valeur de données hydrogéologiques : Collecte, numérisation, harmonisation et control de qualité	15
3.2	Analyses et cartes	16
3.2.1	Carte géologique de la région frontalière Bénin, Niger, and Nigeria	16
3.2.2	Carte des eaux de surface: Probabilité d'inondation et potentiel de recharge ..	19
3.2.3	Carte de la pollution de l'eau souterraine par les nitrates	21
3.2.4	Carte piézométrique du Continental Terminal 3	22
4	Axe de Travail III - Renforcement de capacités	24
4.1	Formation sur les enregistreurs automatiques Type « CTD Diver »	24
4.2	Formation sur gestion et la manipulation de la base de données (GeODin)	25
4.3	Formation sur le tas	25
4.4	Formation QGIS	25
5	Résultats et produits	26

Liste de figures

Figure 1: Chronologie des activités du projet AGES pendant la période avril 2015-septembre 2019	1
Figure 2: Concept du projet AGES	2
Figure 3: Forages proposées par les états membres pour le réseau de suivi régional (forages qui correspondent aux cinq critères préliminaires de sélection)	4
Figure 4: Localisation des forages suivis dans la zone pilote 1	6
Figure 5: Localisation des forages suivis dans la zone pilote 2	7
Figure 6: Réseau de suivi des eaux souterraines dans la zone urbaine de Niamey	10
Figure 7: Fiche de la station météorologique installé à l'école primaire publique Guéné-Laga.	13
Figure 8: Exemple d'une fiche d'identité de forage dans la base de données AGES/ABN	14
Figure 9: Carte géologique de la zone frontalière du Benin, du Niger et du Nigéria (zone pilote 1)	18
Figure 10: Probabilité et saisonnalité d'inondation à partir de l'analyse des images satellites Landsat. (Annexe 4).	20
Figure 11: Carte de la pollution de l'eau souterraine par les nitrates	21
Figure 12: Carte piézométrique du Continental Terminal 3.	23

Liste de tableaux

Tableau 1: Ateliers de la deuxième phase du projet AGES	2
Tableau 2: Documentation des activités sur les réseaux de suivi dans les zones pilotes	9
Tableau 3: Documentation des activités sur le réseau de suivi à Niamey	11
Tableau 4: Liste des stations météorologiques installées par le projet AGES	12
Tableau 5: Liste des formations sur la gestion et la manipulation de la base de données. ...	14
Tableau 6: Liste des ateliers de formation QGIS	26
Tableau 7: Liste des publications et produits élaborées dans la deuxième phase du projet AGES	26

Liste des abréviations

ABN	Autorité du Bassin du Fleuve Niger
AGES	Appui à l'ABN pour la Gestion des Eaux Souterraines
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe = Institut Fédéral des Géosciences et des Ressources Naturelles
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung = Ministère Fédéral de la Coopération Économique et du Développement
DRH	Direction Régionale Hydraulique
FAO	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
SE	Secrétariat Exécutif

1 Introduction

Le présent rapport a pour but de résumer tous les activités du projet AGES pendant la période Avril 2015-Septembre 2019 afin de présenter de façon succincte les expériences faites et les produits élaborés pendant cette phase. Le rapport contient les leçons apprises, des recommandations et une annexe digitale avec la totalité des produits élaborés.

Le rapport est structuré selon les axes de travail du projet AGES qui sont introduits dans le chapitre suivant.

1.1 Cadre organisationnel

Le projet AGES (« Appui à l’Autorité du Bassin du Fleuve Niger pour la Gestion des Eaux Souterraines ») est un projet de partenariat entre l’Autorité du Bassin du Fleuve Niger (ABN) et l’Institut Fédéral des Géosciences et des Ressources Naturelles de l’Allemagne (BGR). Il a pour but d’appuyer l’ABN dans la gestion des eaux souterraines au niveau régional.

La phase actuelle du projet avait un départ prévu pour Octobre 2014 avec un budget de 2.500.000 euros. À cause des difficultés pour recruter du personnel approprié, finalement le démarrage a eu lieu en Avril 2015. Sa finalisation originalement prévue pour Mars 2018 a été prolongé à coûts neutre jusqu’à Septembre 2019 (voir Figure 1).

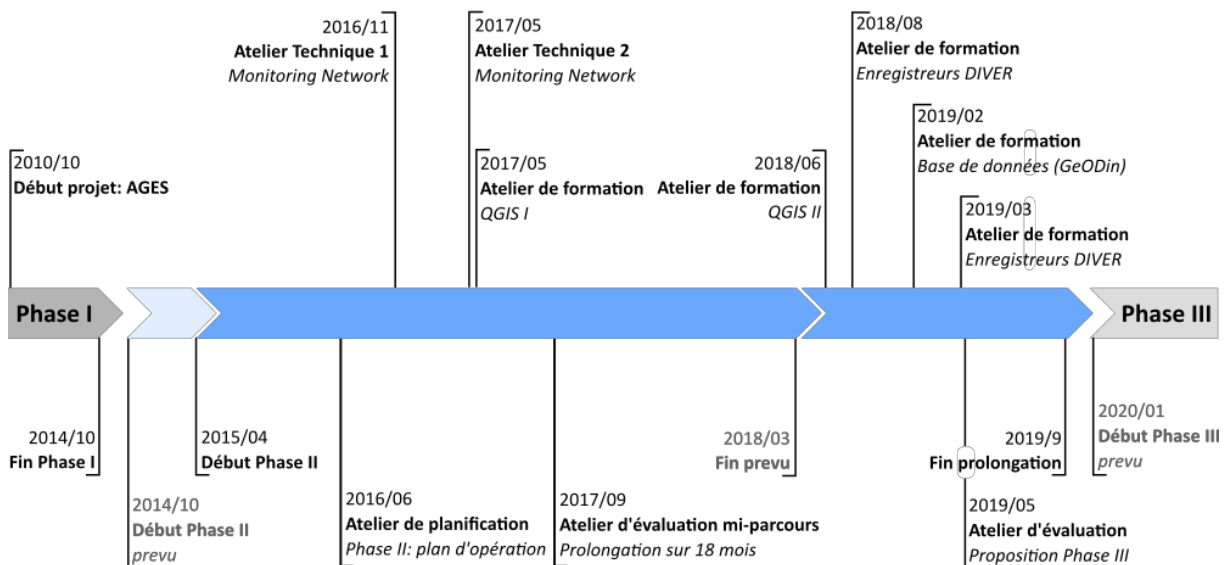


Figure 1: Chronologie des activités du projet AGES pendant la période avril 2015-septembre 2019

Le groupe de travail du projet AGES a été constitué par deux experts internationaux et deux experts nationaux sur place à Niamey avec la collaboration de personnel logistique (une assistante et deux chauffeurs). En plus, un expert plein-temps et un coordonnateur mi-temps du BGR siège ont été assignés au projet. De la part de l’ABN, un coordonnateur/homologue ainsi que deux bureaux et des magasins incluant leurs coûts d’opération ont été mis à disposition du projet.

1.2 Ateliers de planification

Pour un bon déroulement du projet, une série d'ateliers et workshops ont eu lieu (Tableau 1). Les plus importants concernant la gestion du projet sont :

- 2016/06 Atelier de planification opérationnelle : l'atelier a eu lieu à Niamey avec la présence du secrétariat de l'ABN et les structures focal nationales. C'est à partir de cet atelier que les activités pour les trois axes de travail ont été définies
- 2017/09 Atelier d'évaluation mi-parcours : Cet atelier, qui a eu lieu à Niamey avec la participation du secrétariat de l'ABN, a eu pour but une évaluation succincte du projet afin d'élaborer une proposition pour une prolongation du projet à coûts neutre au Ministère Fédéral de Coopération et Développement. Le projet était prolongé du Mars 2018 à Septembre 2019.
- 2019/05 Atelier d'évaluation et de planification stratégique: Basé sur une évaluation du projet une planification stratégique pour une nouvelle phase du projet a été élaborée en collaboration avec le secrétariat de l'ABN et les structures focal nationales.

Tableau 1: Ateliers de la deuxième phase du projet AGES

Date		Atelier/ Mission	Lieu	Participants	Document	Annexe
du	au					
21.06.2016	23.06.2016	Atelier de planification opérationnelle de la phase 2 du projet AGES	Niamey	ABN / SFN / AGES	201606_Rapport de l'atelier de planification opérationnelle de la phase 2 du projet AGES	1_Ateliers de Planification et d'Evaluation
22.09.2017	22.09.2017	Atelier d'évaluation mi-parcours pour une prolongation du projet sur 18 mois	Niamey	ABN / AGES	201709_Aide-mémoire de l'atelier d'évaluation mi-parcours pour une prolongation de la deuxième phase du projet AGES	
09.05.2019	09.05.2019	Atelier d'évaluation et de planification d'une nouvelle phase du projet	Niamey	ABN / SFN / AGES	201905_Rapport de l'atelier sur l'état d'avancement et la préparation d'une troisième phase du projet AGES	

1.3 Axes de travail

Le but du projet AGES est l'institutionnalisation du sujet gestion des eaux souterraines à l'ABN en focalisant sur les trois axes de travail qui ont été définis dans le cadre d'un atelier d'évaluation stratégique en Mars 2014 (voir Figure 2). Ils sont :

1. Axe de Travail I : Réseau de suivi,
2. Axe de Travail II : Outils pour la gestion de l'eau souterraine,
3. Axe de Travail III : Renforcement des capacités.

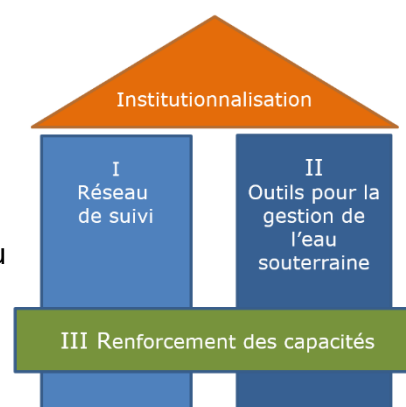


Figure 2: Concept du projet AGES

2 Axe de Travail I - Réseau de suivi des eaux souterraines

Pendant la planification du projet le BGR, l'ABN et les représentants des pays membres de l'ABN se sont convenues que le projet entame le processus d'établir un **réseau de suivi régional** à l'échelle du bassin du Fleuve Niger et que l'accent du travail sera l'établissement de **deux réseaux de suivi** dans les zones pilotes transfrontalières Niger-Bénin-Nigéria et Mali-Côte d'Ivoire-Guinée. Les données collectées sur ces réseaux de suivi sont traitées et stocké dans une base de données au niveau du projet. A part des zones pilotes le projet opère sur un **réseau de suivi dans la zone urbaine de Niamey**. Les travaux et les résultats dans cet axe de travail sont résumé ci-dessous.

2.1 Réseau de suivi régional à l'échelle du bassin du fleuve Niger

Le réseau de suivi forme l'infrastructure de base pour l'acquisition de données pour la gestion durable des ressources en eaux souterraines. Afin d'établir un réseau de suivi efficace à l'échelle du bassin du Fleuve Niger, il est nécessaire de définir l'objectif du suivi et des critères de sélection pour les piézomètres.

Dans l'atelier technique qui a lieu en novembre 2016, l'ABN et les pays membres ont défini **le suivi de l'impact du changement climatique sur les ressources en eaux souterraines** comme principal objectif du réseau de suivi régional. Les critères techniques pour la sélection des piézomètres à prendre en compte dans le réseau régional ont été définis avec les états membres.

Le catalogue suivant de critères de sélection a été retenue:

1. Le piézomètre est situé dans le bassin versant du Fleuve Niger
2. Le piézomètre appartient à l'État
3. Les coordonnées (X, Y, Z) et le système des coordonnées géographiques sont connus
4. Position hydrogéologique appropriée (triangulaire, profils auprès de rivières, loin de forages d'AEP ou d'irrigation agricole)
5. La coupe géologique du forage et la coupe technique sont disponibles
6. La date de réalisation est connue
7. Le piézomètre a un petit diamètre (< 150 mm/ < 6") pour éviter qu'il soit transformé dans un forage productif
8. Les crépines sont courtes (± 3 m) pour éviter des bypass entre aquifères et pour garantir la reproductibilité des mesures
9. L'espace annulaire est protégé par un bouchon d'argile ou de ciment
10. Le remplissage de l'espace annulaire garantit la séparation hydraulique des différents aquifères. La crépine ne capte qu'un seul aquifère
11. Le piézomètre est en bon contact avec l'aquifère (à confirmer avec essai de pompage)
12. Le piézomètre est protégé contre le vandalisme ou la couverture par des dunes
13. Le piézomètre est accessible au moins une bonne partie de l'année
14. Piézomètres dont des données de surveillance sont disponibles seront favorisés pour l'installation dans le réseau de suivi.

Depuis 2016 le projet a reçu 214 propositions de piézomètres qui ont été validées par rapport à 5 critères de sélection préliminaires basés sur les informations disponibles dans les documents reçus par les états membres :

1. Les coordonnées géographiques sont disponibles
2. Le piézomètre est situé dans le bassin versant du fleuve Niger
3. La coupe lithologique et technique sont disponibles
4. Le forage capte un seul aquifère
5. Le piézomètre a déjà été suivi dans le passé et les données du niveau piézométrique sont disponibles.

La validation des 214 piézomètres proposés, dont les coordonnées géographiques sont connues et qui sont situés dans le bassin versant du Fleuve Niger, montre que 116 d'entre eux disposent d'une coupe lithologique et technique (points colorés bleus et verts dans Figure 3), mais seulement 96 correspondent au critère de capter un seul aquifère. Parmi ces derniers, 16 ont déjà été l'objet d'un suivi par les états membres avant l'intervention du projet.

Depuis 2017 le projet a renforcé le suivi dans les zones pilotes avec 30 forages dont les chroniques piézométriques sont disponibles (Figure 3).

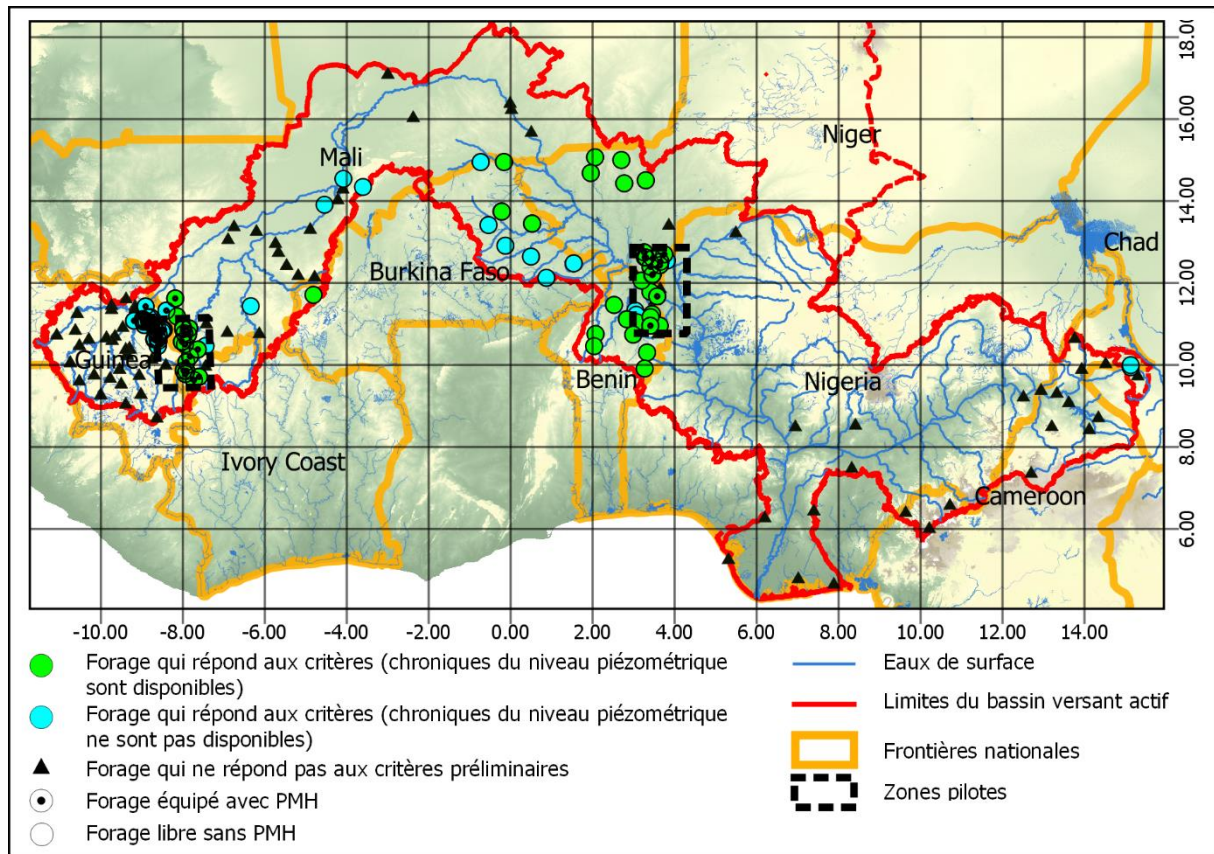


Figure 3: Forages proposées par les états membres pour le réseau de suivi régional (forages qui correspondent aux cinq critères préliminaires de sélection)

Leçons apprises :

- Les pays qui disposent d'un réseau de suivi étatique dans le bassin du fleuve Niger sont le Mali, le Burkina Faso, le Bénin, le Niger et le Nigeria. Les problèmes généraux des réseaux étatiques sont les suivants :
 - Pour raison de moyens financiers insuffisantes et à cause de la situation sécuritaire instable dans quelques régions du bassin, les piézomètres ne sont pas visités régulièrement
 - Les coupes lithologiques et techniques ne sont pas disponibles pour la majorité des forages suivis
- Les réseaux nationaux ne sont pas orientés vers le besoin d'informations pour répondre à des problèmes spécifiques de la gestion des eaux souterraines à l'échelle du bassin du Fleuve Niger ;
- Les systèmes nationaux de collecte, de traitement, de transmission et de stockage régulière des données sont lacunaires et ne représentent pas une base suffisante pour un l'établissement d'un tel système à l'échelle du bassin du Fleuve Niger.

Recommandations :

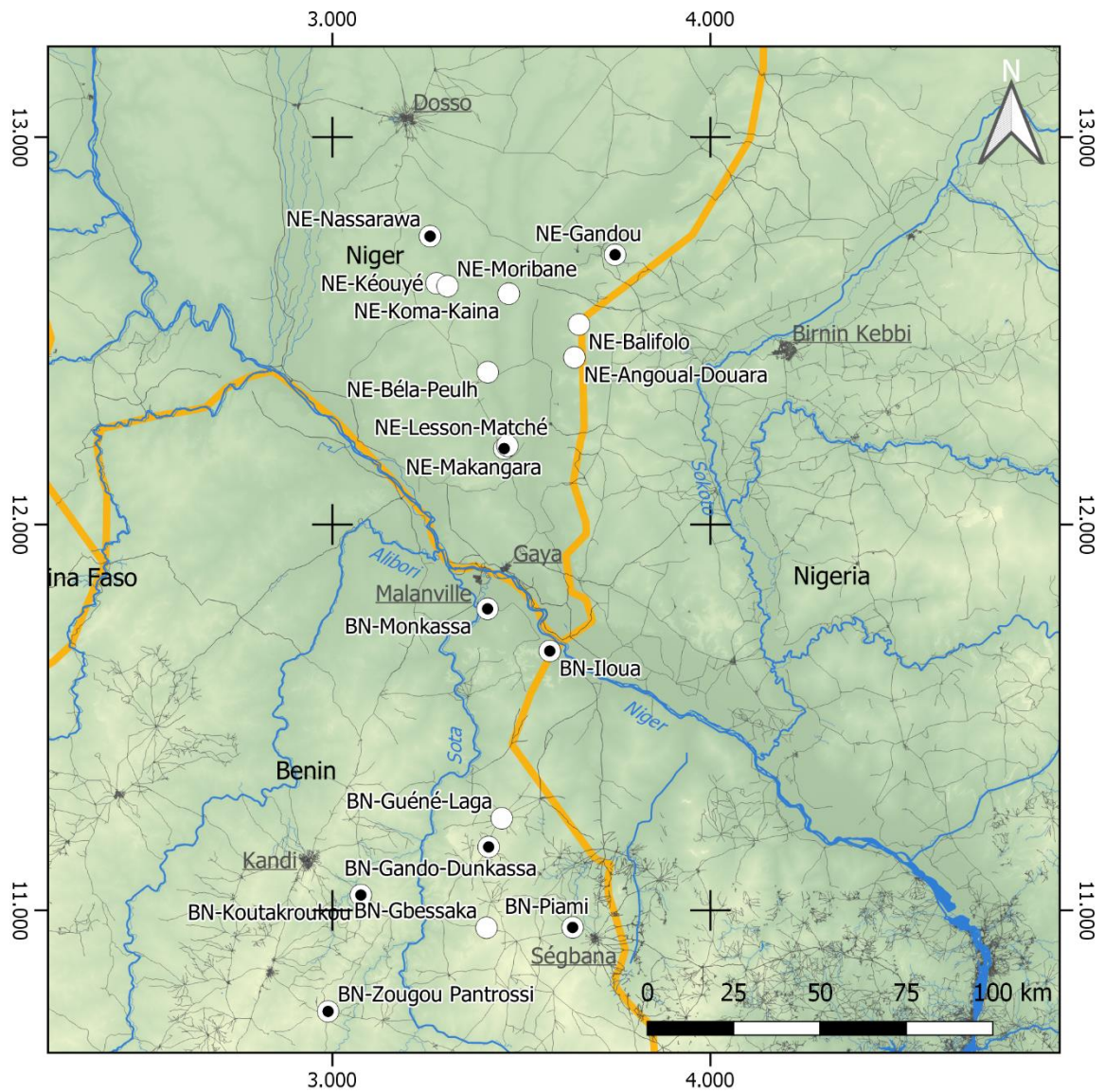
- *L'identification des usagers, de leur besoin d'informations et la localisation des problèmes liés à la ressource des eaux souterraines reste une étape à réaliser pour la plupart des réseaux nationaux ;*
- *Les systèmes nationaux de collecte, de traitement, de transmission et de stockage régulière des données doivent être renforcés afin de créer une base suffisante pour l'établissement d'un tel système à l'échelle du bassin du Fleuve Niger.*

2.2 Réseau de suivi dans les zones pilotes

Pendant sa deuxième phase, le projet AGES a soutenu l'ABN et les états membres à renforcer les réseaux de suivi des eaux souterraines nationaux dans deux régions transfrontalières du bassin. La zone pilote 1 est située autour du point d'intersection des frontières entre le Niger, le Bénin et le Nigéria. La zone pilote 2 s'étend dans la zone frontalière du Mali, de la Guinée et de la Côte d'Ivoire. Dix-huit (18) forages dans la zone pilote 1 ont été suivis avec des enregistreurs automatiques et avec un échantillonnage hydrochimique et isotopique semestriel (Figure 4). Dans la zone pilote 2, dix-sept (17) forages ont été équipés vers la fin de la phase du projet avec des enregistreurs automatiques (Figure 5).

Pendant les campagnes de terrain dans les zones pilotes, les SFN ont été formés sur l'échantillonnage des eaux souterraines et sur l'installation, la programmation et la lecture des enregistreurs automatiques. Dans ce cadre, un mode opératoire technique pour les campagnes de terrain a été élaboré (Annexe 4/modes opératoires).

Les résultats du suivi sont résumés dans le rapport technique N° 7 « Rapport de suivi des eaux souterraines dans le bassin du fleuve Niger » (Annexe 4/Rapports Techniques).



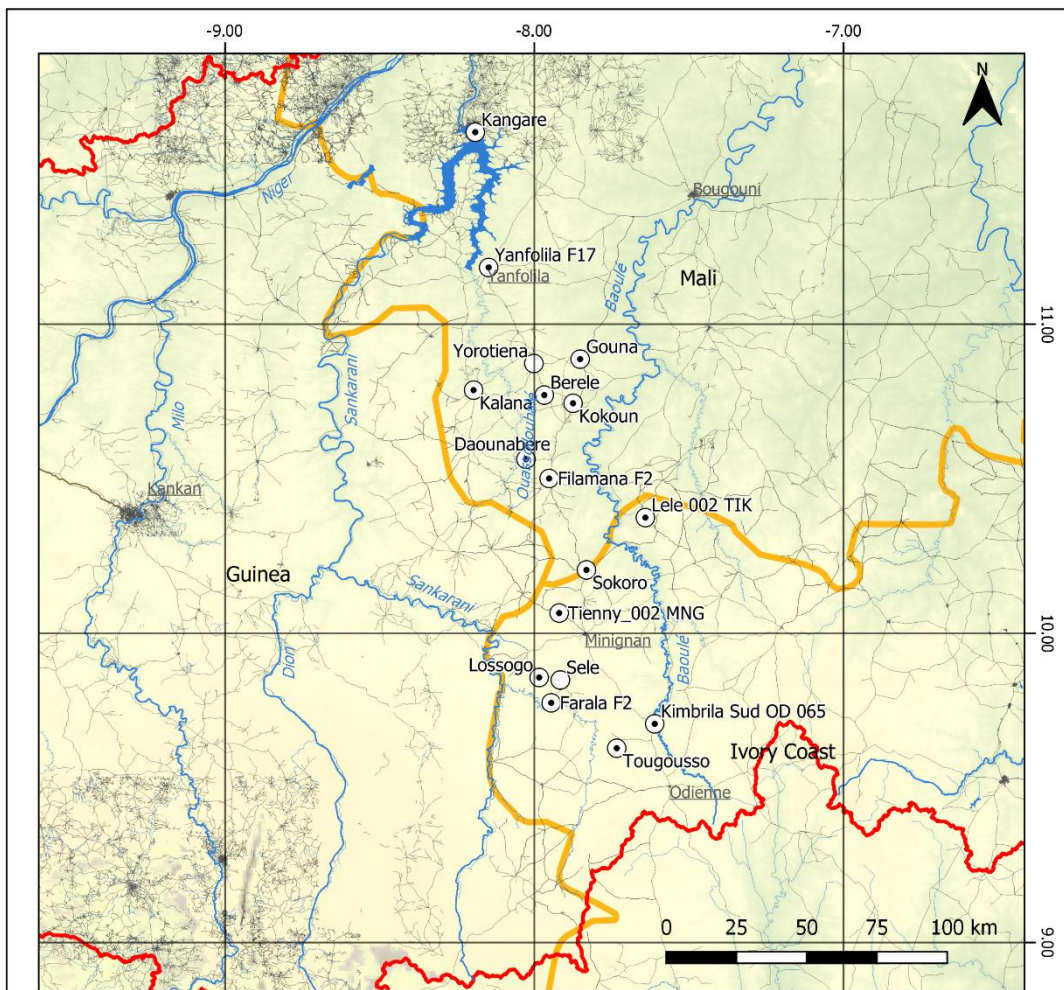
Instrumentation des forages suivis par le projet AGES:

- CTD-Diver
- CTD-Diver + BARO-Diver

Topographie:

- ▭ Frontières nationales
- Eaux de surface
- Réseau routier

Figure 4: Localisation des forages suivis dans la zone pilote 1



Réseau de suivi - Zone Pilote 2

Légende

Equipement:

- CTD-Diver
- CTD-Diver + BARO-Diver

Topographie:

- ▭ Frontières nationales
- Eaux de surface
- Réseau routier
- Limites du bassin versant du Fleuve Niger

Figure 5: Localisation des forages suivis dans la zone pilote 2

Leçons apprises :

- Face au manque de piézomètres étatiques dans les zones pilotes, des forages d'exploitation avec des pompes à motricité humaine ont été intégrés dans le réseau de suivi afin d'atteindre une densité de points de mesure qui permet des analyses hydrogéologiques à l'échelle du système aquifère ;
- Seulement six (6) forages du réseau de suivi dans les zones pilotes représentent des véritables piézomètres, dont cinq (5) au Bénin et un (1) au Mali ;
- L'équipement de forages en exploitation met en danger les instruments et la continuité des mesures, car les pompes à motricité humaine sont régulièrement enlevées pour des réparations. En outre, les forages productifs risquent d'être équipés avec des pompes électriques et de ce fait ne sont pas aptes pour le suivi ;
- La recherche d'informations de base (coordonnées, coupes techniques et lithologiques, zones de risques pour les ressources en eau souterraines) prend beaucoup de temps et nécessite souvent des visites aux directions hydrauliques au niveau des régions, car les données ne sont pas en totalité centralisées dans les directions nationales. Les données récupérées sont souvent mal structurées et contiennent des erreurs de saisie, ce qui empêche un travail efficace sur le terrain et dans la planification des réseaux de suivi.

Recommandations :

Les activités dans les zones pilotes ont abouti à la formulation des recommandations suivantes :

- Pour l'établissement d'un réseau de suivi durable dans les zones pilotes la **construction de véritables piézomètres**, uniquement dédiés au suivi des eaux souterraines, est indispensable ;
- Afin de mettre en œuvre une **stratégie de protection des eaux souterraines** dans la zone pilote 1, les sources et les voies de contamination en nitrate doivent être investiguées face aux concentrations élevées dans certains ouvrages. Une action à court terme est fortement recommandée pour établir des approvisionnements alternatifs en eau potable dans les villages concernés ;
- Dans la zone pilote 1, une partie des eaux souterraines profondes présente des concentrations élevées en chlorure de sodium qui rendent les eaux inutilisables pour l'irrigation. En plus, ces eaux sont affectées par des concentrations en fluor qui dépassent les valeurs guides pour l'eau potable de l'OMS. Les activités d'irrigation dans les zones concernées doivent être accompagnées d'une **surveillance de l'eau d'irrigation**, en se focalisant sur les concentrations en NaCl. Dans la région du Dallol Foga, les forages d'alimentation en eau potable et d'irrigation devraient être orientés vers les aquifères moins profonds. En plus, **l'extraction des eaux souterraines devrait être surveillée et limitée** afin d'empêcher la mobilisation d'eaux souterraines à concentrations élevées en NaCl et en fluor.

Tableau 2: Documentation des activités sur les réseaux de suivi dans les zones pilotes

Date		Mission/Produit	Lieu	Participants	Rapport	Annexe
Début	Fin					
21.02.2017	05.03.2017	Recherche de données de base	Nigeria Sokoto and Kebbi States, Abuja	1 x BGR/AGES 1 x Consultant	201702_AGES_Rapport Mission_ZP1_Abuja_Recherche de données de base_Nigeria	2_Rapports Missions/ Zones Pilotes
17.07.2017	25.07.2017	Installation des enregistreurs et échantillonnage	Niger Région Dosso (zone pilote 1)	1 x BGR/AGES 1 x AGES 1 x OBN 2 x SFN	201707_AGES_Rapport Mission_ZP1_Niger	
27.11.2017	06.12.2017	Installation des enregistreurs et échantillonnage	Bénin Région Kandi (zone pilote 1)	1 x BGR/AGES 1 x AGES 1 x OBN 2 x SFN	201712_AGES_Rapport Mission_ZP1_Bénin	
18.02.2018	25.02.2018	Recherche de données de base	Nigeria Kebbi and Sokoto States	1 x AGES 1 x SFN 1 x Consultant	022018_AGES_Rapport Mission_ZP1_Kebbi et Sokoto_Recherche de données de base Nigeria	
05.03.2018	11.03.2018	Lecture des enregistreurs et échantillonnage	Niger Région Dosso (zone pilote 1)	1 x BGR/AGES 2 x AGES 1 x OBN 2 x SFN	201803_AGES_Rapport Mission_ZP1_Niger	
30.04.2018	06.05.2018	Lecture des enregistreurs et échantillonnage	Bénin Région Kandi (zone pilote 1)	1 x BGR/AGES 2 x AGES 1 x OBN 2 x SFN	201805_AGES_Rapport Mission_ZP1_Bénin	
25.10.2018	01.11.2018	Installation des enregistreurs et échantillonnage	Mali Région Sikasso (zone pilote 2)	1 x BGR/AGES 1 x AGES 1 x OBN 2 x SFN	201810_AGES_Rapport Mission_ZP2_Mali	
05.12.2018	11.12.2018	Lecture des enregistreurs et échantillonnage	Bénin Région Kandi (zone pilote 1)	2 x AGES 1 x OBN 2 x SFN	201812_AGES_Rapport Mission_ZP1_Bénin	
19.12.2018	26.12.2018	Lecture des enregistreurs et échantillonnage	Niger Région Dosso (zone pilote 1)	2 x AGES 1 x OBN 2 x SFN	201812_AGES_Rapport Mission_ZP1_Niger	
07.01.2019	11.01.2019	Recherche de données de base	Mali Région Sikasso (zone pilote 2)	1 x AGES 2 x SFN	201901_AGES_Rapport Mission_ZP2_Recherche de données de base_Mali	
28.02.2019	09.03.2019	Installation des enregistreurs et échantillonnage	Côte d'Ivoire (Région Odienné) (zone pilote 2)	2 x AGES 1 x OBN 3 x SFN	201903_AGES_Rapport Mission_ZP2_Côte d'Ivoire	
20.06.2019	28.06.2019	Lecture des enregistreurs et échantillonnage	Bénin Région Kandi (zone pilote 1)	2 x AGES 1 x OBN 2 x SFN	201906_AGES_Rapport Mission_ZP1_Bénin	
09.07.2019	16.07.2019	Lecture des enregistreurs et échantillonnage	Niger Région Dosso (zone pilote 1)	2 x AGES 1 x OBN 2 x SFN	201907_AGES_Rapport Mission_ZP1_Niger	
30.07.2019	11.08.2019	Installation des enregistreurs et échantillonnage	Mali Région Sikasso (zone pilote 2)	2 x AGES 1 x OBN 2 x SFN	201908_AGES_Rapport Mission_ZP2_Mali	
09.2019		Rapport de suivi des eaux souterraines dans le Bassin du Fleuve Niger	-	-	Rapport technique N°7 « Rapport de suivi des eaux souterraines dans le Bassin du Fleuve Niger »	

Recommandations :

Les activités sur le réseau de suivi à Niamey ont abouti à la formulation des recommandations suivantes:

- Les autorités en charge du suivi de la qualité des eaux de consommation humaine doivent **identifier les sources de pollution** qui menacent les nappes d'eau de Niamey et trouver un mécanisme d'atténuation de ces pollutions afin de préserver la santé de la population. Les ouvrages où des composés polluants ont été identifiés (azotés, métaux lourds et autres) à des concentrations au-dessus des normes admissibles (OMS) doivent être **systématiquement fermés**. Afin d'améliorer l'hygiène dans l'usage de l'eau, il est nécessaire de sensibiliser les populations de la zone de Niamey sur les bonnes pratiques dans la gestion des déchets et promouvoir la définition des zones de protection des eaux souterraines autour des ouvrages d'alimentation en eau potable ;
- Mettre en place un **système de suivi de qualité des eaux souterraines** autour des zones d'activités sensibles (industries, décharges, zones d'activités agricoles utilisant les engrais et pesticides, ...) afin de surveiller l'évolution qualitative des nappes et prévenir les risques de pollution généralisée. Cette disposition permettra d'agir efficacement dans la gestion des risques pollution ;
- Mettre en place un **réseau de collecte, d'évacuation et de traitement des eaux usées**. Ce dispositif permet d'instaurer des mesures préventives sur le schéma de réalisation des fosses septiques dans les différents ménages. La définition des zones pilotes pour ces réseaux d'évacuation et de collecte des eaux usées pourrait constituer une première étape vers un système unique et uniformisé pour la gestion des eaux usées de la ville.

Tableau 3: Documentation des activités sur le réseau de suivi à Niamey

Date	Activité	Lieu	Participants	Rapport/Document	Annexe
11.2016	Lecture des enregistreurs et mesure des paramètres lieu	Niamey	AGES/ABN/DRH	201611_Rapport Mission_Niamey_Niger	2_Rapports Missions/Niamey
02.2017	Lecture des enregistreurs et mesure des paramètres lieu	Niamey	AGES/ABN/DRH	201702_Rapport Mission_Niamey_Niger	
04.2017	Lecture des enregistreurs et échantillonnage	Niamey	AGES/ABN/DRH	-	
07.2017	Lecture des enregistreurs	Niamey	AGES/ABN/DRH	-	
02.2018	Lecture des enregistreurs et échantillonnage	Niamey	AGES/ABN/DRH	-	
01.2019	Lecture des enregistreurs et échantillonnage	Niamey	AGES/ABN/DRH	201901_Rapport Mission_Niamey_Niger	
2012-2017 (AGES Phase 1 et 2)	Résumé des activités et des résultats entre 2012 et 2017	Niamey	-	Rapport technique N°6 « Caractérisation physicochimique et piézométrie des aquifères de Niamey »	4_Publications et Produits

2.4 Réseau des stations météorologiques

La gestion durable des eaux souterraines vise à assurer l'équilibre entre l'extraction des eaux souterraines et leur recharge. Les variations saisonnières du niveau des eaux souterraines enregistrées en combinaison avec des données sur l'extraction et les paramètres météorologiques, on peut estimer la **recharge des eaux souterraines**.

En juin 2019, le projet, en collaboration avec la Direction Générale de l'Hydraulique et de l'Assainissement (DGH/A) du Niger et la Direction Générale de l'Eau (DGE) du Bénin, a installé des stations météorologiques sur **quatre sites de suivi des eaux souterraines** : Piami, Zougou-Pantrossi et Guéné-Laga au Bénin ainsi que Kéouyé au Niger. Les quatre sites de suivi captent l'aquifère moins profond qui reçoit une recharge directe des précipitations.

Les stations font partie du **Trans-African HydroMeteorological Observatory (TAHMO, <https://tahmo.org/>)**, qui a mis en place un réseau de stations météorologiques en Afrique. TAHMO fournit le **ATMOS41 Sensor** en combinaison avec le **ZL6 Advanced Cloud Data Logger** (Meter Group). Pour des raisons de sécurité, les stations météorologiques n'ont pas été installées à côté des forages de suivi mais dans les cours des écoles à proximité (150 – 1000 m); une clôture métallique les protégeant contre les actes de vandalisme (voir <https://school2school.net/>).

Leçons apprises :

- *Les stations météorologiques TAHMO sont faciles à installer. L'enregistreur de données et les capteurs prêts à l'emploi permettent une installation simple et rapide. Elles constituent un moyen rentable de générer des données météorologiques locales ;*
- *La forte demande de données météorologiques se traduit par les premières demandes de données par autres projets dans un délai d'un mois après l'installation.*

Recommandations :

- *Les stations météorologiques TAHMO sont utilisées à titre d'essai pour générer des données locales de précipitations. Après une période d'évaluation d'un an, des recommandations pourraient être formulées.*

Tableau 4: Liste des stations météorologiques installées par le projet AGES

Station météorologique										Piézomètre		
École	Arrondissement	Commune	Département	Pays	Date	Longitude [DD]	Latitude [DD]	Altitude [m]	Signal	Piézomètre	Date	Distance [m]
EPP Guéné-Laga	Lougou	Segbana	Alibori	Benin	18.06.2019	3.4495°	11.2393°	274	pas de réseaux	PZ/AL7	06.06.2009	~ 500 m
EPP Piami	Segbana	Segbana	Alibori	Benin	19.06.2019	3,6362°	10.9566°	251	71% - 81%	PZ/AL8	27.05.2008	~ 250 m
Kéouyé / Tchaouyé			Dosso	Niger	25.06.2019	3,2761°	12.6242°	213	61% - 71%	331636	26.10.1998	~ 250 m
EPP Zougou Pantrossi	Zougou Pantrossi	Gogonou	Alibori	Benin	17.06.2019	2.9801°	10.7357°	316	71 - 81%	PZ9/AL1	16.04.2010	~ 1 km

EPP Guéné-Laga

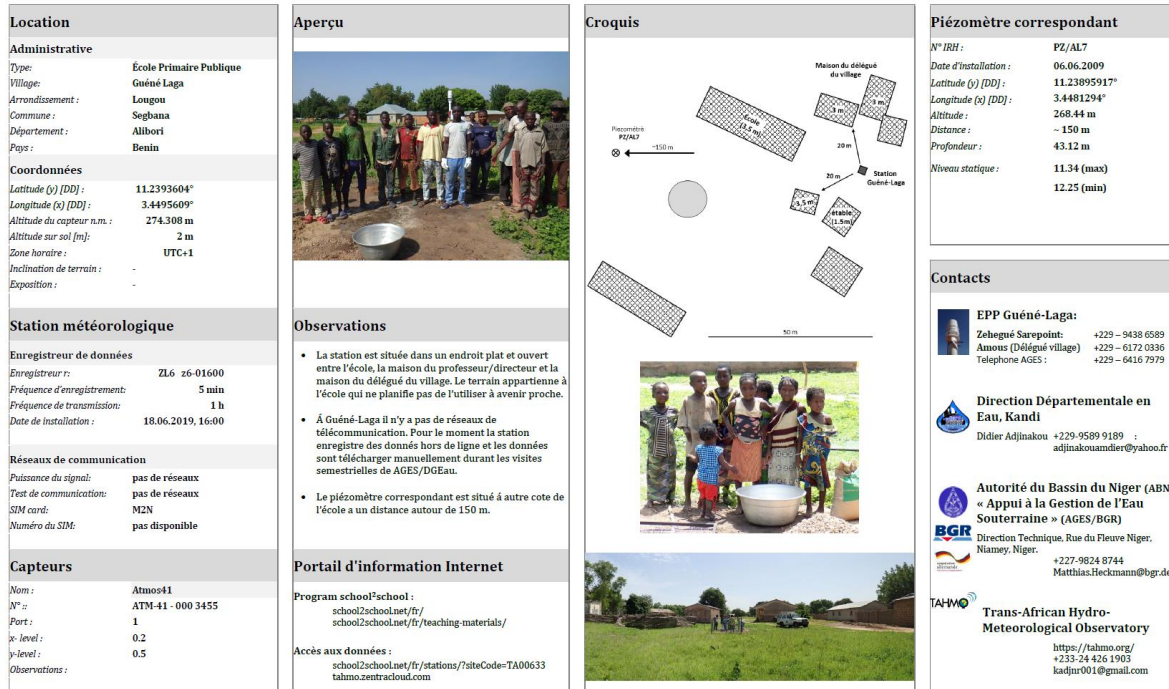


Figure 7: Fiche de la station météorologique installée à l'école primaire publique Guéné-Laga.

2.5 Base de données pour le suivi des eaux souterraines dans le bassin du Fleuve Niger

Les données collectées sur les réseaux de suivi dans les zones pilotes sont traitées et stockées dans une base de données au niveau du projet AGES avec le logiciel GeODin. À long terme, les données de tous les forages du réseau de suivi régional vont être intégrées dans ce système de stockage. La base de données contient les coordonnées des forages, les coupes techniques et lithologiques des forages, les résultats des analyses chimiques et isotopiques ainsi que les données des enregistreurs automatiques. Tous ces informations sont résumées d'une façon automatisée sur des fiches d'identité des forages (Figure 8). Un premier atelier de formation sur la gestion et la manipulation de la base de données a été réalisé le 11.02.2019 pour les agents de l'ABN.

La base de données peut être manipulée qu'avec le logiciel GeODin qui est disponible au niveau du projet AGES. Jusqu'à présent l'ABN n'a pas encore été équipée avec une licence du logiciel. Actuellement la base de données peut être accédée avec le logiciel gratuit « GeODin Shuttle » qui est disponible sur le site web suivant : https://www.geodin.com/de/downloads/geodin_programs.html.

Un extrait de la base de données (Version : 20190925_1729 RÉSEAU DE SUIVI DES EAUX SOUTERRAINES_BASSIN DU NIGER) et la documentation des changements dans la base de données sont disponibles dans l'annexe 5.

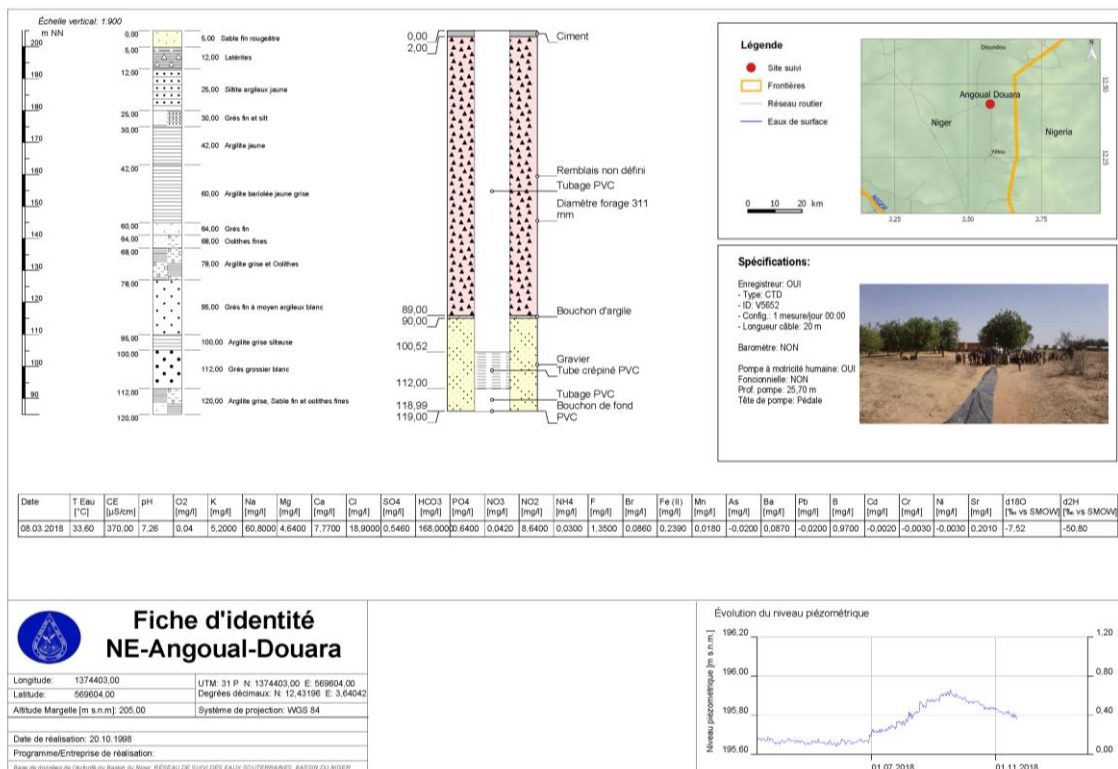


Figure 8: Exemple d'une fiche d'identité de forage dans la base de données AGES/ABN

Leçons apprises :

- Au cours des ateliers techniques et des formations plusieurs SFN ont formulé le besoin d'implémenter le système de stockage au niveau des directions nationales et de réaliser des formations sur le logiciel GeODin. Les logiciels disponibles aux ministères ne permettent pas le stockage combiné de toutes les informations collectées sur le réseau de suivi des eaux souterraines (coupes techniques et lithologiques, évolution du niveau piézométrique, hydrochimie, isotopes, essais de pompage, météorologie, etc.).

Recommandations :

- À long terme l'efficacité de l'échange des données pourrait être augmentée en établissant le même système de stockage de données à l'ABN et au ministères des états membres. À court terme les SFN peuvent être formées sur l'utilisation du logiciel GeODin pour pouvoir gérer les données et pour visualiser les résultats d'analyses à partir des extraits de la base de données du projet AGES/ABN.

Tableau 5: Liste des formations sur la gestion et la manipulation de la base de données.

Date	Activité	Lieu	Participants	Document	Annexe
11.02.2019	Formation sur la gestion et la manipulation de la base de données	Niamey	AGES/ABN	201902_Présentation_Formation_Base de données_ABN	3_Ateliers Techniques/Ateliers de Formation

3 Axe de Travail II – Outils de gestion des eaux souterraines

Les outils de gestion régionale des eaux souterraines permettent aux institutions nationales et aux parties prenantes d'évaluer la quantité et la qualité des ressources en eau souterraine et d'élaborer des stratégies adéquates de gestion des eaux souterraines. L'élaboration des outils comme p.ex. des cartes thématiques et des bases de données nécessite des données géologiques et hydrogéologiques adéquates et fiables issues de la documentation des paramètres techniques et hydrogéologiques des forages/puits qui ne sont pas encore facilement disponibles auprès des États membres. En vue d'élaborer des cartes thématiques et une base de données hydrogéologiques pour les zones pilotes, les activités du projet AGES ont consisté à collecter, harmoniser et vérifier la qualité des données et des cartes hydrogéologiques existantes.

Leçons apprises :

- *Le développement des cartes et des analyses a été mené par le projet AGES. La participation des homologues nationaux (SFN, homologues régionaux) - et donc le transfert de connaissances – était limité en raison des priorités du projet et de la charge du travail des partenaires ;*
- *Une expertise s'avère nécessaire pour mener des analyses hydrogéologiques solides et fiables.*

Recommandations :

- *Associer des professionnels nationaux dans la préparation des outils en mettant en place un **groupe de travail**. Les participants des principales directions nationales et/ou de leurs représentations au niveau local dans les zones pilotes doivent être en mesure de consacrer suffisamment de temps à la formation et aux tâches qui leur ont été assignées en matière d'hydrogéologie ;*
- *Mettre en place un **Forum Technique** pour renforcer les échanges entre les experts nationaux des SFN et ceux des ministères, des universités et d'autres parties prenantes en vue d'établir un dialogue international sur les questions se rapportant à la gestion transfrontalière des eaux souterraines ;*
- *Renforcer la **collaboration entre l'ABN et les ministères avec les universités des États membres** afin de définir les priorités stratégiques et politiques régionales à travers l'utilisation des données des ministères et de l'expertise méthodologique des universitaires.*

3.1 Mise en valeur de données hydrogéologiques : Collecte, numérisation, harmonisation et control de qualité

Dans tous les États membres, des **données sur les eaux souterraines sont disponibles**. Cependant, elles sont de qualité et de quantité hétérogènes. Les rapports des études de reconnaissance, les rapports des projets de développement sur l'installation des forages (Fonds Européen de Développement, Nations Unies, etc.), ainsi que les thèses universitaires constituent le principal pilier de la collecte des données par AGES. Le second pilier est une collecte de données des forages à l'échelle du bassin sur la base des informations fournies par les ministères nationaux en charge lors de la phase I du projet (environ 50.000 jeux de données de qualité et de fiabilité très variées). Dans la mesure du possible, les informations contenues dans les rapports originaux ont été comparées - au cas par cas – avec celles des

bases de données nationales. La données historiques issues des récents suivis (les stations de suivi des États membres, de l'AIEA, d'AGES) reste faible (~700), ce qui ne permet pas de bien appréhender l'évolution temporelle des ressources en eau souterraine.

En ce qui concerne les zones pilotes, AGES a procédé du scannage, au géo-référencement, à la numérisation, à l'harmonisation et au contrôle de la qualité d'une partie importante des données disponibles. Pour une description détaillée du processus d'harmonisation des cartes géologiques cf. au **Rapport Technique N°5** (Annexe 4).

Leçons apprises :

- *Des données et des outils de gestion des eaux souterraines (cartes) existent dans tous les États membres, même si dispersés ;*
- *Dans les ministères chargés de la gestion des eaux souterraines le manque de moyens et de main d'œuvre qualifié cause un stockage de données incomplet ou inapproprié ce qui mène à l'absence d'inventaires et de bases de données nationaux fiables ;*
- *L'harmonisation et le contrôle de la qualité des données brutes sont indispensables mais demandent beaucoup de temps, ce qui met en danger la réalisation de produits fiables dans le temps limité du projet.*

Recommandations :

- *Des efforts s'avèrent nécessaires au niveau national afin de rassembler, harmoniser, analyser et rendre disponibles les données et les outils de gestion d'eau souterraine existants pour générer des données fiables. Le fait de se focaliser sur les projets externes et temporaires met en danger la continuité de la gestion des données au niveau national;*
- *La collecte, la valorisation et la diffusion de données de base est un devoir interinstitutionnel et national.*

3.2 Analyses et cartes

Les cartes donnent un aperçu spatial de la distribution de qualité et de quantité des eaux souterraines. Elles sont d'importants outils de gestion permettant de transmettre les informations et les recommandations hydrogéologiques aux experts et aux acteurs publics, constituant ainsi la base des recommandations à l'endroit des décideurs.

Le projet a élaboré quatre cartes thématiques pour la zone pilote 1. En plus, il existe un certain nombre de cartes sur le réseau de suivi à l'échelle du bassin, dans les zones pilotes et à Niamey (chapitre 2).

3.2.1 Carte géologique de la région frontalière Bénin, Niger, and Nigeria

Les cartes géologiques et lithologiques de la région transfrontalière du Bénin, du Niger et du Nigeria (zone pilote 1) fournissent des données géologiques de base pour des évaluations environnementales, des analyses hydrogéologiques et la planification régionale. Les huit (8) cartes géologiques sélectionnées (critères de sélection : échelle, couverture, degré de détail) ont été numérisées et combinées dans le système d'informations géographique QGIS. Dans une première étape, les légendes chronostratigraphiques et lithologiques divergentes des cartes originales ont été corrélées et le **cadre stratigraphique a été résumé dans une légende générale**. Dans une deuxième étape, les informations spatiales sur l'étendue des unités géologiques ont été géométriquement ajustées et thématiquement harmonisées. Une première version de légende géologique et lithologique unifiée a été

présentée à l'Atelier Technique 2 (15 - 17 mai 2017 à Niamey) et discutée avec des représentants de l'ABN et des États membres. La carte montre les principales **unités stratigraphiques et lithologiques** du bassin des Iullemeden sud au Niger, du bassin de Sokoto au Nigéria et du bassin de Kandi au Bénin.

L'harmonisation des cartes, a soulevé des questions quant à la délimitation exacte des unités géologiques et a fait ressortir les zones où une nouvelle cartographie géologique s'avèrerait nécessaire. En outre, elle a montré les limites de l'harmonisation de jeux de données établis à travers des méthodologies différentes (voir la cartographie des linéaments).

Alors que les cartes bidimensionnelles sont utiles pour un grand nombre d'analyses, les évaluations hydrogéologiques nécessitent des informations tridimensionnelles. Une première étape a consisté à la révision partielle des coupes transversales présentées sur la carte. Partant des données stratigraphiques des forages, il a été tenté de créer un modèle géologique tridimensionnel conceptuel. Cependant, la piètre qualité des coupes de forages n'a pas permis d'établir un modèle cohérent. Une nouvelle tentative nécessitera un contrôle approfondi de la qualité des coupes de forage et une validation indépendante à l'aide de données géochimiques et isotopiques.

Leçons apprises :

- *Les démarcations entre les unités géologiques, en particulier là où il y a une transition du Continental Intercalaire/Continental Hamadien au Continental Terminal (sud du Niger/Bénin, Complexe de base du CT) et les unités intercalées du Crétacé Supérieur au Paléocène (Nigéria) sont ambiguës ;*
- *Les descriptions géologiques inadéquates fournies à la fois par les légendes cartographiques et les coupes de forage ne permettent pas d'identifier et de délimiter les unités du Continental Terminal et du Continental Hamadien ;*
- ***La mauvaise qualité des coupes de forage en terme de description lithologique et stratigraphique empêche des analyses hydrogéologiques fiables.***

Recommandations :

- *Redoubler d'efforts de travail de terrain pour cartographier les limites des unités géologiques en surface (cartographie) et dans le sous-sol (forages) ;*
- *Pour la définition des aquifères en profondeur, des informations tridimensionnelles s'avèrent indispensables, mais la documentation technique et géologique disponible des forages est médiocre. Actuellement, les investisseurs privés et les projets de développement continuent à réaliser des forages. Cependant, la documentation technique et géologique est négligée. Des efforts doivent être faits pour s'assurer que les nouveaux forages sont documentés conformément à l'état de l'art.*

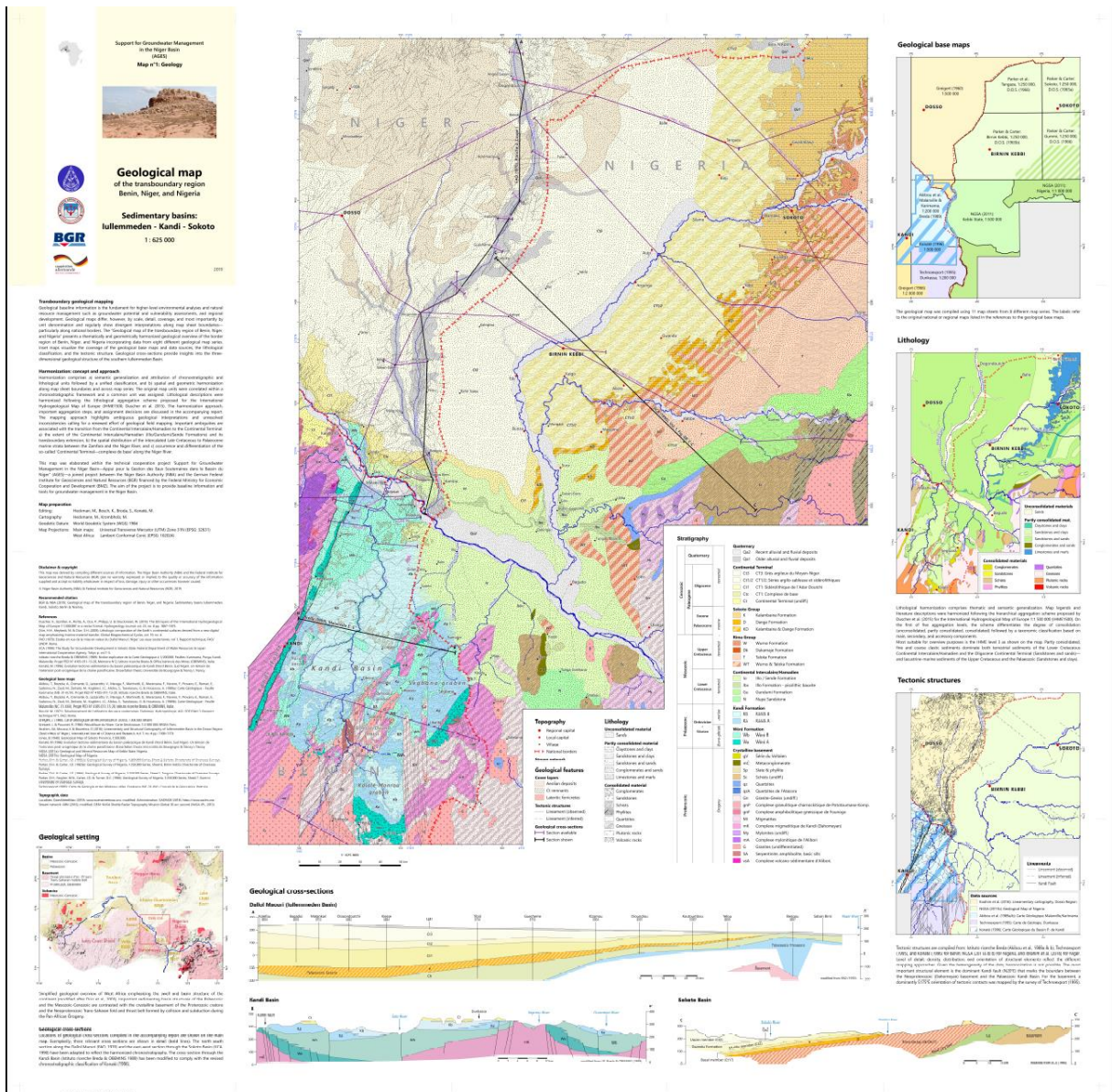


Figure 9: Carte géologique de la zone frontalière du Bénin, du Niger et du Nigeria (zone pilote 1)

3.2.2 Carte des eaux de surface: Probabilité d'inondation et potentiel de recharge

Les inondations peuvent représenter un danger majeur pour l'agriculture et les zones urbaines. D'un point de vue hydrogéologique, la durée et l'étendue des surfaces temporellement inondées (appelées *mares*) fait ressortir des zones d'infiltration indirecte et accentuée.

S'appuyant sur la série chronologique de 30 ans d'images satellites de Landsat (1984 - 2016), le projet a produit deux cartes : **la fréquence des inondations (récurrence) et la saisonnalité**. La fréquence, ou la probabilité des inondations, indique la réitération à laquelle une zone a été inondée pendant la période d'étude. La saisonnalité indique le nombre moyen des mois au cours desquels une zone a été inondée dans l'année et permet de différencier les cours d'eau permanents des cours d'eau saisonniers.

La détection de l'eau sur les images Landsat était basée sur le Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI). L'analyse a permis une première évaluation spatialement exhaustive et à haute résolution (30 m) de la dynamique des crues au Niger Moyen entre Say (Niger) et le barrage de Kainji (Nigeria). La série de cartes mensuelles reflète particulièrement bien les variations saisonnières de l'étendue des inondations dans la vallée du Niger avec des décalages temporels pour ses affluents, par exemple le fleuve Sokoto. Les mares temporelles et les inondations soudaines de courte durée après la survenue de tempêtes n'ont pas pu être détectées de manière fiable en raison de la faible résolution temporelle de moins de cinq scènes par an pendant la saison des pluies. La délimitation à haute résolution des zones sujettes à l'inondation en milieu urbain et agricole constitue un important instrument de gestion en matière de prévention des catastrophes, de planification des infrastructures et d'agriculture.

Leçons apprises :

- La résolution temporelle des images Landsat n'est pas suffisante pour des analyses temporelles d'inondations de courte durée ;
- La différenciation des plans d'eau utilisant le seuillage des indices spectrales est une approche simple pour l'analyse d'inondation à condition d'un nombre substantielle des évènements récurrents. Cependant, l'ajustement du seuillage devienne difficile si appliqué à des zones étendues et inhomogènes ;
- L'application et l'automatisation des séries temporelles satellitaires sont réalisables avec des logiciels gratuits (QGIS) et de connaissances en programmation.

Recommandations :

- Pour la détection et la cartographie des inondations saisonnières et des mares générées par des précipitations de courte durée, il est nécessaire d'analyser les images de radar à synthèse d'ouverture (RSO) avec une haute résolution temporelle.

Recharge d'eau souterraine dans le Sahel semi-aride: tendances spatiales et temporelles

Heckmann M., Rückl M., Broda S., Frei M., Reichling J.
 Institute fédéral allemand des géosciences et des ressources naturelles (BGR), Germany

1 Eau de surface et recharge d'eau souterraine

L'infiltration localisée des eaux de surfaces de mares saisonnières de courte durée est une source importante de recharge dans la région semi-aride du Sahel (Desconnet, 1994; Massuel, 2005; Favreau et al., 2009). Elle est supposée dépasser amplement la contribution d'autres sources de recharge. Dans cette étude, la télédétection est utilisée pour évaluer l'étendue spatiale ainsi que la durée moyenne des mares afin de délimiter les zones ayant un potentiel important pour la recharge. Cette étude servira ensuite de base pour quantifier la recharge. Située dans la région transfrontalière du Bénin, Niger et Nigeria (Fig. 1), la recherche est effectuée dans le cadre d'un projet de coopération technique entre le BGR et l'administration du bassin du Niger (NBA).

2 Détection des étendues d'eau

La détection de l'eau par télédétection s'appuie sur la signature spectrale de l'eau, qui est caractérisée par une forte absorption dans le domaine de l'infrarouge, contrairement au sol ou à la végétation. L'étude utilise l'indice d'eau par différence normalisé modifié (Modified Normalized Difference Water Index, MNDWI, Xu, 2006; McFeters 1996) pour détecter les masses d'eau. Il se sert de l'information de deux bandes spectrales, «verte» et proche infrarouge (SWIR 1), pour différencier entre l'eau et le sol. La normalisation par la somme des deux bandes réduit l'influence des différences d'éclairement et permet ainsi une meilleure comparaison au sein d'une scène et entre différentes scènes.

$$MNDWI = \frac{\text{vert} - SWIR1}{\text{vert} + SWIR1}$$

3 Flux de travail

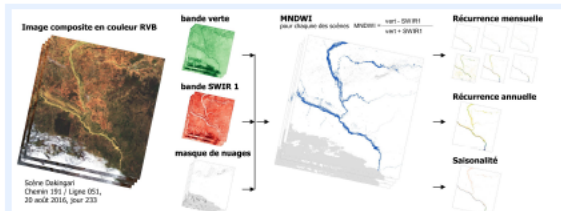


Fig. 2: Le MNDWI est calculé pour chaque scène (entre 261 et 326 scènes par planche pour toute la période d'observations) en se servant des bandes spectrales verte et proche infrarouge (SWIR1). Le couvert nuageux est masqué par le «mask» du USGS. Avec un total de 1756 scènes réparties sur six planches WRS-2, l'étendue et la répartition des eaux de surfaces annuelles et mensuelles, ainsi que leur caractère saisonnier, ont été calculées.



Fig. 1: Zone d'étude et location des planches WRS-2 Landsat

4 Séries temporelles Landsat

Les images satellite utilisées dans cette étude sont les réflectances de surface des capteurs Landsat 4, 5, 7 et 8, acquises entre 1984 et 2016 (téléchargées via le USGS EROS Center - Surface Reflectance Data set (Climate Data Records). Ces scènes sont Level 1, et ont été soumises à une correction du relief ainsi qu'à une correction atmosphérique.



Fig. 3: Temporal availability of Landsat scenes and sensors for tile 192/51

5 Observations

Le nombre total d'observations par pixel est défini par:
 1. La disponibilité spatiale et temporelle des scènes Landsat
 2. Le couvert nuageux
 Le nombre restreint de scènes disponibles pour l'Afrique de l'Ouest ainsi que le couvert nuageux très important durant la saison des pluies (Juin à Septembre) limite fortement le nombre d'observations disponibles pour la région d'intérêt, ce qui influence la détection des étendues d'eau de surface.

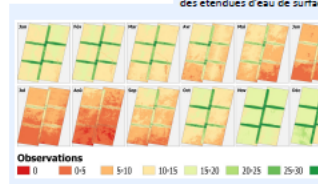


Fig. 5: Distribution mensuelle des observations valides dans la zone d'étude. Cette répartition montre bien le nombre restreint d'observations durant la saison des pluies, qui est pourtant la plus importante quand il s'agit de déterminer l'étendue des eaux de surfaces, y compris dues aux inondations.

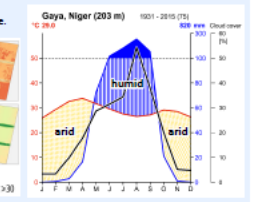


Fig. 4: Diagramme climatique de Gaya, Niger qui montre un climat semi-aride, caractérisé par un modèle unimodal de précipitations (7 mois arides et 5 mois humides). Le couvert nuageux moyen a été calculé à partir des données satellitaires. Data source: GHCN v2 (Precip.), GHCN v3 (Temp.).

6 Monthly water recurrence

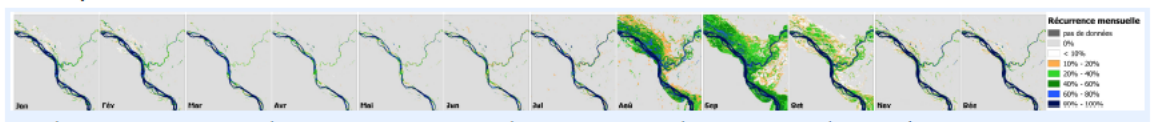


Fig. 6: Réurrence mensuelle des eaux de surfaces à la confluence des fleuves Sokoto et Niger, Nigéria. On peut y observer les premières inondations dues aux précipitations (Août et Septembre, «inondation blanches») ainsi que la persistance du niveau d'eau élevé du fleuve Niger (Août à Mars, «inondation noires»), dû à l'arrivée décalée de l'eau de la saison des pluies des fleuves et cours d'eau affluents amont (Guinée, Côte d'Ivoire, Mali).

7 Réurrence annuelle des eaux de surface

La réurrence des eaux de surface est définie par la variabilité inter-annuelle des eaux de surface entre les années 1984 et 2016. Elle mesure la fréquence de l'occurrence de l'eau par pixel et est exprimée en pourcentage d'années pour la période 1984-2016 pendant laquelle la zone est inondée. La réurrence des eaux de surface est calculée de manière mensuelle (Fig.6) et annuelle (Fig.7)

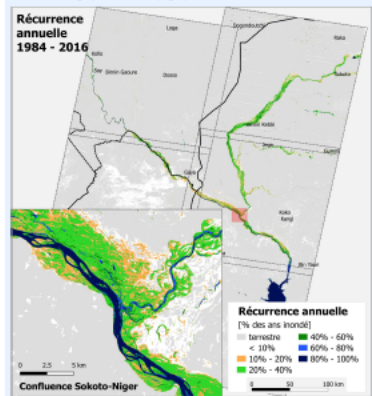


Fig. 7: La réurrence annuelle des eaux de surface comme indicateur des zones sujettes aux inondations et zones de recharge potentielles.

8 Saisonnalité

La saisonnalité décrit la variabilité intra-annuelle de l'étendue des eaux de surface, entre 1984 et 2016. Mesurée par le nombre moyen de mois par an pendant lesquels la zone est inondée, elle permet de distinguer entre les étendues d'eau permanentes et saisonnières. Une saisonnalité inférieure à un mois par an ou une réurrence inférieure à 10% sont à considérer de manière critique, dû au nombre restreint d'observations.

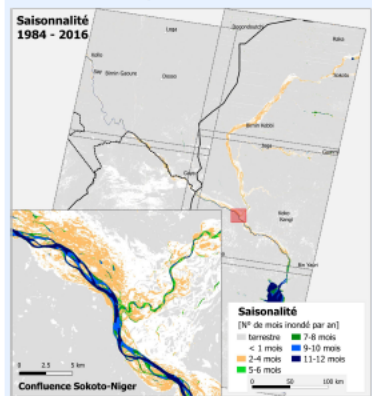


Fig. 8: La saisonnalité comme indicateur de la durée des inondations et des périodes d'activité des zones de recharge potentielles.

9 Conclusions

L'extraction des étendues d'eau de surface sur les séries Landsat permet:
 • une analyse détaillée due à la haute résolution spatiale (30m)
 • une analyse robuste due à la longue période considérée (> 30 ans)
 → la définition de la répartition spatiale et temporelle moyenne de l'étendue minimum des eaux de surfaces

Inconvénients de l'extraction des eaux à partir d'images Landsat restant:
 • une réurrence temporelle faible (> 2 semaines), préviennent l'analyse d'événements pluvieux de courte durée.
 • la basse résolution spatiale limite l'extraction de petites étendues d'eau
 • la forte contenance en eau de plantes ne permet pas la distinction entre la végétation et les eaux de surface

Saisonnalité et réurrence sont deux outils importants pour:

- la gestion des risques et la prévention de inondations
- la planification d'infrastructures
- l'estimation de la recharge

Estimation de la recharge

La classification des zones de recharge potentielles ainsi que la quantité de la recharge peuvent être déterminées par:
 • la fréquence des inondations (réurrence entre 1984 et 2016)
 • le caractère temporel des inondations (saisonnalité)

Remerciements

Cette étude a été menée dans le cadre d'une coopération technique entre l'Institut fédéral allemand des géosciences et des ressources naturelles (BGR), la coopération nigérienne pour la gestion des eaux de surface et des eaux souterraines du bassin du fleuve Niger (Niger Basin Authority, NBA) et le Lac Chad (Lake Chad Basin Commission, LCBC). Cette étude a été financée par le ministère allemand pour la Coopération Economique et le développement (GIZ) (PNC/2013/3462.6 et PNC/2014/2277.4).

References

Desconnet, J. (1994): Typologie et caractérisation hydrologique des systèmes endorhiques en milieu sahélien (Niger)-diapir central de Niamey, Doctorat (thèse), Université de Montpellier II.
 Favreau, G., Copereaux, B., Massuel, S., Labane, M., Bouche, M., Boualis, N. & Lebeu, C. (2009): Land clearing, climate variability and water resources increase in semi-arid southwest Niger: A review, Water Resources Research, vol. 45, W05501, 15 pages.
 Massuel, S. (2005): Evolution récente de la ressource en eau souterraine aux changements climatiques et anthropométriques du sud-ouest Niger, Doctorat (thèse), Université de Niamey.
 McFeters, J. (1996): The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, International Journal of Remote Sensing, vol. 17, no. 7, pp. 1425-1432.
 Xu, H. (2006): Modification of normalized difference water index (MNDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery, International Journal of Remote Sensing, vol. 27, no. 14, pp. 3025-3033.

Figure 10: Probabilité et saisonnalité d'inondation à partir de l'analyse des images satellites Landsat. (Annexe 4).

3.2.3 Carte de la pollution de l'eau souterraine par les nitrates

Hautes teneurs en nitrates et en nitrites dans l'eau potable représentent un risque pour la santé et peuvent causer la **maladie bleue** chez les nourrissons et, à long terme, avoir des **effets thyroïdiens** et possiblement cancérogènes.

La **carte de la pollution de l'eau souterraine par les nitrates** se base sur l'ensemble de 1221 mesures provenant des trois différentes sources principales :

- *Étude Hydrologique de la Zone Sédentaire de la République du Niger* du Fond Européen Développement (F.E.D. ; Boeckh, 1965), (1963-1965)
- Le projet régional de coopération technique de l'*Agence Internationale de l'Énergie Atomique* (IAEA ; Zouari, 2017). Période (2013-2016)
- Données prélevées dans le cadre du présent projet AGES (Période 2013-2018)

Les données disponibles étendent sur une période qui varie entre 1964 à 2018. À exception de la zone de pilote, les données ne représentent pas l'état actuel, mais donnent un aperçu général de la possibilité de l'occurrence de teneurs élevées de nitrate.

Trois différents types de points d'eau ont été différenciés : forages, puits et eau de surface. Les teneurs les plus élevées ont été observées par le projet AGES en 2014/15 dans des puits le long des vallées du fleuve Niger et ses tributaires au Nigéria. Au Niger, dans les vallées du Dallol Maouri et du Dallol Bosso où la nappe phréatique est peu profonde, on observe aussi de concentrations en nitrate élevées. Ces endroits sont retenus comme zones vulnérables à la pollution par des nitrates.

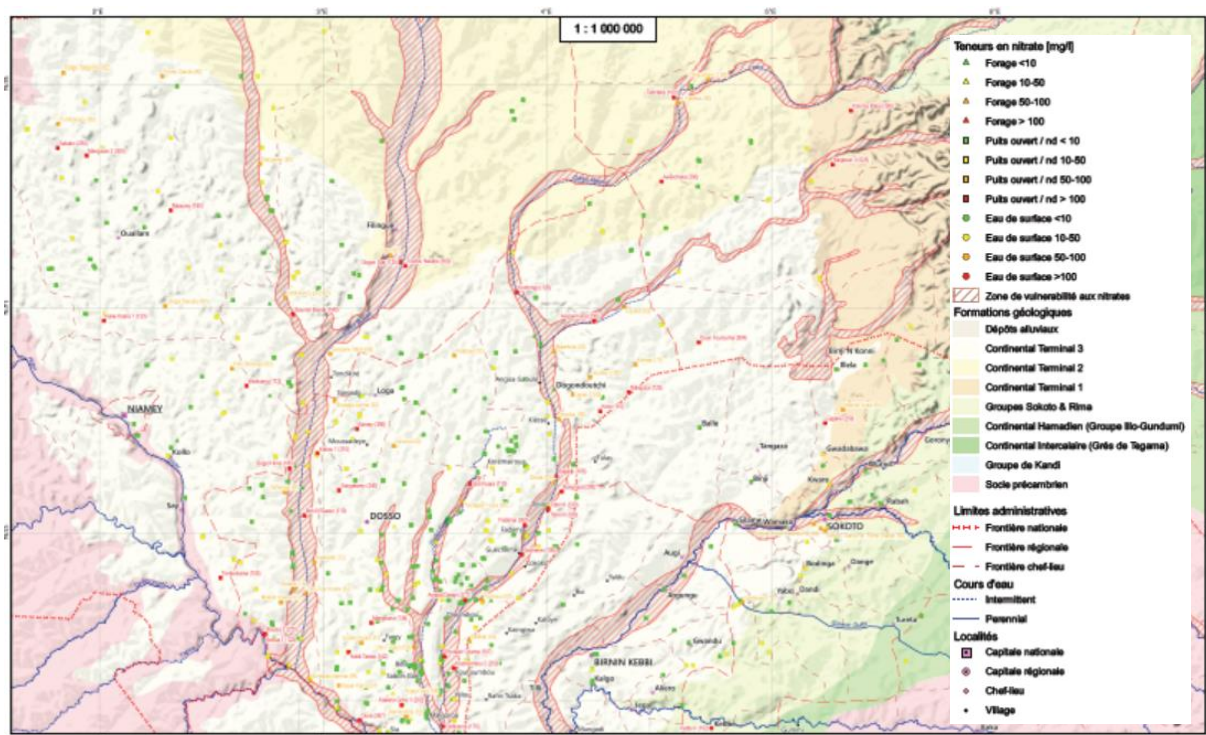


Figure 11: Carte de la pollution de l'eau souterraine par les nitrates

Leçons apprises :

- Le nitrate est une menace locale et probablement lié à a) des pollutions anthropiques directes dans le puits, des infiltrations d'eaux usées provenant de fosses septiques mal construites dans le voisinage ou c) des pollutions directes ou indirectes d'élevage ;
- Les puits ouverts, qui représentent la majorité des ouvrages pour l'alimentation en eau potable, sont mal protégés contre des pollutions anthropiques ;
- La qualité des eaux est suivie de façon très irrégulière par les ministères chargés.

Recommandations :

- La sensibilisation de la population pour prévenir des contaminations directes et pour éviter des coûts d'assainissement des nappes contaminées ;
- L'élaboration des stratégies de gestion des points d'eau contaminés qui pourrait comprendre la sensibilisation de la population, l'éducation sanitaire, l'épuration, la clôture ou la réhabilitation des points d'eau ;
- L'établissement des approvisionnements alternatifs en eau potable ;
- L'établissement d'un suivi périodique et spatialement compréhensive pour analyser l'évolution et la distribution de la pollution par le nitrate afin d'identifier à temps des points d'eaux qui demandent d'assainissement.

3.2.4 Carte piézométrique du Continental Terminal 3

La carte piézométrique de la nappe phréatique du Continental Terminal 3 montre les isopièzes dans les limites des affleurements. La carte est basée sur environ 5000 points d'eau rassemblés à partir de Boeckh (1965), Anderson & Ogilbee (1970), Sokoto Agricultural Development Project (1980-1990), JICA (1990), la DGRE-DGHLLL du Niger (1997-2000) et AGES (2013-2017), ainsi que sur les données fournies par les différentes SFN au cours de la première phase du projet. Seule un petit pourcentage de points d'eau (~100) inclut aussi des informations sur l'aquifère capté ; les points d'eau restants non spécifiés ont été classifiés comme ouvrages captant la nappe phréatique.

La nouvelle carte reflète les principales caractéristiques hydrogéologiques du Continental Terminal 3. Les deux sens généraux de l'écoulement des eaux souterraines - sud-ouest (partie est) et sud-est (partie ouest) – peuvent être attribués à la morphologie générale du bassin avec le fleuve Niger comme exutoire principal. Le sens général de l'écoulement est modifié par des éléments morphologiques locales comme les systèmes de drainage semi-fossiles du Dallol Bosso, du Dallol Maouri et du fleuve Sokoto orienté plus ou moins nord-sud, des élévations topographiques formant des zones de recharge locales (p.ex. entre le Dallol Maouri et le Fleuve Niger) et des mares endoréiques représentant des zones de recharge préférentielles.

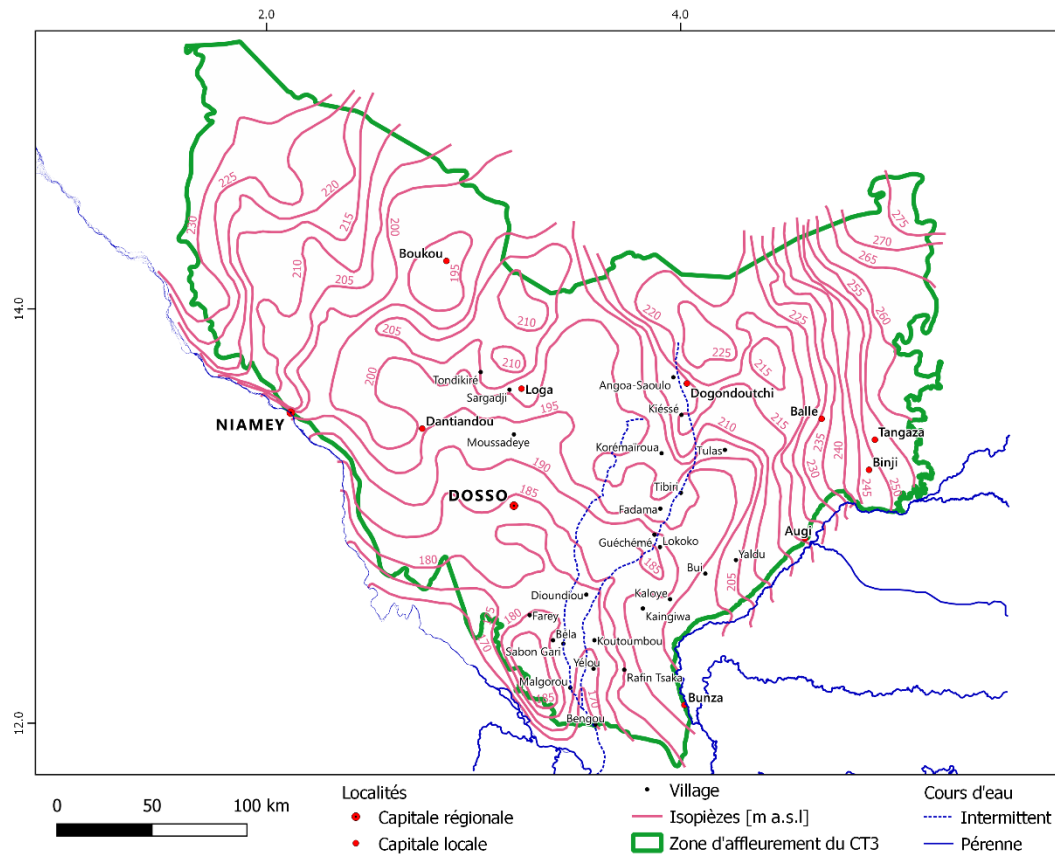


Figure 12: Carte piézométrique du Continental Terminal 3.

Leçons apprises :

- L'écoulement générale des eaux souterraines semble être stable depuis mi-20^e siècle ;
- La faible connaissance des paramètres pour associer les points d'eau à un aquifère spécifique ne permet pas l'élaboration d'une carte piézométrique fiable.

Recommandations :

- Analyses des changements temporels du niveau de la nappe entre le 20^e et le 21^e siècle comme aussi des possibles changement saisonnières – restreint à des localités avec les données fiables disponibles ;
- Élaboration de cartes piézométriques des aquifères du Continental Terminal 2, 3 et du Continental Hamadien.

4 Axe de Travail III - Renforcement de capacités

Le renforcement des capacités à l'ABN et aux SFN comprend des modules de **formation qui aident à la pérennisation des activités** des Axes de Travail I et II. L'accent a été la formation des partenaires sur la manipulation et la maintenance des équipements pour le suivi des eaux souterraines ainsi que sur les logiciels qui permettent la visualisation et l'interprétation spatiale des données (QGIS) et le stockage des données (GeODin). Les formations et les documents résultants sont résumés ci-dessous.

4.1 Formation sur les enregistreurs automatiques Type « CTD Diver »

Le projet AGES opère avec des **enregistreurs du types CTD** qui mesurent en même temps la conductivité électrique, la température et la pression de la colonne d'eau. Deux ateliers de formation conjoints avec le projet du BGR à la CBLT (« Appui pour la Gestion des Ressources en Eaux Souterraines à la Commission du Bassin du Lac Tchad ») ont été organisés à N'Djamena (01.08-03.08.2018) et à Cotonou (27.03.-29.03.2019). Dans ce cadre les SFN des 9 états membres ont été formés sur l'installation, la programmation et la lecture des enregistreurs plus le traitement des données collectés. Lors de l'atelier les kits de connexion USB et le logiciel « Diver Office » ont été transmises aux SFN des 9 pays membres de l'ABN.

Leçons apprises :

- Lors des ateliers de formation, les SFN ont formulé le besoin d'approfondir les formations sur l'analyse et sur l'interprétation des données. Une partie des SFN n'est pas familière avec le traitement des données dans le logiciel « Microsoft Excel » ce qui empêche un avancement homogène et efficace pendant les exercices ;
- Les SFN ont formulé le besoin de créer une plateforme pour partager les expériences et les leçons apprises dans les neuf (9) pays membres de l'ABN.

Date		Atelier	Lieu	Participants	Rapport	Annexe
Début	Fin					
01.08.2018	03.08.2018	Formation sur l'installation et la maintenance des enregistreurs type « DIVER »	N'Djamena	1 x BGR/AGES 1 x AGES 8 x SFN	201807_Rapport_Logger Workshop_CBLT_N'Djamena	3_Ateliers Techniques/Ateliers de Formation
27.03.2019-	29.03.2019	Formation sur l'installation et la maintenance des enregistreurs type « DIVER »	Cotonou	1 x BGR/AGES 1 x AGES 2 x OBN 16 x SFN	201903_Rapport_Logger Workshop_ABN_Cotonou	

4.2 Formation sur gestion et la manipulation de la base de données (GeODin)

Une formation sur la gestion et la manipulation de la base de données a été réalisé le 11.02.2019 pour les agents de l'ABN (Chapite 3.4).

4.3 Formation sur le tas

Pendant les campagnes de terrain dans les zones pilotes, les SFN ont été formé sur l'échantillonnage des eaux souterraines et sur l'installation, la programmation et la lecture des enregistreurs automatiques (chapitre 2.2). Dans le cadre des campagnes de terrain un mode opératoire a été rédigé (Annexe 4).

4.4 Formation QGIS

Deux ateliers sur le systèmes d'information géographique (SIG) ont permis de renforcer les capacités des SFN et de l'ABN. A la place de logiciels privés avec des dépenses récurrentes élevées et en vue d'améliorer l'efficacité et la durabilité de la formation, le projet a opté pour **le logiciel QGIS de libre accès**.

Un **cours introductif** (mai 2017) a porté sur la manipulation du logiciel, le traitement des données vectorisées et raster, ainsi que la visualisation et la création de cartes. Lors du **cours avancé** (juin 2018), les participants ont eu à travailler avec les données hydrogéologiques de la zone pilote 1 et mené des exemples d'analyse hydrogéologique. Les deux cours ont été favorablement accueillis et ont connu la participation de 27 personnes (sur 35 inscrits) et de 21 personnes (sur 32 inscrits), respectivement.

Leçons apprises :

- *Dans l'ensemble, un manque de connaissances élémentaires en traitement de données (gestion des données, Windows, Excel) et en hydrogéologie;*
- *Les participants n'utilisent pas le SIG de façon régulière pour analyser des données spatiales ;*
- *Les participants préfèrent les tutoriels guidés au lieu d'exécution des tâches libres.*

Recommandations :

- *Revoir le groupe cible des formations et inclure des **homologues locaux** ou des **techniciens des directions nationales** plutôt que des postes de direction;*
- *Les thèmes de formation devraient être axés sur les **besoins réels de chaque SFN** plutôt que sur des connaissances de base en SIG. À part des thèmes liés au SIG, les formations futures peuvent porter sur des concepts hydrogéologiques ainsi que sur le traitement des données ;*
- ***Un groupe de travail composé des jeunes hydrogéologues des SFN et avec des rencontrés réguliers pourrait permettre une formation continue et adapté pour chaque SFN.***

Tableau 6: Liste des ateliers de formation QGIS

Date		Atelier	Lieu	Participants	Rapport	Annexe
Début	Fin					
18.5.2017	20.05.2017	Formation QGIS I: An introduction to QGIS (2.14). A Geographic Information System	Niamey (Hotel Sahel)	2 x AGES 5 x ABN 19 SFN 1 x étudiants	201705_Documents de formation (exercices et présentations)	3_Ateliers Techniques/Ateliers de Formation
25.06.2018	26.06.2018	Formation QGIS II: Hydrogeological Mapping with QGIS	Niamey (ABN)	2 x AGES 5 x ABN 12 x SFN 2 x étudiants	201806_Rapport sur la Formation QGIS II 201806_Documents de formation (exercices et présentations)	

5 Résultats et produits

Dans le cadre du projet, plusieurs produits ont été élaborés pour répondre aux besoins de l'ABN et des SFN et aussi pour partager les résultats avec autres acteurs dans le Bassin du Fleuve Niger. Ci-dessous les différents produits rassemblés dans l'annexe digitale sont listés selon la catégorie de la publication.

Tableau 7: Liste des publications et produits élaborées dans la deuxième phase du projet AGES

Date	Publication	Catégorie	Annexe
11.2018	AGES_ABN_Bulletin N°1	Bulletin	4_Publications et Produits
05.2019	Geological Map Transboundary Region_Niger-Nigeria-Benin	Carte	
10.2018	Mode opératoire pour une campagne de suivi piézométrique et échantillonnage des eaux souterraines	Mode Opératoire	
03.2017	Poster_IAH_Potential Groundwater Recharge	Poster	
03.2017	Poster_IAH_Recharge d'eau souterraine potentielle	Poster	
11.2018	Poster_AmmaCatch_Setting the basis for hydrogeological mapping	Poster	
03.2019	Poster_FH DGGV_Development of a GW monitoring network in Niger_Results of isotopic and hydrochemical analysis	Poster	
04.2019	Poster_EGU_Groundwater resources of the urban area of Niamey	Poster	
09.2018	Présentation_IRD_Groundwater monitoring and hydrogeological mapping	Présentation	
09.2019	Présentation_IAH_The southern lullemeden Basin – Development of a groundwater monitoring network	Présentation	
09.2019	Rapport de stage_Carte piezometrique de la nappe phreatique du CT3	Rapport de Stage	
05.2019	Rapport technique N°5_2019_Heckmann_Geological Map Pilot Zone1_Report	Rapport Technique BGR	
09.2019	Rapport technique N°6_2019_Abou_Caractérisation physicochimique et piézométrie des aquifères de Niamey	Rapport Technique BGR	
09.2019	Rapport technique N°7_2019_Bosch_Rapport de suivi des eaux souterraines dans le Bassin du Niger	Rapport Technique BGR	