

Travail de fin d'études

Auteur : Yaou Korgom, Fatimata

Promoteur(s) : Orban, Philippe

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master de spécialisation en sciences et gestion de l'environnement dans les pays en développement

Année académique : 2018-2019

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/7646>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

ULg - Faculté des Sciences - Département des Sciences et Gestion de l'Environnement

UCL-facultés des bioingénieurs

THEME : Caractérisation hydrogéologique et hydrogéochimique des nappes souterraines de la Zone Minière d'Arlit au Niger

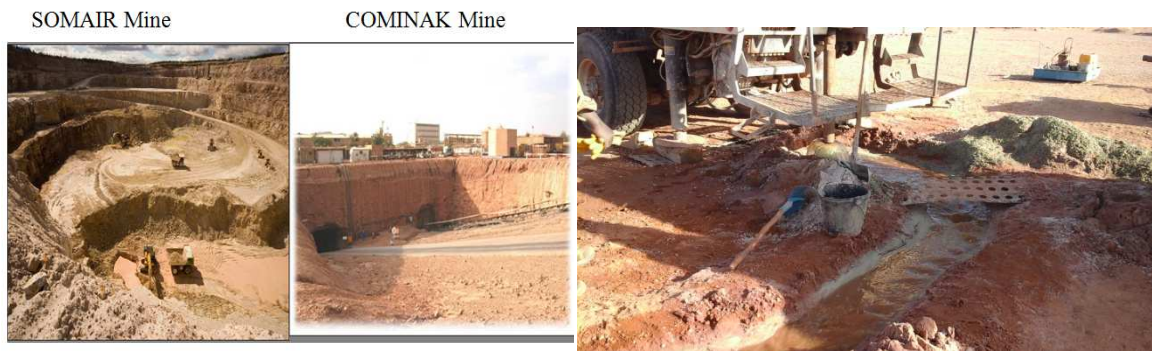


Image foration à la SOMAIR(2019)

YAOU KORGOM Fatimata

**MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER DE
SPECIALISATION EN SCIENCES ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT DANS LES
PAYS EN DEVELOPPEMENT**

OPTION : EAU ET SOL

ANNEE ACADEMIQUE : 2018-2019

REDIGE SOUS LA DIRECTION DE : PHILIPPE Orban

COMITE DE LECTURE :

ALAIN Hanson

FRANCIS Rosillon

Copyright : « *Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique* de l'Université de Liège et de l'Université catholique de Louvain.* * L'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant de l'ULiège et/ou de l'UCL ».

"Le présent document n'engage que son auteur"

« Auteur du présent document : YAOU KORGOM Fatimata

fatimatayaoukorgom@yahoo.fr »

Remerciements :

Tout d'abord je remercie Allah le tout miséricordieux.

Au terme de cette formation, je voudrais exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes et Institutions qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Je remercie très sincèrement :

- L'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur(ARES), pour avoir mis à notre disposition les moyens nécessaires pour l'aboutissement de cette formation ;
- Mon promoteur Monsieur PHILIPPE Orban pour les conseils scientifiques et techniques prodigués. En dépit de vos occupations multiples, vous avez réussi à me consacrer un encadrement exceptionnel, permanent et au-delà de mes espérances ;
- L'Université de Liège et L'Université Catholique de Louvain pour l'encadrement et le soutien dans le cadre de cette formation ;
- La Fondation Roi Baudouin qui a financé notre retour sur le terrain pour la collecte des données à travers les fonds Elisabeth et Amélie (Programme thématique de bourses de mobilité pour des étudiants de pays en développement);
- La Société des Mines de l'Air(SOMAIR) qui nous a accueillis dans le cadre de notre séjour sur le terrain, le personnel du Service géologique de la SOMAIR particulièrement le Chef du Service Monsieur Amadou Boubacar pour son soutien indéfectible ;
- Le personnel du Ministère des Mines du Niger particulièrement Monsieur HASSANE Baraze, Ministre des Mines et Monsieur MAMADOU Dikouma, secrétaire général du Ministère ;
- Monsieur BERNARD Tychon, Responsable du Master de Spécialisation en Sciences et Gestion de L'environnement dans Les Pays en développement et son assistant Antoine Denis ;
- Monsieur BIELDERS Charles, notre responsable à l'Université Catholique de Louvain ;

Enfin, je remercie vivement mes camarades du Master de Spécialisation en Sciences et Gestion de L'environnement dans Les Pays en développement de la promotion 2018-2019 pour la bonne collaboration durant notre formation.

Dédicace :

A mon très cher Mari ABDOURAHAMANE Korgom pour son soutien indéfectible sans lequel je ne serais jamais arrivé à ce stade.

Résumé

Dans la région d'Arlit au Niger en Afrique de l'Ouest, des gisements d'Uranium sont exploités depuis 1971 par deux sociétés minières : la SOMAIR créée en 1968 et la COMINAK créée en 1974. Ces activités minières ont favorisé la création de deux villes aux alentours des sites miniers qui sont : la ville d'Arlit et la ville d'Akokan. Des nappes souterraines du système multicouche de la région d'Arlit sont exploitées pour l'approvisionnement en eau potable et en eau industrielle de la zone. Le présent travail traite de la Caractérisation hydrogéologique et hydrogéochimique des nappes souterraines de la Zone Minière d'Arlit au Niger. Pour ce faire après une étude documentaire, des échantillons d'eau ont été prélevés et analysés en vue d'évaluer l'impact des activités anthropiques sur ces eaux. La piézométrie actuelle des nappes souterraines de la zone d'Arlit montre qu'après le début des travaux miniers, le sens d'écoulement des nappes souterraines de la région d'Arlit a été modifié dans toute la zone d'étude. En effet, les surfaces piézométriques de ces nappes ont connu une évolution marquée par un important cône de dépression centrée sur les zones de pompage. Ces nappes souterraines connaissent aujourd'hui, du fait des nombreux prélèvements dont elles font l'objet, une diminution de leurs quantités qui implique aussi la baisse de leurs cotes piézométriques. Une diminution de la cote piézométrique d'environ 33.63 m est observée pour la nappe du Tarât, 18.12 m pour la nappe du Guézouman et 4.71 m pour la nappe de l'Izégouande. Les résultats des analyses chimiques faites ont permis de mieux comprendre l'hydrochimie des aquifères. Ces résultats sur la qualité des eaux souterraines mettent en évidence la présence de deux grands types de faciès (bicarbonaté-sodique et sulfaté-sodique).

Mots-clés : Aquifères, Hydrogéologie, Hydrogéochimie, Mines d'Uranium, Pollution.

Abstract:

In the Arlit region of Niger in West Africa, uranium deposits have been mined since 1971 by two mining companies: SOMAIR created in 1968 and COMINAK created in 1974. These mining activities have favored to the creation of two towns in the vicinity of the mining sites: the town of Arlit and the town of Akokan. Groundwater from the multilayer system in the Arlit region is used to supply drinking water and industrial water to the area. The present work deals with the hydrogeological and hydrogeochemical characterization of groundwater in the Arlit Mining Zone in Niger. After a following literature review, water samples were collected and analyzed to assess the impact of human activities on these waters. The current piezometry of groundwater in the Arlit area shows that after the start of mining, the direction of groundwater flow in the Arlit region was modified throughout the study area. Indeed, the piezometric surfaces of these aquifers have undergone an evolution marked by a large depression cone centered on the pumping zones. Because of the many taking away that they are object, the ground water system knew a decrease in their quantities and their piezometric level are also decreasing. A decreasing in the piezometric level of about 33.63 m for the Tarat aquifer, 18.12 m for the Guezouman aquifer and 4.71 m for the Izégouande aquifer is observed. The results of the chemical analyses conducted led to a better understanding of the hydrochemistry of aquifers. The groundwater quality analyzes results indicate the presence of two main types of facies (bicarbonate-sodium and sulfate-sodium).

Keywords: Aquifers, Hydrogeology, Hydrogeochemistry, Uranium Mines, Pollution.

TABLE DES MATIERES

Remerciements :	iv
Dédicace :	v
Résumé :	v
Abstract:	vi
Liste des Figures.....	viii
Liste des Tableaux.....	ix
Liste des Annexes.....	ix
Liste des sigles et abréviation :	Erreur ! Signet non défini.
Introduction	11
Chapitre 1 : Revue de la littérature.....	12
Chapitre 2 : Méthodologie.....	14
I. Généralités sur la zone d'Etude :.....	14
I.1 Cadre géographique et humain	14
I.2 Climat	14
I.3 Précipitations	15
I.4 Vent	16
I.5 Contexte Géologique :	16
I.6 Log Stratigraphique de la Zone d'Arlit :	19
I.7 Cadre Structurale de la zone d'étude	20
I.8 Description des activités minières	21
a. SOMAIR.....	22
b. COMINAK :	23
I.9 Contexte Hydrogéologique.....	23
I.9.1 Aquifère de Guézouman :	24
I.9.2 Aquifère de Tarât :	27
I.9.3 Aquifère d'Izégouande.....	30
I.9.4 Aquifère de Téloua.....	31
II. Matériels et Méthodes	33
II.1 Matériels :	33
II.2 Méthode :	33
II.2.1 Collecte des données récentes au sein de la SOMAIR :.....	33
II.1.2 Échantillonnage :.....	35
II.1.3 Prélèvement Conditionnement et Transport :.....	36
II.1.4 Analyse de l'eau au Laboratoire SOMAIR :	37
Chapitre 3 : Résultats	38
III.1 Production totale de l'eau :	38

III.2	Evolution du Niveau des nappes :.....	40
III.3	Résultat du dénoyage Artois :.....	41
III.4	Réseau Piézométrique de la SOMAIR en 2018 :.....	42
III.4	Piézo-métrie du Tarât en 2018 :.....	43
III.5	Piézo-métrie de l’Izégouande en 2018 :.....	44
III.6	Résultats d’analyse chimique :.....	45
III.7	Diagramme de Piper :	47
III.8	Diagramme Schoeller-Berkaloff :.....	48
III.9	Graphes résultats d’analyses chimiques sur les ouvrages prélevés :	50
III.10	Résultat d’Analyse chimique de l’Eau potable :.....	51
Chapitre 4 : Discussions		55
Conclusion et Recommandations :.....		57
Bibliographie :.....		59
Annexes.....		61

Liste des Figures

Figure 1: Localisation d’Arlit sur la carte du Niger (Bassirou, 2018)	14	
Figure 2: pluviométrie Arlit (données de 2019).....	15	
Figure 3: Rose des vents de la ville d’Arlit (Florian, Alexandre, & Christian, 2018)	16	
Figure 4 : Carte géologique simplifiée du bassin des Iullemenden(Gerbeaud, 2006)	17	
Figure 5: carte géologique simplifiée de la bordure Ouest de l’Air (Rachid, 2013).....	18	
Figure 6: Log stratigraphique synthétique de la région d’Arlit (BOKO et al., 2017).....	20	
Figure 7 : carte structurale de la zone d’Arlit (BOKO et al., 2017).....	21	
Figure 8: Position des sites miniers sur la carte 1991-1992_CarteCompilée_Techili1	22	
Figure 9: schéma d’exploitation de la SOMAIR (Bassirou, 2018).....	23	
Figure 10: piézométrie de la nappe du Guézouman en 1970(N’DAH, 2013).....	26	
Figure 11 : Piézométrie de la nappe du Guézouman en 1979	Figure 12: Piézométrie de la nappe du Guézouman en	27
Figure 13: carte piézométrique de l’aquifère du Tarât en 1968	Figure 14 : carte piézométrique de l’aquifère du Tarât	29
Figure 15: affleurement de la nappe du Tarât au fond de la mine à ciel ouvert Ariège ((IRSN, 2004).....	29	
Figure 16 : Carte Piézométrique de la nappe d’Izégouande, données de 1979 (BOKO et al., 2017).....	30	
Figure 17 : cône de dépression observé dans la nappe de l’Izégouande (Rabani et Abdourazakou, 2013)	31	
Figure 18 : Couronne de dénoyage sur Artois.....	34	
Figure 19: Robinet topo(ZI)	Figure 20 : AEP S1.....	35
Figure 21: Puits AT2324 prélevé pour analyses	35	
Figure 22 : Carte présentant le réseau d’échantillonnage.....	36	
Figure 23: Images laboratoire SOMAIR (Avril 2019).....	37	
Figure 24: Production d’eau de la nappe de Tarât.....	38	
Figure 25: production d’eau de la nappe de l’Izeg	39	
Figure 26: Evolution du niveau piézométrique des nappes.....	40	

Figure 27: évolution de la hauteur piézométrique au niveau d'Artois	41
Figure 28: Evolution de la quantité annuelle d'eau dénoyé sur Artois	42
Figure 29: Position des ouvrages de suivi des nappes par la SOMAIR, données 2018.....	43
Figure 30 : Piézométrie du Tarât en 2018	44
Figure 31: Piézométrie de l'Izeg en 2018	45
Figure 32: Diagramme de piper échantillon prélevés campagne terrain.....	47
Figure 33: Diagramme de Piper Eau du Tarât analyse 2018	Figure 34: Diagramme de
Piper Eau de l'Izeg analyse 2018	48
Figure 35: Diagramme de Berkaloff des échantillons prélevés	49
Figure 36: Diagramme Berkaloff du Tarât (données 2018)	Figure 37: Diagramme
Berkaloff de l'Izeg (données 2018).....	50
Figure 38 : Evolution du sodium sur 6 ans sur les ouvrages prélevés.....	51
Figure 39: évolution annuelles des nitrates de l'eau potable.....	52
Figure 40: évolution annuelle de SO4 dans l'eau potable.....	53
Figure 41: évolution annuelle du PH de l'eau potable	53
Figure 42: évolution annuelle du Chlore de l'eau potable	54

Liste des Tableaux

Tableau 1: Périodes clés de l'évolution du système régional d'eaux souterraines (SRK, 2015).....	12
Tableau 2 : Paramètres hydrodynamiques du Guézouman (Rabani et al., 2015).	25
Tableau 3: paramètres hydrodynamique du Tarât (Rabani et al., 2015).	28
Tableau 4: Résultats d'analyses physico chimiques des cinq échantillons prélevés :.....	45

Liste des Annexes

Annexe 1: Coordonnées des ouvrages prélevés	61
Annexe 2: Tableau production totale de la nappe de l'Izégouande depuis sa mise en exploitation en 2009.	61
Annexe 3: production d'eau sur Artois de 2010 à 2019.....	62
Annexe 4 : Système aquifère multicouche de la zone minière d'Arlit affecté par la flexure faille d'Arlit.....	62
Annexe 5: Résultats d'analyse bactériologique des échantillons prélevés autour des installations en Avril 2019	63
Annexe 6: Quelques valeurs normes pour l'eau potable.....	63
Annexe 7: Répartition spatiale de la chimie des eaux du Tarât en 2018 :	64
Annexe 8: Répartition spatiale de la chimie des eaux de l'Izégouande en 2018 :	66
Annexe 9: Directions d'écoulement des eaux souterraines régionales : a) conditions naturelles ; b) conditions actuelles ; c) conditions avec exploitation par GoviEX (source: SRK 2015) ..	67
Annexe 10: Production totale de l'eau du Tarât depuis le début de l'exploitation	68
Annexe 11: Variation du niveau piézométrique des nappes souterraines	3

Liste des sigles et abréviations :

COMINAK : Compagnie Minière d' Akouta

SOMAIR : Société des Mines de l' Air

AEI : Alimentation en Eau Industrielle

AEP : Approvisionnement en Eau Potable

ZI : Zone Industrielle

S1 : Surpresseurs d' eau potable

S2 : Surpresseurs d' eau potable

IRSN : Institut de Radioprotection et de Sureté Nucléaire

SR : SOMAIR

CK : COMINAK

IZEG : Izégouande

GUEZ : Guézouman

UCL : Université Catholique de Louvain

ULiège : Université de Liège

TFE : Travail de Fin d' Etude

SE-NW : Sud Est- Nord Ouest

SSE-NNW : Sud Sud Est- Nord Nord Ouest

SOPAMIN : Société du Patrimoine des Mines du Niger

Introduction

L'Eau est une ressource précieuse indispensable à la vie. Cette ressource multidimensionnelle est partout mais inégalement répartie sur la planète. L'eau facilement mobilisable est de l'eau douce qui circule dans les rivières, les grands lacs...L'eau douce constitue environ 2,5% du volume total de l'eau de la planète, les 97,5% de l'eau disponible sur la planète est salée. Le volume total d'eau douce sur terre est d'environ 1.380.500.000 km³ dont 69,8 % sont constitués des glaciers et des couvertures neigeuses permanentes, 30,8% des eaux souterraines et 0,3 % sont dans les lacs et les réservoirs (Jonard, 2019).

Donc la plus grande partie de l'eau douce disponible sur la planète est constituée par de l'eau souterraine. Au Niger les eaux souterraines constituent la principale source d'approvisionnement en eau potable. Ces eaux peuvent subir des pollutions liées aux activités anthropiques telles que les travaux miniers. Les ressources minières jouent un rôle majeur dans la plupart des pays en développement. Au Niger, les mines représentent un secteur économique important, le sous-sol Nigérien renferme d'importantes ressources minières et pétrolières dont certaines font l'objet d'exploitation industrielle ou artisanale. L'implantation d'une industrie extractive a toujours suscité d'énormes attentes des populations des localités concernées en termes d'amélioration de leurs conditions de vie. Malheureusement cette implantation s'accompagne souvent de conséquences néfastes sur l'environnement notamment sur les ressources en eau.

Dans le département d'Arlit, les gisements d'uranium de classe mondiale sont mis en exploitation depuis 1968. Les formations géologiques des gisements comprennent certains niveaux stratigraphiques perméables qui sont susceptibles de renfermer des nappes d'eau souterraine captives ou libres (Guézouman, Tarât, Izégouande et Téloua) (Rabani et Abdourazakou, 2013).

L'exploitation minières et les villes qui se sont développés autour des mines d'Arlit consomment de grandes quantités d'eau, ce qui pourrait conduire non seulement à l'épuisement des réserves d'eau souterraine fossiles et non renouvelables, mais aussi affecter durablement la qualité des eaux de ces nappes. C'est pourquoi, il est préférable de prévoir toujours un plan de gestion des nappes d'eau souterraine.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre étude intitulée : « Caractérisation hydrogéologique et hydrogéochimique des nappes souterraines de la Zone Minière d'Arlit au Niger ».

L'objectif principal de cette étude est de faire une évaluation hydrogéologique et hydrogéochimique des eaux des nappes souterraines de la zone minière d'Arlit en s'appuyant d'une part sur les travaux antérieurs et d'autre part sur les analyses des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude. Ainsi après une revue de littérature dans laquelle quelques études hydrogéologiques faites dans la zone d'étude seront synthétisés, la zone d'étude et les matériels et méthodes utilisés dans le cadre de ce travail seront présentés avant de passer à la partie résultats et interprétations. Des recommandations seront finalement émises avant de terminer par une conclusion.

Pour atteindre cet objectif, le travail réalisé à consister à :

- Faire des mesures in-situ et prélever des échantillons d'eau pour analyses ;
- Interpréter les résultats des analyses ;
- Identifier les éléments chimiques responsables de la contamination des nappes;
- Evaluer l'incidence des activités minières sur les nappes d'eau souterraine ;
- Comparer les résultats obtenus avec ceux des études antérieures ;
- Faire des propositions pour réduire les risques en matière de pollution des aquifères.

Chapitre 1 : Revue de la littérature

- Plusieurs études ont été faites sur les aquifères de la zone minière d'Arlit dont entre autres : « l'état des lieux sur les aquifères de la zone minières d'Arlit : hydrogéologie et Hydrochimie » faite en 2013-2014 par une équipe pluridisciplinaire constituée des enseignants chercheurs de l'Université Abdou Moumouni de Niamey et des experts de la Société du Patrimoine des Mines du Niger (SOPAMIN). Cette étude révèle que l'évaluation globale de la qualité des eaux des nappes de la zone minière d'Arlit par l'outil SEQ eaux souterraines, a montré une dégradation importante des dites eaux par rapport à leur état patrimonial (EP). Par conséquent, ces eaux sont considérées dans leur écrasante majorité comme inaptes à la consommation humaine, concernant les altérations nitrates, azotées hors nitrates, minéralisation et salinité. L'examen de l'évolution temporelle des niveaux piézométriques relevés à la date du 31 décembre sur la période 1979 à 2009, pour un certain nombre de piézomètres montre une tendance générale à la baisse (Rabani et Abdourazakou, 2013).
- L'étude faite par Salifou Issa et al en 2015 a mis en évidence certains paramètres chimiques mesurés sur les ouvrages qui sont en dépassement des normes pour une eau de consommation. Cette même études a montré des fortes teneurs en nitrate et en sodium dans l'aquifère du Tarât (Salifou et al., 2015).
- Selon le rapport du projet AMAN 2005 les conclusions de l'étude de la nappe du Tarât ont mis en évidence la diminution de l'approvisionnement dans les prochaines années, Selon le même rapport, les résultats du rapport IRSN 2005 montrent que plusieurs puits fournissaient de l'eau dont la qualité n'était pas conforme aux recommandations de l'OMS pour l'eau potable (AMAN, 2005).
- L'état des lieux de la qualité des nappes du Tarât et de l'Izégouande fait par l'équipe AMAN en 2010 a mis en évidence que la quasi-totalité des captages en exploitation présentaient des concentrations élevées en nitrates, sodium et l'uranium. Les eaux de différents captages étaient donc mélangées au niveau des surpresseurs et châteaux afin d'obtenir des concentrations conformes aux normes nigériennes et OMS par dilutions croisées dans les eaux distribuées (AMAN, 2010).
- Dans le volume 2 du Rapport d'étude d'impact Environnemental et Social sur Le Projet Madaouéla(dans le département d'Arlit au Niger) détenu par la compagnie d'exploration de l'Uranium GoviEx Niger Holdings Limited, publié en 2015, SRK Consulting à montré l'Evolution des systèmes d'eaux souterraines de la région à partir des données historiques. L'étude des données historiques a permis de comprendre l'évolution des systèmes d'eaux souterraines et le développement du modèle conceptuel hydrogéologique. Les périodes de l'évolution des systèmes d'eau souterraines sont résumées dans le tableau 1 ci-dessus.

Tableau 1: Périodes clés de l'évolution du système régional d'eaux souterraines (SRK, 2015)

Période	Description
30 000 – 5 000 avant le présent (« BP »)	<ul style="list-style-type: none"> • Cycles continus de changement climatique avec alternances entre des conditions humides tropicales et des conditions arides.
5 000 BP	<ul style="list-style-type: none"> • Fin de la dernière période humide. Aquifères entièrement rechargés avec rejet vers les rivières. • Début de l'apparition de la désertification.
5 000 BP - Années 50	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction progressive des niveaux d'eau en raison des flux d'évaporation (de la surface et de la végétation) et recharge négligeable. • Cela se traduit par des gradients hydrauliques ascendants depuis des aquifères profonds vers des aquifères peu profonds avec écoulement latéral vers des affleurements. • Captage très limité des eaux souterraines.
Années 60 à aujourd'hui	<ul style="list-style-type: none"> • Exploitation d'uranium; grandes abstractions d'eau souterraine. • Exploitation des eaux souterraines et grave appauvrissement des nappes aquifères dans la région d'Arlit

Dans le même Rapport, un modèle conceptuel de l'écoulement des eaux souterraines du Niger a été réalisé. Ce modèle conceptuel des eaux souterraines a été développé à partir des données historiques relatives aux eaux souterraines et des résultats des programmes hydrogéologiques sur le terrain de la compagnie d'exploration GoviEx. Dans la zone où les données des carottes de forage de SOMAIR et COMINAK n'étaient pas disponibles, la géologie a été simplifiée. Pour avoir donc une meilleure représentation régionale de la géologie dans les zones de SOMAIR et de COMINAK, il faut donc incorporer les bases de données complètes des carottes de forage. L'examen de ce modèle a permis de comprendre que la majorité de l'écoulement des eaux souterraines se produit dans les grès sédiment et qu'il est contrôlé à la fois par la lithologie et les structures (SRK, 2015).

Le modèle concerne la nappe de Tarât et celle du Guézouman qui ont été affectées par les activités minières. Ce Modèle est présenté sur l'annexe 9.

Chapitre 2 : Méthodologie

I. Généralités sur la zone d'Etude :

I.1 Cadre géographique et humain

La zone d'Arlit se trouve dans le désert du Sahara situé dans la partie Nord du Niger à 250 km au Nord-Ouest d'Agadez et à environ 850 km à vol d'oiseau au Nord-est de Niamey la capitale du Niger. Les coordonnées géographiques de la ville sont 17° et 20° de latitude Nord et 7° et 9° longitude Est (AMAN, 2012).

Cette zone jadis inhabitée, compte une population estimée en 2007 à 99 000 habitants dont 28 000 habitants dans les cités minières et 71 000 dans les villes induites (AMAN, 2010)

La commune compte en 2018 plus de 200.000 habitants suite à l'accroissement de la population. La ville d'Arlit est située à 7 km au sud et sud est des installations minières de la SOMAIR (Bassirou, 2018).

La figure 1 suivante présente la position de la ville d'Arlit sur la carte du Niger.

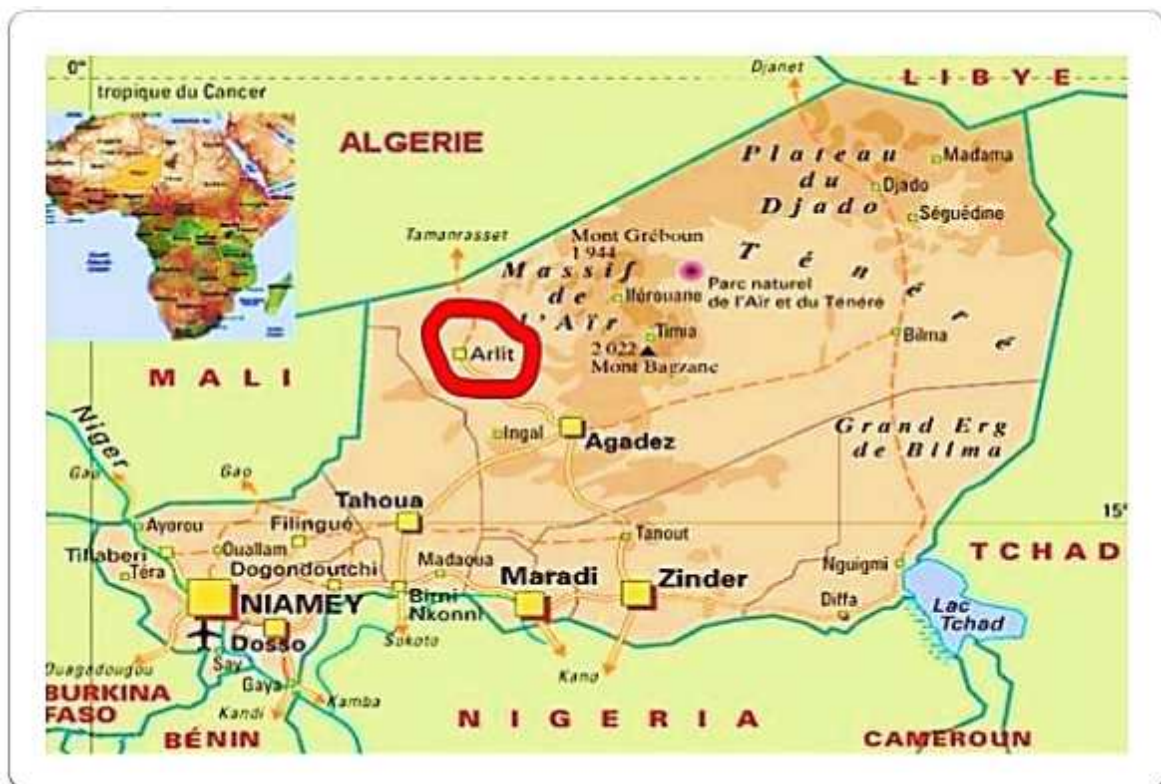


Figure 1: Localisation d'Arlit sur la carte du Niger (Bassirou, 2018)

I.2 Climat

La zone d'étude est située dans la zone saharienne qui couvre 77 % du pays où la pluviométrie moyenne annuelle est inférieure à 150 mm. La région est désertique, sèche et chaude, caractérisé par une température moyenne annuelle qui varie entre environ 15°C et 35°C, avec une moyenne

de 28°C. Les températures maximales peuvent dépasser les 40°C de Mars à Octobre et frôler les 45°C de mai à juillet. Les nuits sont généralement fraîches pendant la saison froide avec des températures inférieures à 20°C. Les températures les plus chaudes de l'année sont observées au mois de mai et Juin avec une moyenne est de 34.2 °C à cette période. Les températures les plus fraîches sont observées au mois de Janvier avec la température moyenne est de 18.8 °C (SRK, 2015).

I.3 Précipitations

Des données relatives aux précipitations locales ont été obtenues pour deux stations météorologiques situées près du site du secteur : Site de la SOMAIR et Arlit. Les données de la station d'Arilit sont fournies par le service météorologique national et celles de la station de la SOMAIR par l'équipe de la SOMAIR. Les précipitations moyennes annuelles fondées sur les données recueillies par l'équipe de la SOMAIR entre 1977 et 2018 sont de 50.8 mm. Les précipitations annuelles les plus élevées sont enregistrées en 2015 (146.22 mm) et les plus faibles sont enregistrées en 1983(3.5 mm) mettent en évidence la variabilité annuelle de la précipitation. Il existe deux saisons dans la zone d'étude : une longue saison sèche entre novembre et mai avec peu ou pas de précipitations et une courte saison des pluies qui s'étale de juin à septembre, le mois comprenant le plus de précipitations étant août. Les précipitations annuelles sont réparties sur 1 à 14 jours de pluie. La figure 2 ci-dessous illustre la variation de la moyenne de la pluviométrie annuelle de 1977 à 2018 dans la zone de notre étude.

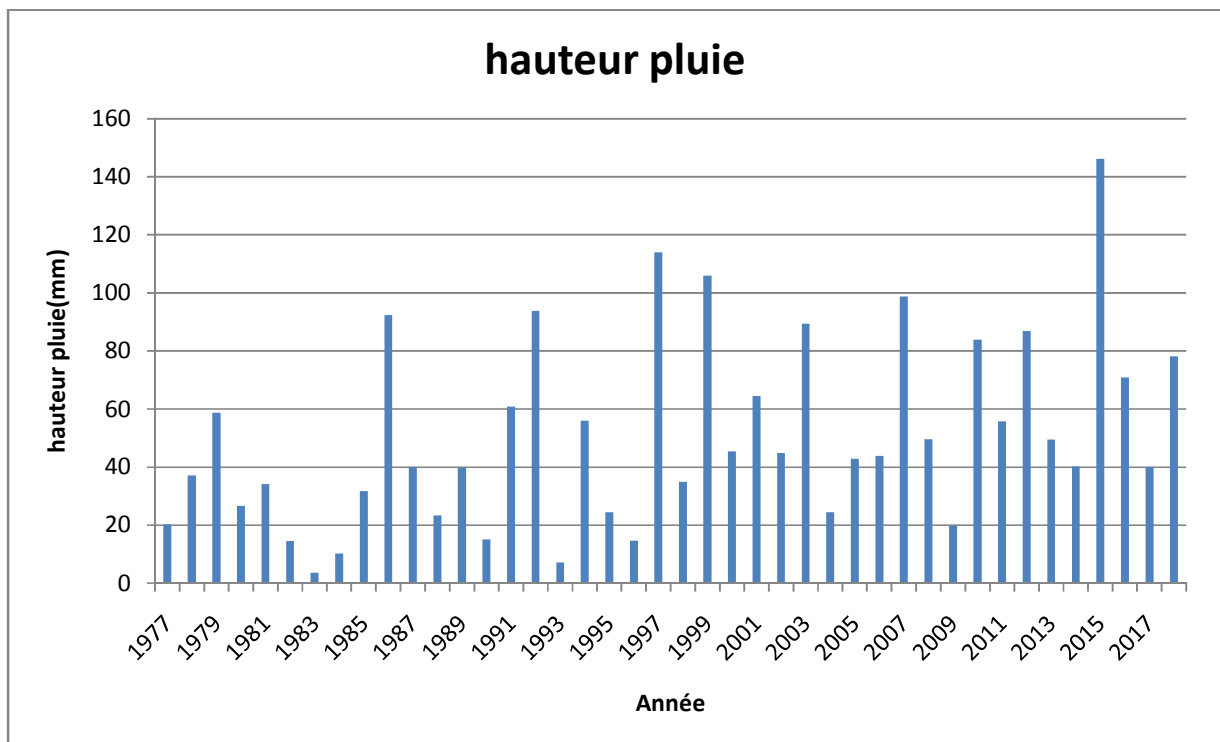


Figure 2: pluviométrie Arlit (données de 2019)

Ce diagramme illustre la variabilité des pluies dans la zone minière d'Arlit, mais globalement les précipitations sont très faibles ce qui peut avoir pour conséquence potentielle un très faible taux de recharge des aquifères de la zone.

I.4 Vent

Le vent souffle tout au long de l'année et sont secs, avec une vitesse moyenne de 2.5 m/s. La direction des vents dominants est Est / Nord Est. En été, ce sont les vents du secteur Sud qui dominant largement. La figure 3 illustre la direction des vents dominants dans la zone minière d'Arlit.

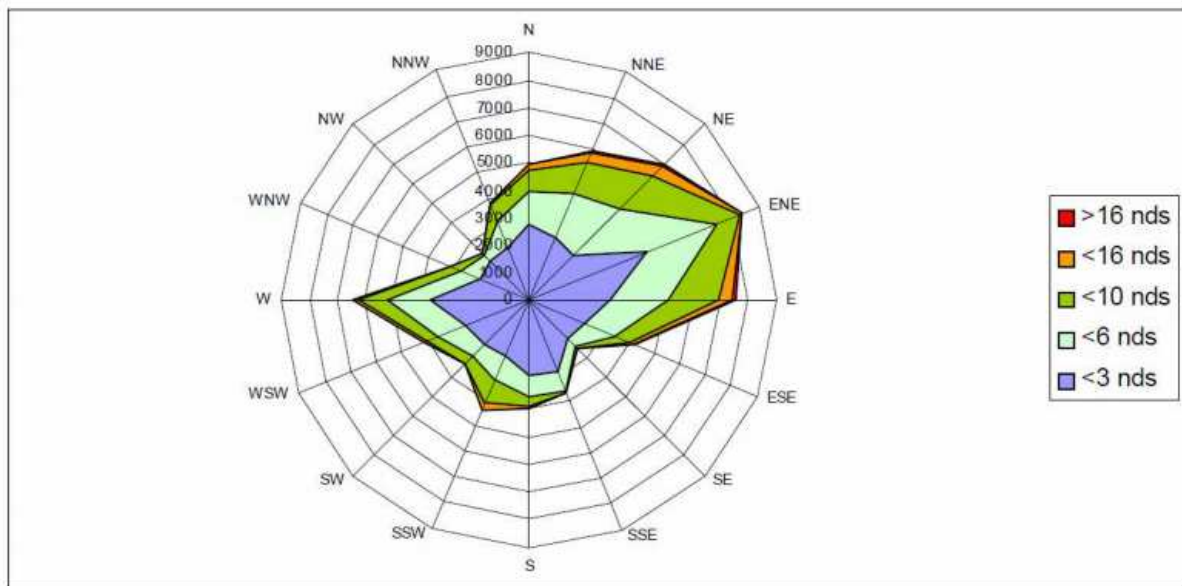


Figure 3: Rose des vents de la ville d'Arlit (Florian, Alexandre, & Christian, 2018)

I.5 Contexte Géologique :

La zone d'étude se situe dans le bassin sédimentaire de Tim Mersoï. Ce bassin est bien connu pour ses minéralisations uranifères, localisées dans les formations du Carbonifère supérieur, notamment les Grès du Guézouman (exploité par la Cominak), du Tarât (exploités par la Somair), du Madaouéla (Formation cible de GoviEx), et du Jurassique au Crétacé, dans les grès du Tchirezrine 2 en particulier (Ministère des Mines, 2013).

Le bassin de Tim Mersoï est un sous bassin du bassin d'Iullemenden (Phanérozoïque) développé sur le socle du bouclier Protérozoïque ouest africain. Le bassin d'Iullemenden couvre la plupart de la partie occidentale de la République du Niger et se prolonge en Algérie (bassin de Tin Sérérine), au Mali, au Bénin et au Nigeria. Il s'ouvre et s'approfondit vers le sud et l'ouest. Le bassin de Tim Mersoï constitue un appendice à l'extrémité N-E, et se localise dans une « gouttière » de direction N-S du socle. Au début du Paléozoïque, un golfe ouvert s'est développé au sud du Massif central saharien et a alimenté les sédiments continentaux du bassin en développement. Pendant le Mésozoïque et le Tertiaire, la zone était principalement continentale, régulièrement envahie par des transgressions marines, son épaisseur diminue au sud et elle passe latéralement dans des séries continentales. Des mouvements de soulèvement débutant à l'Eocène moyen ont donné au bassin son aspect actuel. Il a ensuite été rempli de sédiments continentaux fluviaux et lacustres.

La structure du bassin de Tim Mersoï est marquée par le pendage vers l'ouest des formations sédimentaires. La déformation du corps sédimentaire est le résultat des activités de faille du socle situées entre le Massif de l'Aïr et du linéament d'In Azaoua. Plusieurs grands systèmes de failles recoupent les sédiments et ont joué un rôle majeur lors de la sédimentation depuis le Paléozoïque supérieur (Ministère des Mines, 2013).

La figure 4 présente la carte géologique simplifiée du Bassin des Iullemeden et la figure 5 présente la carte géologique simplifiée de la bordure Ouest de l'Aïr avec l'emplacement des différentes mines uranifères du Niger.

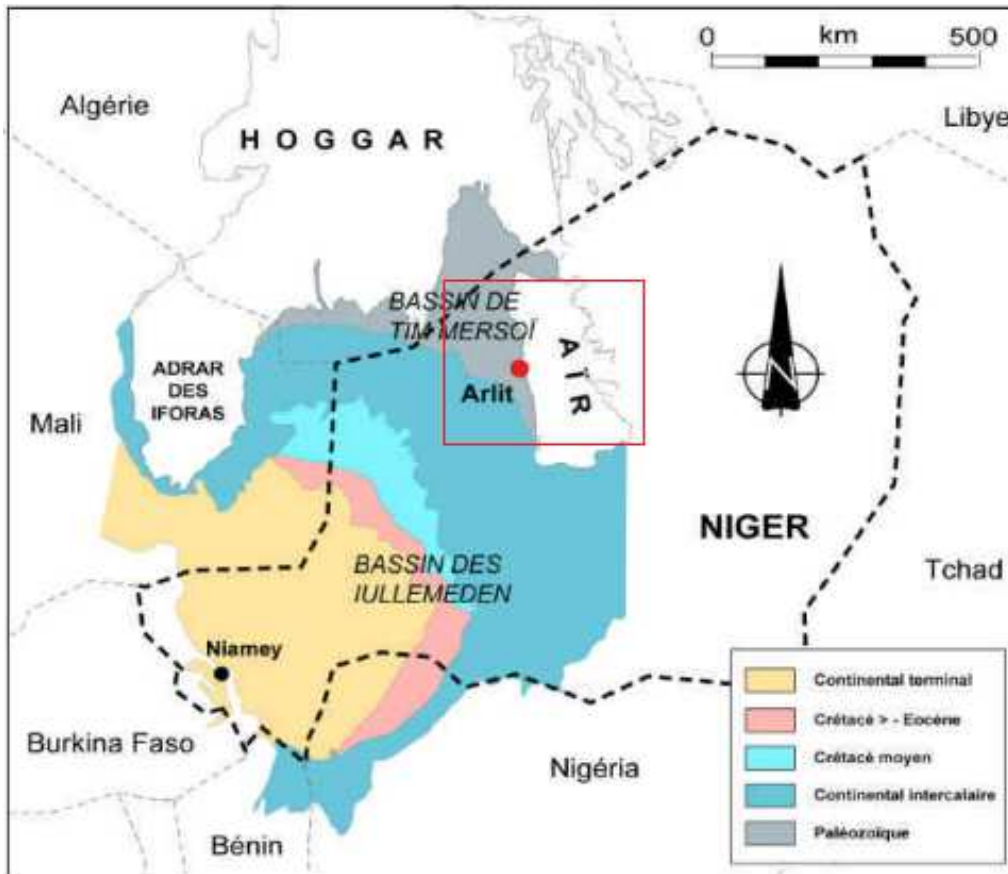


Figure 4 : Carte géologique simplifiée du bassin des Iullemeden (Gerbeaud, 2006)

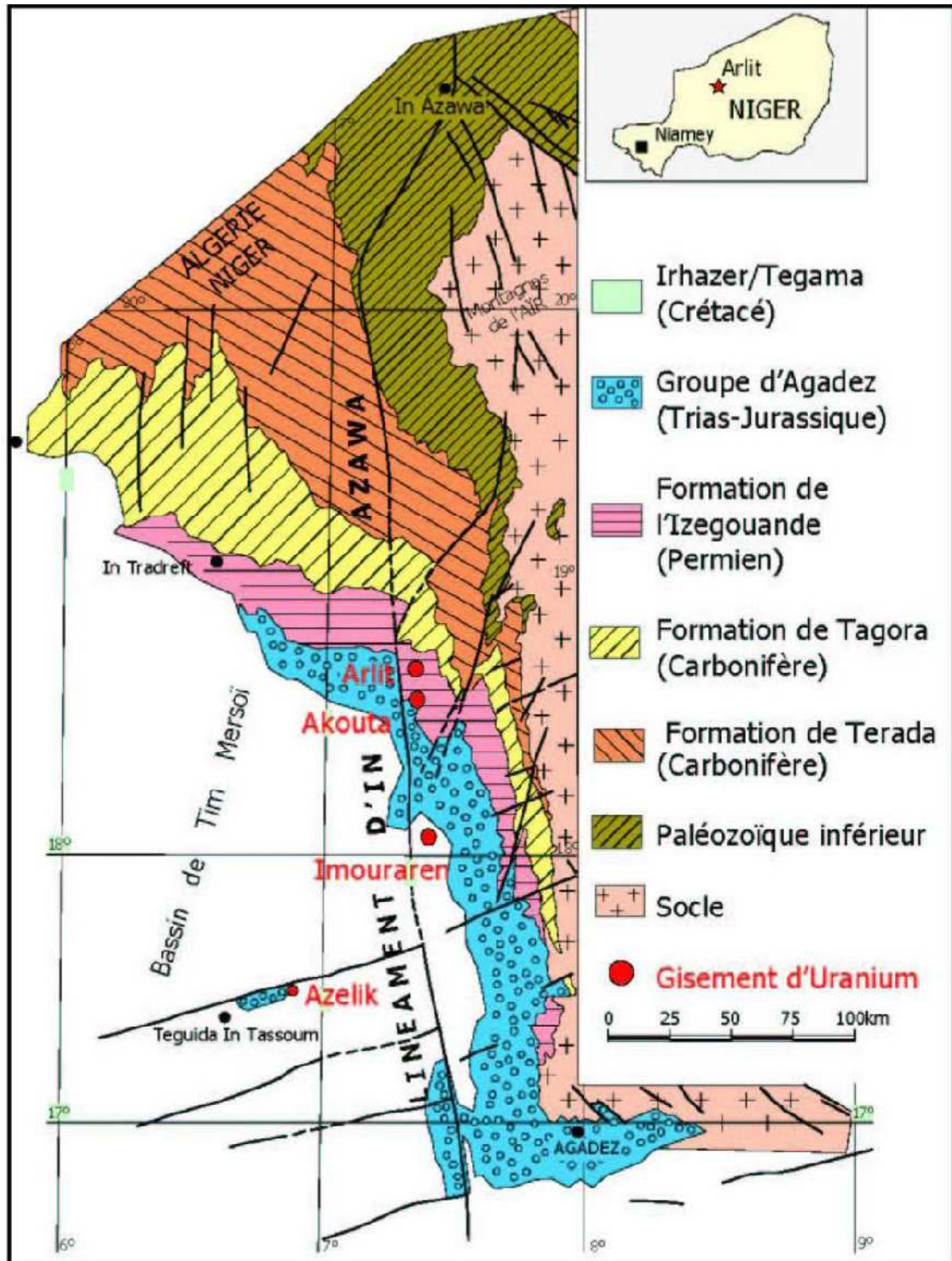


Figure 5: carte géologique simplifiée de la bordure Ouest de l'Air (Rachid, 2013)

I.6 Log Stratigraphique de la Zone d'Arlit :

Le découpage stratigraphique de la région d'Arlit comprend les séries suivantes de la plus ancienne à la plus récente :

- **le Précambrien** composés de roches cristallines et cristallophylliennes ;
- **le Permo-carbonifère** : se divise en trois séries qui sont de haut en bas :
 - o le Tagora supérieur ;
 - o le Tagora inférieur,
 - o. la série de Térada.

Chacune de ces trois séries du Permo-carbonifère débute par des grès fluvio-glaciaire au Téragh dans le Térada, une formation fluvio-estuarien au Guézouman dans le Tagora inférieur (avec le conglomérat radioactif de Téléflak à la base) et fluvio-deltaïque au Tarât, dans le Tagora supérieur.

Ces trois séries se poursuivent ensuite par un épisode marin à épicontinental. Cet épisode est de l'argilite du Talak dans le Térada, du Tchinezogue dans le Tagora inférieur et du Madaouéla dans le Tagora supérieur. Les séries se terminent enfin par un niveau gréseux fin et silteux : unité d'Akola dans le Térada et unité d'Arlit dans le Tagora supérieur.

- **le Permien** : correspond à deux cycles, comprenant successivement un épisode fluvatile (grès des séries de l'Izégouande et de Tamamaït) et un épisode lacustre (argilite des séries de Téjia et de Moradi);
- **le Trias** : représenté par les grès fins du Téloua 1 (série d'Aguelal). La série de Goufat, représentée par les formations fluviales et lacustres du Téloua 1 et 2 est triasique ou jurassique ; le Jurassique : représenté par le Tchirezrine 1 et 2, avec des intercalaires lacustres (Abinky).
- **le Crétacé inférieur** : constitué par la formation argileuse lacustre de l'Irhazer. Il comprend à sa base, les niveaux des grès fins et silteux de l'Assaouas et à son sommet, la formation fluvatile de Tegama formée des grès fin à grossier avec présence des os des dinosaures et des bois silicifiés (Rachid, 2013).

La figure 6 présente le Log stratigraphique synthétique de la Zone d'étude.

ÈRES	PÉRIODES	ÉPOQUES	GROUPES	FORMATIONS OU UNITÉS ET ÉCHELLE	COLONNE LITHOLOGIQUE			DESCRIPTION SOMMAIRE DES FACIÈS	PRINCIPALES NAPPES
					Arg.	Grès Calc.	Cgt.		
PALÉOZOÏQUE SUPÉRIEUR	Jurassique	sup.	Grès. D'Agadez	F. Abinky	1600		Analcimolites et grès conglomératiques à bois silicifié	Nappe de Tétoua	
		moy.		F. Tehmezine 1					
		inf.		F. Tétoua 2					
		Trias		F. Tétoua 1					1400
	Permien		Lé gou-andane	F. Moradi	1700		Argilites rouges à chenaux d'arkose	Nappe d'Izégouande	
				F. Izégouande			Grès calcaires à lentilles d'argilites rouges		
	Carbonifère	Namuro-Westph	Tagora	U. Arlit	1000		Grès fins argileux	Nappe de Tarat	
				Madaouéla			Alternance de grès et d'argilo-siltites		
				Tarat			Grès grossiers et argilo-siltites		
				Blanchâtre			Argilites et grès argileux		
				Guézouman			Grès avec conglomérats à la base		
		Visé en	Terada sup.	Unité d'Akokan	F. Talak	800		Bancs gréseux parfois en blocs basculés	Nappe de Farazekat
					F. Farazekat			Argilites à dropstones, grès à rides	
					F. Farazekat			Grès grossiers passant aux tillites	
					F. Farazekat			Grès grossiers	
F. Farazekat					Grès grossiers				
Dévo-	Té rada inf.	Amesgueur	Amesgueur	600		Dalle à Spirophyton			
			Touaret			Argilites Grès			
			Ideké			Psammites fossilifères			
PALÉOZOÏQUE INFÉRIEUR	Silurien	Schistes à Graptolites		400		Schistes calcaires à graptolites			
						Schistes argileux et grès fins à rares tigillites			
	Cambro-Ordovicien	In-Azaoua	F. d'In-Azaoua	200		Alternance de grès à tigillites et d'argilo-siltites			
			I'indi						
		Timesgar	0 m		Conglomérats à intercalation de grès micacés				
PRÉCAMBRIEN							Socle granito-gneissique		

Figure 6: Log stratigraphique synthétique de la région d'Arlit (BOKO et al., 2017)

I.7 Cadre Structurale de la zone d'étude

Des nombreuses failles affectent les formations géologiques dans le domaine d'étude ; mais l'accident qui a plus marqué la zone est la flexure-faille d'Arlit de direction nord-sud. C'est un accident subvertical qui a joué en décrochement sénestre sur une longueur de 200 à 300 m dans le secteur de l'étude. La flexure faille d'Arlit présente un rejet vertical qui a provoqué l'effondrement du compartiment Ouest, tandis que le compartiment Est se trouve surélevé. D'autres flexures d'orientation Nord 30°, non moins importante affectent aussi le secteur (Rachid, 2013).

Ces fracturations ont jouées un rôle important pour la recharge des nappes captives de la région d'Arlit. La figure 7 présente La cartographie de la fracturation à l'échelle de la zone d'Arlit.

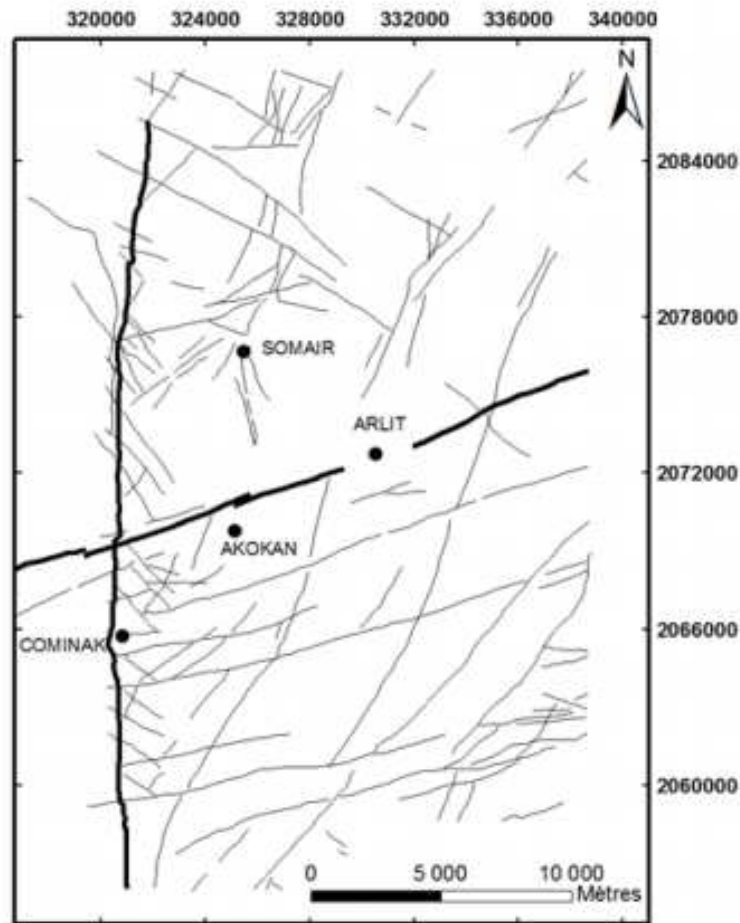


Figure 7 : carte structurale de la zone d'Arlit (BOKO et al., 2017)

1.8 Description des activités minières

Le CEA avait lancé une campagne de prospection à partir de 1959 sur le vaste territoire nigérien. Cette campagne a conduit à la découverte d'une série de gisements d'Uranium dans la région d'Arlit. L'exploitation et le traitement de l'uranium par la Société des Mines de l'Air (SOMAÏR) et la Compagnie Minière d'Akouta (COMINAK) ont conduit à la création de la ville d'Arlit à environ 6 km au Sud-est du site de la SOMAÏR, et l'émergence de la petite cité d'Akokan aux alentours de la COMINAK, à environ 7 km à l'Ouest de la ville d'Arlit (N'DAH, 2013).

L'Uranium est un radioélément présent naturellement dans l'environnement. C'est un métal lourd (émetteur du rayonnement α) qui présente une toxicité chimique et radiologique ; cette double toxicité lui confère le caractère cancérigène. Cette toxicité est due aux propriétés chimiques (métal lourd) et radiologique (Carine, 2010)

L'Uranium a été découvert en 1789 par le chimiste allemand Martin Klaproth, c'est l'élément le plus lourd présent naturellement dans les roches, les sols et l'eau. Dans la croûte terrestre, l'uranium a une concentration moyenne de 2 mg/kg. Il a pour symbole U ; c'est le dernier

élément naturel du tableau périodique de Mendeleïev. L'Uranium a le plus grand numéro atomique ($Z = 92$) (Souidi et al., 2009).

La figure 8 présente la position des deux sites miniers de COMINAK et SOMAIR ainsi que les deux villes induites (ARLIT et AKOKAN) sur la carte Techili1.

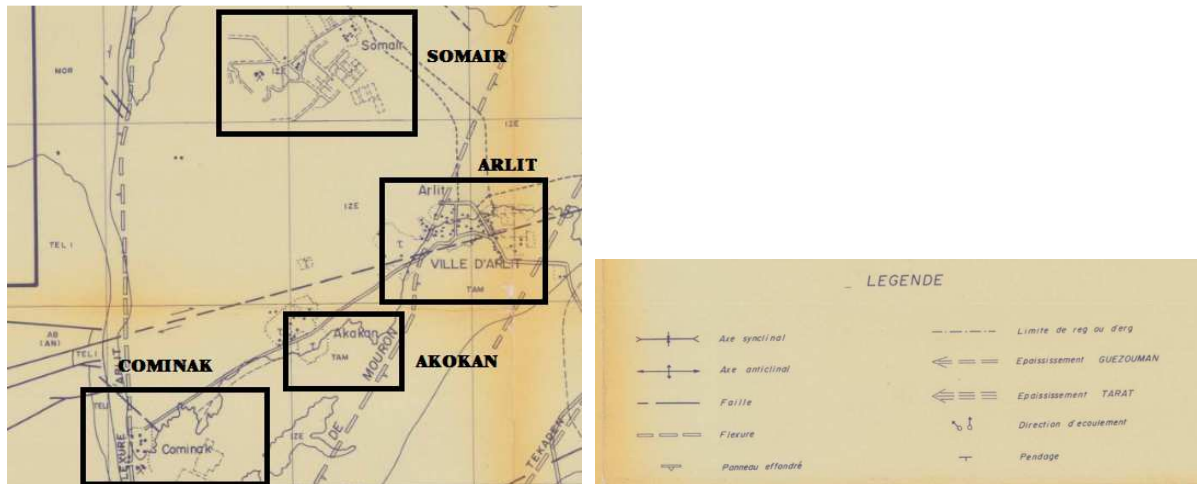


Figure 8: Position des sites miniers sur la carte 1991-1992_CarteCompilée_Techili1

a. SOMAIR

La Société des Mines de l'Air (SOMAIR) a été créée en 1968, et l'exploitation de l'uranium au Niger a débuté en 1971 par cette société à Arlit dans la Région d'Agadez. Plusieurs gisements d'uranium (Arlette, Ariège, Taza, Takriza, Tamou, Tamgak et Artois) ont été exploités depuis le début de l'exploitation. L'extraction du minerai d'Uranium est faite à ciel ouvert avec une profondeur qui varie de 45 à 100 mètres dans un gisement sédimentaire horizontal constitué essentiellement de grès avec une teneur en uranium qui varie de 2 à 3,5%. L'uranium exploité par la SOMAIR est contenu dans la Formation de Tarât, d'âge carbonifère supérieur. La capacité de la production est de 2000 à 2500 tonnes d'uranium par an (Bassirou, 2018).

L'extraction du minerai se fait à ciel ouvert. Elle intervient après la découverte qui consiste à enlever la couche stérile avant d'accéder au minerai par abattage à l'explosif. Ensuite la tranche minière qui est la partie minéralisée du gisement est extraite. Le minerai extrait est traité par lixiviation en tas ou par lixiviation dynamique Au fur et à mesure de l'avancement des travaux, les trous sont autoremblayés avec du stérile appartenant à la même fosse exploitée. Les fosses en fin d'exploitation sont partiellement remblayées à l'aide du stérile de la fosse voisine. La teneur moyenne est de 1,9 kg d'uranium par tonne de minerai pour la mine de SOMAIR (Bassirou, 2018).

La figure 9 présente le schéma d'exploitation minière de la SOMAIR.

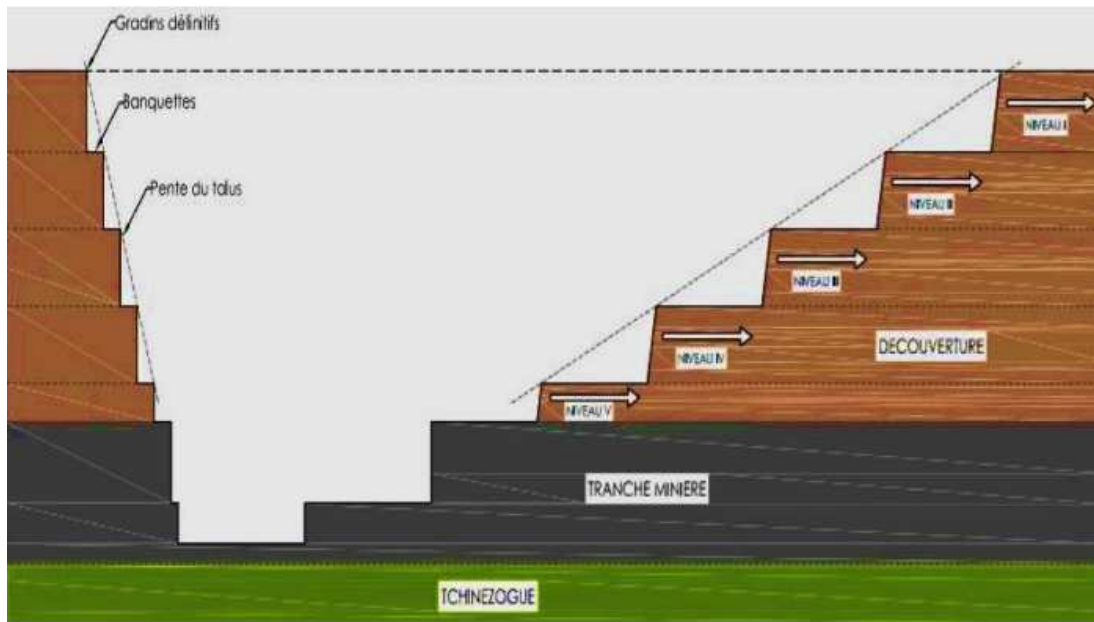


Figure 9: schéma d'exploitation de la SOMAIR (Bassirou, 2018)

b. COMINAK :

La Compagnie Minière d'Akouta (COMINAK) a été créée en 1974. Elle exploite du minerai d'uranium par des travaux souterrains depuis 1977. La mine est à 250 m sous la terre et regroupe 250 km de galeries. L'exploitation minière d'Akouta est la plus grande mine d'uranium souterraine au monde. La Cominak exploite le minerai d'Uranium dans la formation du Guézouman. Une descendrière de 20% de pente sur 1300 mètres de long permet l'accès à la mine. Le minerai extrait est ensuite remonté en surface à l'aide des Bandes transporteuses. Le traitement est fait à l'usine située juste au-dessus de la mine. Il comprend plusieurs étapes qui sont : les opérations mécaniques (séchage, broyage et criblage), la dissolution énergétique qui se fait avec les acides sulfurique et nitrique ; la purification et la concentration qui se fait par les solvants aminés ; la précipitation par neutralisation à la magnésie et le séchage. Le produit fini est appelé dans ce cas l'uranate de magnésie (yellow-cake), il contient plus de 70% d'uranium métal (Aghirin'man, 2015).

La capacité de production de la COMINAK est de 1 332 tonnes d'uranium par an. La teneur moyenne est de 3,6 kg d'uranium par tonne de minerai pour la mine de COMINAK. La Méthode d'exploitation au niveau de la COMINAK est la technique de Chambre et pilier et la Méthode de traitement est la méthode de lixiviation Dynamique (Rabani et Abdourazakou, 2013).

1.9 Contexte Hydrogéologique

Le secteur d'étude étant situé dans le désert du Sahara, l'eau de surface est rare et le réseau de drainage consiste donc en des cours d'eau éphémères appelés oueds. Ces oueds sont caractérisés par des écoulements de courte durée faisant suite à de fortes pluies mais restent secs pendant presque toute l'année. L'utilisation de l'eau de surface se limite essentiellement à l'alimentation de la végétation clairsemée et à l'abreuvement occasionnel du bétail dans des marres temporaires.

A Arlit, l'évapotranspiration potentielle peut dépasser 4 000 mm/an alors que la précipitation est inférieure à 150 mm/an. L'alimentation des nappes par les précipitations sur les zones d'affleurements est donc minime (SRK, 2015).

La production d'eau est assurée par pompage dans les nappes captives aux eaux fossiles de la région. L'hydrogéologie du bassin de Tim Mersoï dans la zone minière d'Arlit est marquée par l'existence de cinq nappes fossiles comprenant de la base au sommet:

- **la nappe de Farazekat,**
- **la nappe de Guézouman,**
- **la nappe de Tarât,**
- **la nappe d'Izégouande et**
- **la nappe de Téloua.**

La nappe de Farazekat n'affleure pas dans la zone d'étude, elle n'affleure qu'à la bordure occidentale de l'Air elle ne sera donc pas décrite plus en détail dans le cadre de ce travail.

L'aquifère à nappe libre de Téloua est le moins profond ; il est constitué de grès généralement grossiers à micros conglomératiques et n'affleure qu'à l'Ouest de la flexure-faille d'Arlit.

Les nappes captives du Guézouman et du Tarât sont elles contenues dans des formations gréseuses hôtes des minéralisations uranifères qui sont exploitées respectivement par la COMINAK et la SOMAIR.

La nappe de l'Izégouande est aussi peu profonde, son réservoir est formé par des grès arkosiques, grossiers à niveaux et à passées micro conglomératiques. Cette nappe est plus étendue que les précédentes (Rabani et Abdourazakou, 2013).

Localement au niveau de la zone industrielle de la Cominak, trois autres nappes ont été mises en évidence notamment :

- **Les koris** : c'est une nappe alluviale du cory Akokan. Il s'agit d'une nappe identifiée par certains piézomètres et rechargée lors des crues annuelles du cours d'eau (Anteagroup, 2011).
- **La Nappe du Moradi : le Moradi** n'est pas considérée comme une formation aquifère. A l'échelle régionale mais les sondages réalisés le long de la Zone Industrielle de la Cominak, ont montré la présence d'un niveau conglomératique d'une puissance variable de 4 à 8 m contenant de l'eau.
- **La Nappe du Tamamaït** : la présence d'eau a été observée dans les niveaux gréseux du Tamamaït Sur le secteur de la Cominak.

Ces deux dernières nappes sont des nappes de faible perméabilité qui ne sont généralement pas considérées comme des aquifères. Elles sont considérées comme communicantes du fait de la présence de nombreux accidents tectoniques et de forages captant les deux horizons (Rabani et Abdourazakou, 2013).

Ces nappes locales ne seront pas abordées dans la suite de notre travail.

I.9.1 Aquifère de Guézouman :

L'aquifère est constitué par l'ensemble de la formation du Guézouman qui est l'hôte des gisements uranifères exploités par la COMINAK. Le Guézouman a une épaisseur de 30 à 70 m avec une moyenne de 40 m. La nappe est limitée au Nord et à l'Est par la formation elle-même et se poursuit bien au-delà du domaine d'intervention à l'Ouest et au Sud.

La nappe du Guézouman est plus profonde à l'Ouest de la flexure d'Arlit, par rapport à l'Est de la flexure. Le mur de l'aquifère est constitué par la formation du Talak qui est constitué

d'argilites très épaisses (100 à 200 mètres) ; son toit est composé par la formation du Tchinezogue qui est aussi une formation argileuse imperméable. La nappe du Guézouman peut ainsi être considérée comme indépendante des nappes sous et sus-jacentes (AMAN, 2012).

Le Guézouman est un aquifère profond, captif en domaine sédimentaire exploité uniquement au niveau de la COMINAK pour le besoin en eau industrielle de la mine. Les caractéristiques de l'aquifère ont été donc calculées à partir des données de la COMINAK. Différents types d'essais de pompage ont été réalisés sur des ouvrages captant la nappe dans le secteur de la Cominak pour calculer la transmissivité (T), la conductivité hydraulique (K) et le coefficient d'emmagasinement (S) (AMAN, 2012).

Le tableau 2 présente les paramètres hydrodynamiques de la nappe du Guézouman.

Tableau 2 : Paramètres hydrodynamiques du Guézouman (Rabani et al., 2015).

Caractéristiques du GUEZ	Débit spécifique Qs (m ³ /h/m)	Transmissivité T (m ² /s)	Conductivité hydraulique K (m/s)	Emmagasinement S
MOYENNE	1.22×10^{-01}	4.10×10^{-05}	1.34×10^{-06}	4.50×10^{-05}
ECART TYPE	1.67×10^{-01}	4.98×10^{-05}	9.84×10^{-07}	1.29×10^{-05}
MEDIANE	9.65×10^{-03}	1.40×10^{-05}	1.20×10^{-06}	4.75×10^{-05}
MINIMUM	4.24×10^{-06}	1.50×10^{-06}	1.30×10^{-07}	2.50×10^{-05}
MAXIMUM	5.00×10^{-01}	1.80×10^{-04}	3.00×10^{-06}	6.50×10^{-05}

D'après l'étude sur l'état des lieux sur les aquifères de la zone minières d'Arlit : hydrogéologie et Hydrochimie, faite en 2013-2014 les eaux de Guézouman sont de type sodique. Les sels dominants sont soit le sulfate de sodium soit l'hydrogénocarbonate de sodium. Les pH sont compris entre 7.6 et 9.4 caractérisant ainsi des eaux basiques.

La nappe du Guézouman est peu productive et est située à plus de 200 m de profondeur sous le site COMINAK en est flexure (Anteagroup, 2011).

Il est à noter que l'estimation des réserves d'eau du Guézouman n'a pas été effectuée. La nappe du Guézouman a été mise en exploitation par la COMINAK en 1978 pour le besoin en eau industrielle.

La carte piézométrique du Guézouman réalisée en 1970 montre que les eaux s'écoulaient initialement selon une direction SE-NW de l'isopièze 425 à l'isopièze 385 avec un gradient général de l'ordre de 0.1 %. On note un resserrement des courbes le long de la flexure faille d'Arlit car elle joue un rôle d'écran semi perméable. D'après ce schéma piézométrique, le Guézouman peut être considéré comme une nappe fossile s'écoulant à partir d'une zone d'alimentation ancienne au Sud vers une zone d'évaporation au Nord en limite de nappe, là où elle a une surface libre (N'DAH, 2013).

La figure 10 présente la piézométrie du Guézouman en 1970.

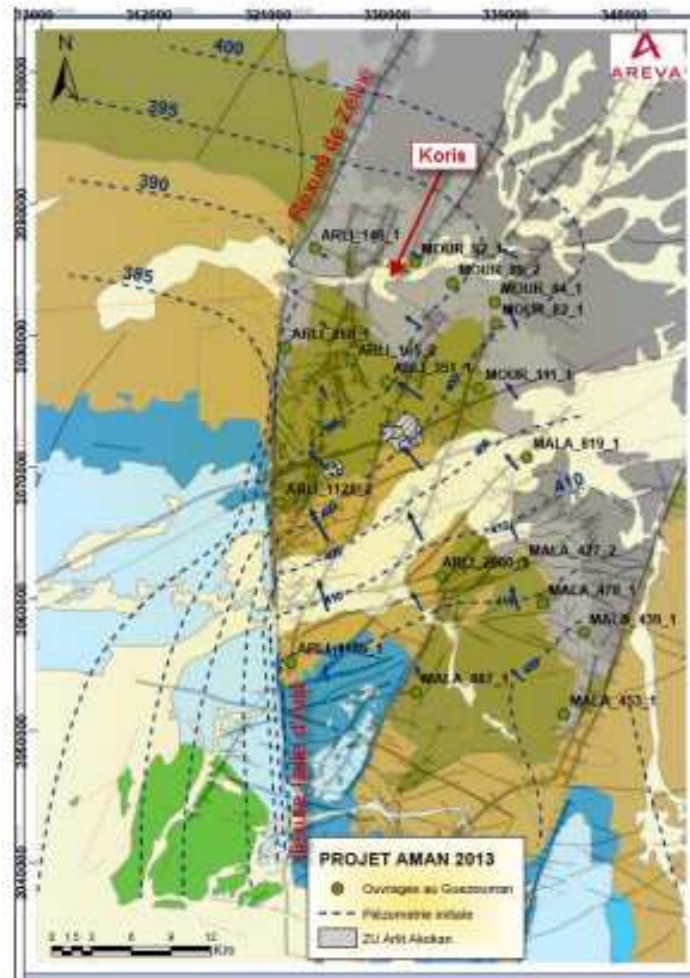


Figure 10: piézométrie de la nappe du Guézouman en 1970(N'DAH, 2013)

Un an après sa mise en exploitation, le sens de l'écoulement du Guézouman a complètement été modifié sous l'effet des travaux miniers et toutes les eaux convergent vers la mine. Le débit de l'eau de la nappe du Guézouman exhauré au niveau de la COMINAK est inconnu, mais il est estimé à environ 10% du débit total d'eaux industrielles au niveau de la COMINAK qui comprend l'eau des autres aquifères que sont l'Izégouande et le Tarât(N'DAH, 2013).

Les figures 11 et 12 présentent respectivement la piézométrie du Guézouman en 1979 et en 2012.

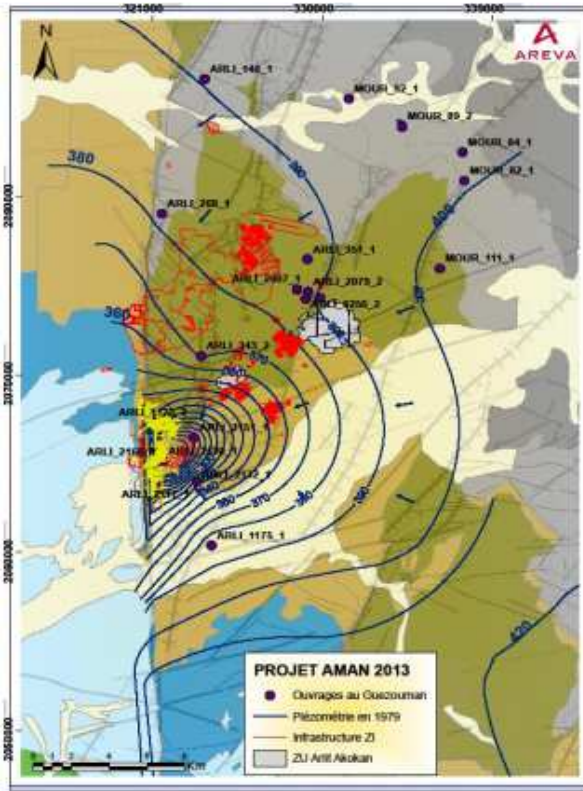


Figure 11 : Piézométrie de la nappe du Guézouman en 1979

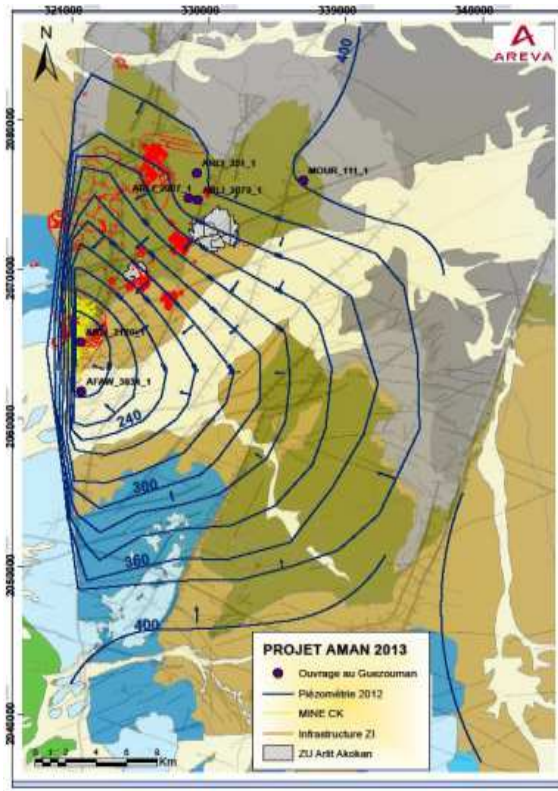


Figure 12: Piézométrie de la nappe du Guézouman en 2012 (N'DAH, 2013)

I.9.2 Aquifère de Tarât :

La formation du Tarât est constituée par des grès moyens à grossiers, micro conglomératiques par endroit, avec des intercalations de niveaux argileux. L'ensemble de cette formation, du tarât qui est très riche en matière organique (végétaux) s'est déposé dans un environnement estuarien. L'ensemble de la formation du Tarât forme l'aquifère.

La nappe du Tarât est limitée au Nord et à l'Est par les limites de la formation du Tarât. Au Sud-est, la flexure faille d'Izeretagen constitue une limite pour l'aquifère du Tarât. A l'Ouest, la faille d'Arlit de direction Nord-Sud semble être associée à des déplacements verticaux qui mettent en contact l'aquifère du Tarât avec des niveaux à très faible perméabilité (AMAN, 2012).

Le Tarât s'enfonce rapidement sous les formations d'Izégouande et de Madaouéla qui deviennent de plus en plus puissantes à l'Ouest de la flexure d'Arlit. Il n'y a pas de communication entre la nappe du Tarât et celle du Guézouman sous-jacente car le mur du Tarât est constitué par une épaisse formation argilo-gréseuse imperméable, le Tchinezogue. Le toit de l'aquifère du Tarât est constitué par la formation du Madaouéla (argiles et alternances), souvent absente en Est flexure. Quand le Madaouéla est absent, les grès argileux de l'Arlit reposent directement sur le Tarât, donc il y a possibilité d'une communication entre la nappe du Tarât et celle de l'Izégouande situé au-dessus, par drainance naturelle à travers la formation d'Arlit. La nappe de Tarât a une épaisseur qui varie entre 10 et 60 m pour une moyenne de 30 à 40 m. D'après les études menées par SCETAGRI en 1969, à l'origine la nappe du Tarât s'écoulait régulièrement selon une direction SSE-NNW de l'isopièze 401 m à l'isopièze 393 m avec un gradient de l'ordre de

0,35/1000. Cependant, actuellement les écoulements s'effectuent en direction du secteur d'Arlit sous l'influence des pompages pour l'eau potable implantés dans ce secteur et en direction des mines sous l'influence des pompages pour l'eau industrielles. Les différents types d'essais de pompage ont été réalisés sur les ouvrages captant la nappe du Tarât. Des caractéristiques hydrodynamiques obtenues au cours de ces essais varient suivant les secteurs géographiques (AMAN, 2013).

Le tableau 3 présente les paramètres hydrodynamiques de la nappe du Tarât.

Tableau 3: paramètres hydrodynamique du Tarât (Rabani et al., 2015).

Caractéristiques	Débit spécifique Qs (m ³ /h/m)	Transmissivité T (m ² /s)	Conductivité hydraulique K (m/s)	Emmagasinement S
MOYENNE	2.79	1.07×10 ⁻⁰³	2.77×10 ⁻⁰⁵	2.74×10 ⁻⁰³
ECART TYPE	4.23	1.85×10 ⁻⁰³	5.61×10 ⁻⁰⁵	1.45×10 ⁻⁰²
MEDIANE	1.64	4.31×10 ⁻⁰⁴	1.55×10 ⁻⁰⁵	7.00×10 ⁻⁰⁵
MINIMUM	4.16×10 ⁻⁰⁴	4.30×10 ⁻⁰⁶	1.95×10 ⁻⁰⁷	1.00×10 ⁻⁰⁵
MAXIMUM	26.60	1.08×10 ⁻⁰²	4.50×10 ⁻⁰⁴	8.50×10 ⁻⁰²

Le Tarât est un aquifère captif exploité depuis le début des activités minières au Niger pour le besoin en eau potable et en eau industrielle de la zone. La profondeur du Tarât a été déterminée initialement en 1980 ; donc cette profondeur est considérée comme la profondeur en début d'exploitation. Ainsi en cette période, le niveau piézométrique de la nappe variait entre 50 à 160 m selon les endroits (Rabani et al., 2015).

L'estimation précise des réserves en eau du Tarât n'a pas été faite mais l'estimation faite dans la concession d'Orano (Areva) qui détient les permis de COMINAK et SOMAIR donne un volume total de l'aquifère sur une surface de 460 Km² concernant la zone d'Arlit de 1.3 milliards de m³ avec un coefficient d'emmagasinement de 10% (source : SOMAIR, 2019).

Cet aquifère est le plus intéressant du système multicouche de la région du fait de sa productivité et de sa proximité géographique. Pour une optimisation des ressources en eau souterraine de la région, le projet AMAN a été mis en place par les sociétés minières d'Arlit en 2003 (AMAN, 2005).

L'analyse chimique des eaux montre que les eaux du Tarât sont toutes de type alcalin bicarbonaté sodique dont le pH, entre 7 et 12 caractérise des eaux basiques et chlorurée sodique et potassique (Rabani et al, 2015)

La carte piézométrique du Tarât réalisée avant le début des activités minières montre qu'initialement l'eau du Tarât s'écoulait globalement vers une direction générale de direction SE-NW. La nappe du Tarât pourrait aussi être considérée comme une nappe fossile dont les eaux convergeaient et débordaient vers une zone d'évaporation au Nord de la zone d'étude. Les figures suivantes illustrent la variation du sens d'écoulement dans le tarât au début d'exploitation et en 2013.

Les figures 13 et 14 présentent la piézométrie du Tarât en 1968 et en 2013 respectivement. La figure 15 présente la nappe du tarât affleurant dans une ancienne fosse exploitée par la SOMAIR (la fosse Ariège).

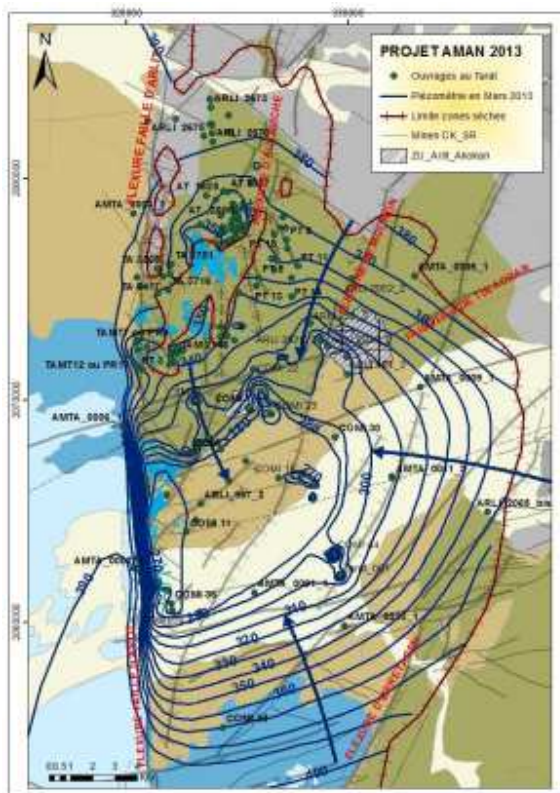


Figure 13: carte piézométrique de l'aquifère du Tarât en 1968

Figure 14 : carte piézométrique de l'aquifère du Tarât en 2013 (N'DAH, 2013)



Figure 15: affleurement de la nappe du Tarât au fond de la mine à ciel ouvert Ariège ((IRSN, 2004)

I.9.3 Aquifère d'Izégouande

La nappe de l'Izégouande se poursuit à l'Ouest et au Sud au-delà de la zone d'intervention, elle est limitée au nord et à l'est par les limites de la formation elle-même. La formation de Téjia constitue le toit de l'Izégouande (AMAN, 2013).

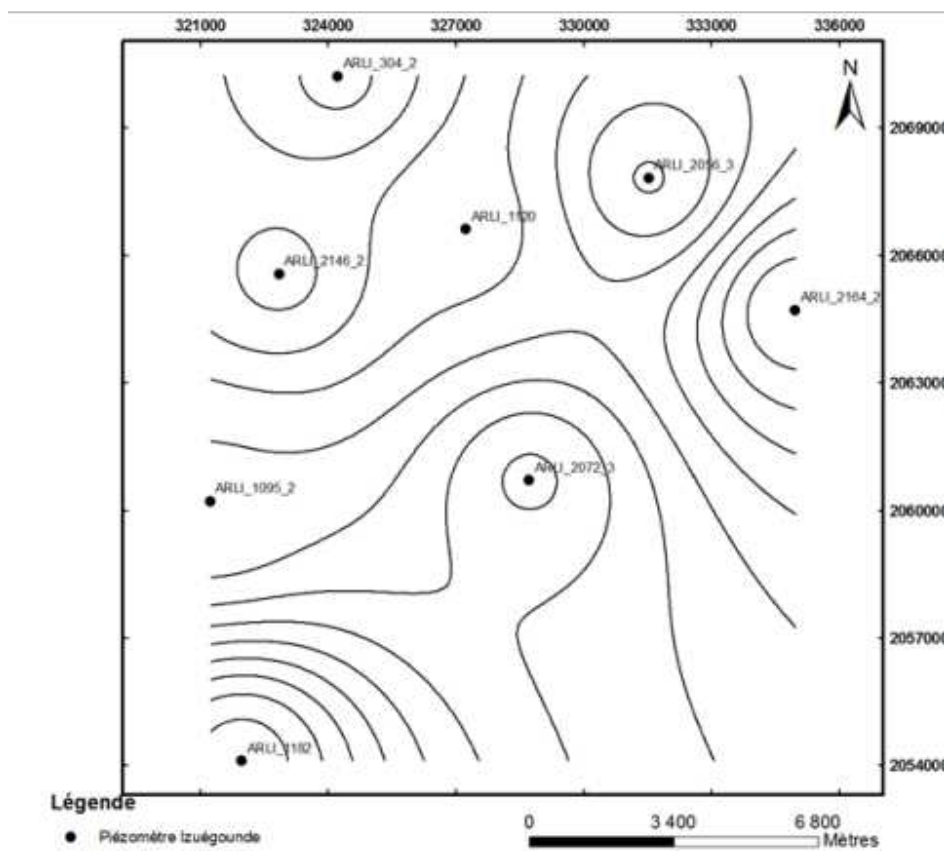
Les essais de pompages réalisés sur des ouvrages captant la nappe de l'Izégouande ont permis de déterminer les paramètres hydrodynamiques de la nappe : les conductivités hydraulique (K) comprises entre 3.5×10^{-7} m/s et 1.1×10^{-4} m/s ; les transmissivités (T) varient entre 1.2×10^{-6} m²/s et 4.0×10^{-4} m²/s.

Plusieurs études ont montré que les eaux de l'Izégouande sont de type alcalin bicarbonaté sodique avec des pH compris entre 8 et 9,2 (Rabani et al, 2015 ; AMAN, 2013).

L'aquifère d'Izégouande est plus étendu que l'aquifère du Guézouman et du Tarât dans la zone d'étude. Cet aquifère à nappe captive dont le réservoir est constitué de grès arkosiques, grossiers à niveaux et à passées micro conglomératiques a une épaisseur qui varie de 40 à 60 m environ dans le secteur d'étude (BOKO et al., 2017)

La nappe d'Izégouande est mise en exploitation en 2009 pour l'approvisionnement en eau potable des sociétés minières. Sa productivité est assez modeste.

L'estimation des réserves en eau de la nappe de l'Izégouande n'a pas encore été faite. Les études menées en 1969 par SCETAGRI, montrent que la nappe s'écoulait régulièrement selon une direction SSE-NNW de l'isopièze 401 m à l'isopièze 394 m avec un gradient de l'ordre de 0,5/1000 initialement. Les figures 16 présentent la piézométrie de la nappe de l'Izégouande en 1979.



La nappe d'Izégouande est plus sollicitée au niveau des mines de COMINAK à travers les trous d'aérage et sur le secteur du réseau de captage des puits IZEG exploités par la SOMAÏR pour l'eau potable. Ces deux zones constituent de cônes de dépression de l'Izégouande. La figure 17 donne une idée de cette dépression.

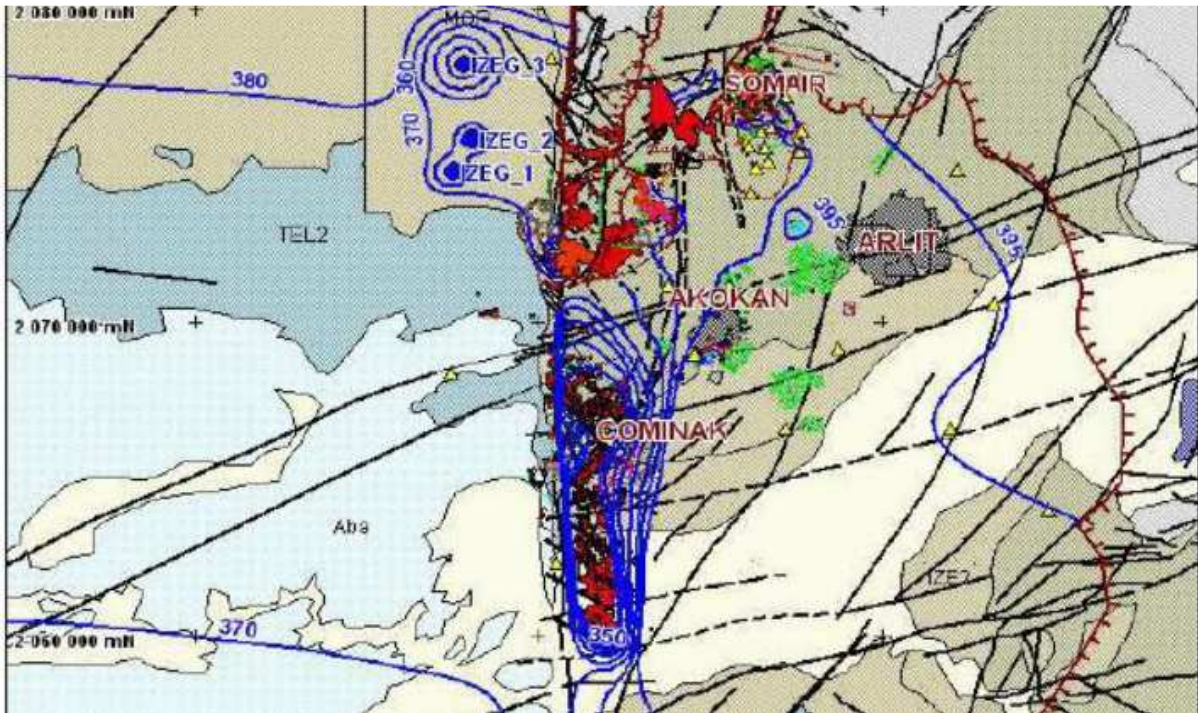


Figure 17 : cône de dépression observé dans la nappe de l'Izégouande (Rabani et Abdourazakou, 2013)

1.9.4 Aquifère de Téloua

Le Téloua est une formation gréseuse qui affleure dans les limites de la concession d'Arlit, à l'Ouest de la flexure faille d'Arlit In Azaoua. Ces grès se reposent sur la série d'Izégouandane qui constitue le mur de la nappe du Téloua. Le toit étanche des nappes du Téloua est constitué des analcimolites et de l'Abinky, formations vraisemblablement très imperméables. Le Téloua est constitué des grès grossiers souvent micro-conglomératiques et peut être considérés comme ayant une bonne perméabilité et une porosité importante. Les essais de pompage effectués sur cet aquifère montrent qu'il constitue un bon réservoir qui pourrait être exploité. Les valeurs hydrodynamiques obtenues lors de ces essais ont permis d'avoir les valeurs de la conductivité hydraulique entre 9.0×10^{-6} m/s et 1.1×10^{-4} m/s, celles de la transmissivité entre 6.5×10^{-5} m²/s et 2.0×10^{-3} m²/s et le coefficient d'emménagement 1.62×10^{-04} (AMAN, 2013).

Le Téloua est un aquifère captif ou libre dans le domaine sédimentaire selon le contexte géologique. La nappe du Téloua est uniquement présente en ouest de la flexure, les réserves en eau de la nappe n'ont pas encore été estimées. C'est un aquifère gréseux d'une épaisseur de plus de 50 m est affleurant avec un fort pendage ouest en bordure ouest de la flexure (Anteagroup, 2011).

Actuellement, cette nappe est a été mise en exploitation depuis 2013 par la société d'exploitation des eaux du Niger pour l'alimentation en eau potable des habitants de la ville d'Arlit (hors cité minière). Elle présente une productivité intéressante et une bonne potabilité naturelle (AMAN, 2013).

Nous ne disposons pas de la piézométrie de la nappe du Téloua comme cette nappe n'est pas exploitée par les sociétés minières.

Commentaires :

Etant donné que c'est la nappe du Tarât qui était exploitée depuis le début des activités minières, elle a constitué le principal centre d'intérêt de la quasi-totalité des études hydrogéologiques de la Zone. C'est pourquoi nous ne disposons pas de données suffisantes sur les trois autres nappes. Dans la suite de ce travail, un intérêt particulier sera accordé à la nappe du Tarât et à celle de l'Izégouande qui a été mise en exploitation aussi en 2009 par les sociétés minière pour la production de l'eau potable. Les nappes du Guézouman (qui est exploitée uniquement au niveau de la mine de COMINAK par les activités du dénoyage) et la nappe du Téloua (mise en exploitation en 2013), ne seront pas trop abordé dans le cadre de ce travail par manque de données suffisantes relatives à ces deux nappes.

II. Matériels et Méthodes

II.1 Matériels :

Pour le terrain, les matériels techniques suivant ont été utilisé :

- Le GPS Garmin pour l'orientation sur le terrain ainsi que pour vérifier les coordonnées des ouvrages.
- L'appareil photos numérique pour prendre des photos sur le terrain
- L'ordinateur portable pour le traitement des données.
- Le matériel de l'échantillonnage de l'eau.

Pour les matériels numériques de traitement des données, plusieurs logiciels ont été utilisés dans le cadre de ce travail :

- **EXCEL** pour la réalisation des graphiques pour voir l'évolution temporelle des données, les analyses statistiques des données, et la présentation des données sous forme de tableau ;
- **ARCGIS** pour la réalisation des cartes en vue de voir la position des piézomètres sur la zone d'étude et voir l'évolution spatiale de la chimie des eaux ;
- **DIAGRAMME** : Logiciel d'hydrochimie multilingage en distribution libre, pour la détermination du Faciès et du pole des eaux ; il a permis de réaliser les diagrammes suivants :
 - **Le diagramme de Piper**: Ce diagramme donne l'évolution globale des éléments majeurs des eaux souterraines. Il permet de voir l'évolution d'une eau grâce à des analyses des échantillons d'eau pris de façons différentes dans l'espace et dans le temps. Le diagramme de Piper est composé de deux triangles et un losange. Les deux triangles (cations et anions) sont d'abord remplis puis le losange. Les valeurs utilisées sont exprimées en % meq.L⁻¹. Le diagramme de Piper permet d'identifier des groupes et/ou des pôles d'eaux à partir de plusieurs échantillons pouvant présenter des faciès chimiques différents.
 - **Le diagramme de Schoeller-Berkaloff** : Ce diagramme donne l'évolution globale des éléments majeurs. Il se base sur des axes verticaux gradués selon une échelle logarithmique et permet de reconnaître simplement le faciès d'une eau souterraine, en utilisant les concentrations des éléments majeurs et en les reportant sur un graphique en colonnes à échelles logarithmiques. Les teneurs exprimées en meq.L⁻¹ ou mg.L⁻¹ sont reportées sur les axes, puis reliées par des droites. L'avantage principal de ce diagramme est de pouvoir visualiser des concentrations de différents ordres sur le même graphique.

II.2 Méthode :

La méthodologie de ce travail est composée essentiellement de trois phases :

- La collecte des données existantes au sein de la société des Mines de l'Air, du Ministère des Mines du Niger et de la SOPAMIN.
- Une campagne de prélèvement sur le terrain ;
- Une phase d'analyse des échantillons, de traitement des données de leurs interprétations et de rédaction de rapport.

II.2.1 Collecte des données récentes au sein de la SOMAIR :

Les données suivantes ont été collectées auprès de la société des Mines de l'Air :

- Les données de la pluviométrie annuelle moyenne de la ville d'Arlit de 1977 à 2018 ;
- Les données du bilan de la production annuelle totale de l'eau (puits et exhaure) de la nappe de Tarât et de l'Izégouande depuis 1969 à 2018, dans toute la zone minière d'Arlit ;
- Les données de l'évolution moyenne mensuelle du niveau piézométrique autour de la colonne de dénoyage sur Artois (fosse encours d'exploitation à la SOMAIR) de 2016 à 2018 ;

Dénoyage : Dans certaines parties du gisement, l'eau se trouve au dessus du niveau de la minéralisation et donc la tranche minière beigne dans l'eau de la nappe du Tarât. Pour éviter la pollution de la nappe et faciliter l'extraction du minerai, l'eau est pompée jusqu'à ce que le niveau soit en dessous de la zone exploitée puis envoyée au niveau des bassins par des collecteurs. Cette eau pompée est réutilisée dans les activités industrielles pour un souci de préservation des réserves de l'aquifère. La figure 18 présente une couronne de dénoyage sur Artois en 2019.



Figure 18 : Couronne de dénoyage sur Artois

- Les données de la production de l'eau Industrielle dues au dénoyage sur Artois de 2010 à 2019 ;
- Les données de l'évolution moyenne annuelle du niveau piézométrique des nappes du Tarât, de l'Izégouande et du Guézouman de 1977 à 2017 ;
- Les données de la moyenne annuelle de l'analyse chimique des eaux des ouvrages forés au Tarât et à l'Izégouande dans les environs de la SOMAIR, de 1984 à 2018 ;
- Les données de l'Analyse chimique de l'eau potable de la ville d'Arlit de 1998 à 2018.

NB : Toutes ces données sont en format Excel et la plupart concernent les ouvrages suivis par la SOMAIR.

- Les documents des anciennes études hydrogéologiques de la zone ont été recueillis auprès du Ministère des Mines du Niger, de la Société du patrimoine des Mines du Niger(SOPAMIN) et de la SOMAIR. Ces données sont en fichiers PDF.

II.1.2 Échantillonnage :

Pour faire la caractérisation hydrogéochimique des eaux, des échantillons d'eau des nappes souterraines ont été prélevés et analysés au niveau du laboratoire de la SOMAIR. Compte tenu du temps imparti et de la disponibilité de l'équipe de la SOMAIR, le réseau d'échantillonnage est constitué de 5 ouvrages repartis de la façon suivante :

- Deux ouvrages d'eau potables le surpresseurs AEP S1 (au niveau du château) et le Robinet topo (au niveau de la zone industrielle) ;
- Trois ouvrages d'eau Industrielle qui sont :
 - le puits AT 2324 qui se trouve à coté de la fosse Artois, ce puits capte au tarât ;
 - le piézomètre PI 4 qui capte l'eau de l'IZEG et ;
 - le piézomètre An3 bis qui capte l'eau du Tarât.

Ces deux derniers piézomètres sont destinés au contrôle de la pollution autours des bassins d'exhaure d'eau des mines.

NB : Etant donné que notre zone d'étude est une propriété privée, le choix des ouvrages à échantillonné a été fait avec l'équipe hydrogéologique de la SOMAIR et ces ouvrages ont été choisi surtout pour leur accessibilité.

Les figures 19, 20 et 21 présentent les images de certains des ouvrages échantillonnés.



Figure 19: Robinet topo(ZI)



Figure 20 : AEP S1



Figure 21: Puits AT2324 prélevé pour analyses

La carte présentée sur la figure 22 montre la position spatiale des ouvrages prélevés.

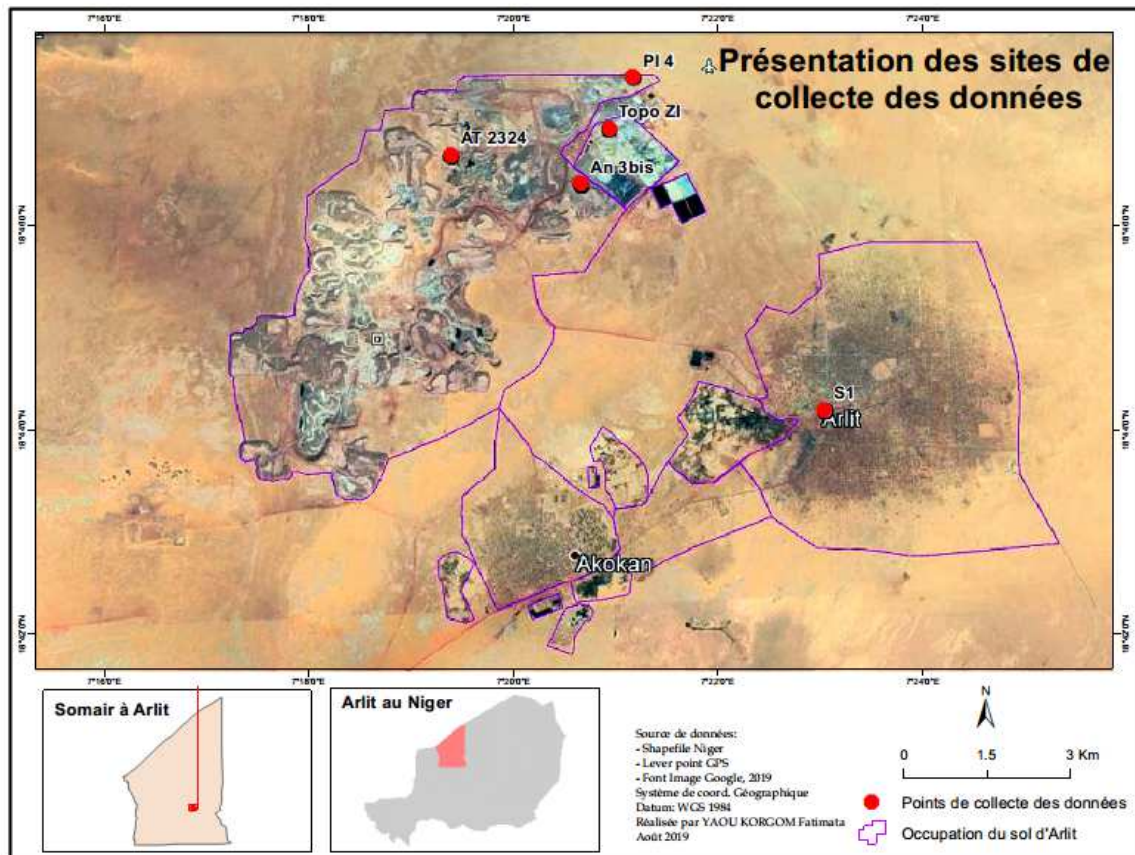


Figure 22 : Carte présentant le réseau d'échantillonnage

II.1.3 Prélèvement Conditionnement et Transport :

Le calendrier des prélèvements a été fait en fonction de la disponibilité de l'équipe et Les prélèvements ont été faits de façon à fournir au laboratoire des échantillons représentatifs. Les conditions d'échantillonnage ont été discutées en amont avec le responsable du laboratoire d'analyses et les flacons nous été fournis par le laboratoire.

Les prélèvements d'échantillons d'eau destinés aux analyses physico chimiques, se sont déroulés selon les règles décrites par BARRÈS. Sur les puits d'adduction d'eau potable, une purge d'une à deux minutes est observée, car ils sont en exploitation continue ; pour les piézomètres une purge plus longue de 30 minutes est observée avant de procéder à l' échantillonnage (Barrès, 1993).

Comme le laboratoire d'analyses se trouve sur le site d'étude, aucun réactif chimique n'a été utilisé pour le conditionnement des échantillons sur le terrain. Les échantillons d'eau sont donc prélevés dans les flacons après rinçage.

Les flacons ont été ensuite étiquetés de la façon suivante :

- le numéro de l'échantillon
- le numéro du point de prélèvement,
- la date et l'heure du prélèvement,
- l'organisme de prélèvement.

Les flacons ont été mis à l'abri de la lumière et automatiquement amené au laboratoire d'analyse. Aucune mesure n'a été réalisée in-situ, toutes les mesures ont été faites au laboratoire compte tenu de sa proximité.

II.1.4 Analyse de l'eau au Laboratoire SOMAIR :

Le laboratoire chimique de la SOMAIR assure le contrôle de la qualité de l'eau, ce laboratoire est certifié pour les analyses physico-chimiques. Le laboratoire SOMAIR a eu son accréditation par le laboratoire de COMURHEX Malvési français en 2002. Les analyses suivantes ont été effectuées sur les échantillons d'eau prélevés dans le cadre de notre étude au niveau de ce laboratoire :

- Les mesures physiques : pH, Température, Conductivité ;
- Les paramètres chimiques : le Titre alcalimétrique, le Titre alcalimétrique complet, les Chlorures, les sulfates, les Nitrates, les Fluorures, le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium et le silicium.

La figure 23 présente quelques images du Laboratoire chimique de la SOMAIR.



Figure 23: Images laboratoire SOMAIR (Avril 2019)

Chapitre 3 : Résultats

III.1 Production totale de l'eau :

Les graphes relatives aux quantités d'eau extraites dans les aquifères Tarât et Izégouande ont été faits à partir des données du bilan de la production annuelle totale de l'eau (puits et exhaure) de la nappe de Tarât et de l'Izégouande depuis 1969 à 2018 dans toute la zone minière d'Arlit ;

La figure 24 présente l'ensemble de la production de l'eau de la nappe de Tarât depuis le début des activités industrielles. Cette nappe était exploitée pour le besoin en eau potable de la population et pour les activités industriels.

La figure 25 présente les résultats du prélèvement total de l'eau au niveau la nappe de l'Izégouande depuis sa mise en exploitation en 2009 pour assurer le besoin en eau potable.

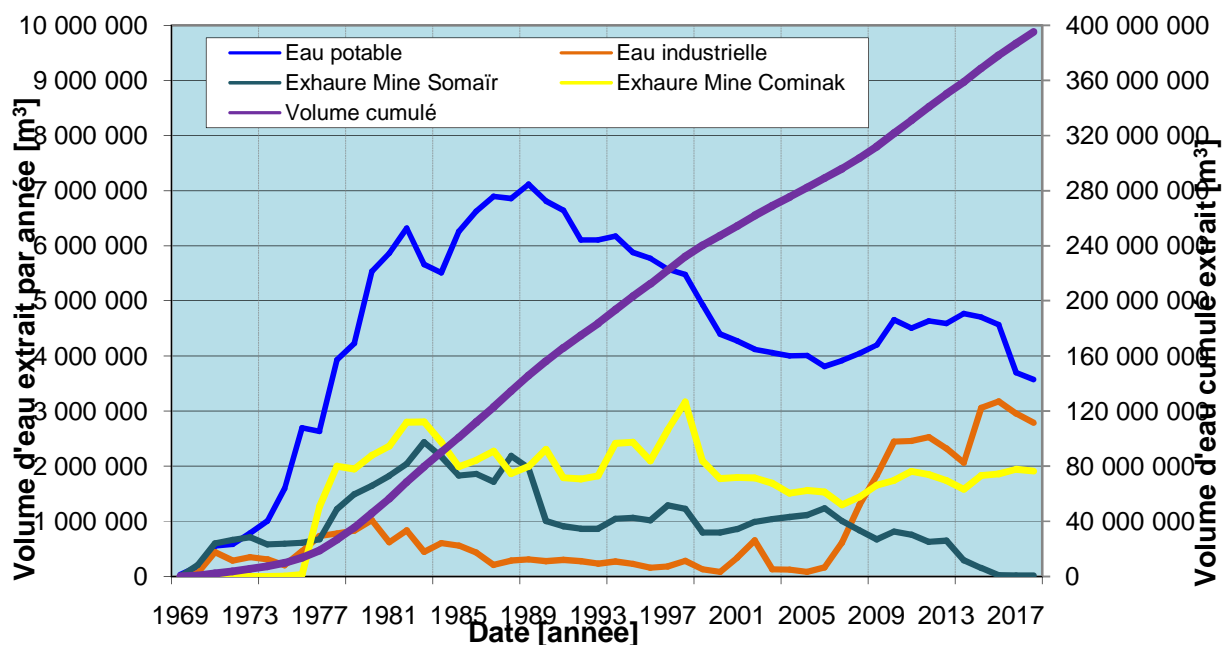


Figure 24: Production d'eau de la nappe de Tarât

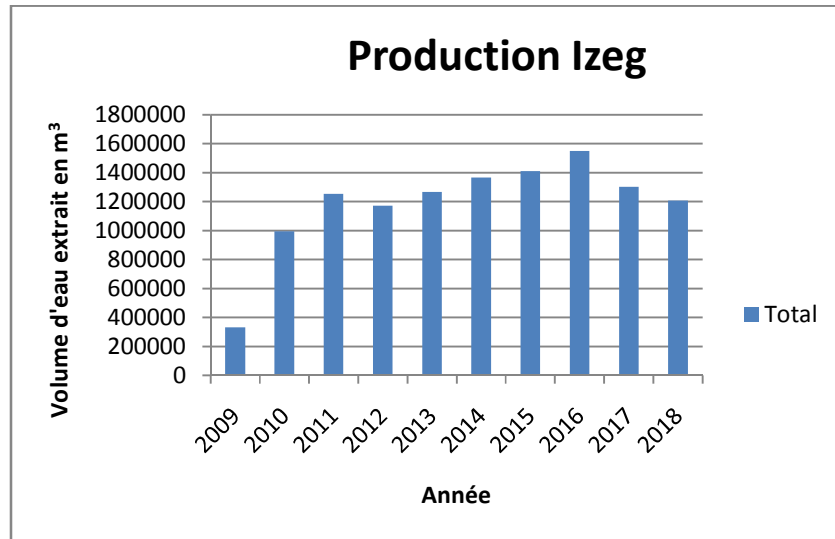


Figure 25: production d'eau de la nappe de l'Izeg

Commentaires :

La production d'eau potable est très variable au niveau de la nappe du Tarât et suis l'évolution du flux de la population vers les zones minières selon que les activités soient florissantes ou non en fonction du cout de l'Uranium. Au début des travaux miniers, la production d'eau est faible ce qui caractérise le démarrage des activités minière et la faible densité de la population dans la zone. A partir de 1974, la production d'eau potable augmente pour atteindre son maximum en 1989. Ceci peut être dû à la mise en exploitation de la COMINAK au boum de l'uranium des années 80 qui a favorisé la convergence de la population vers les zones minières et la consommation des grandes quantités d'eau pour les activités minières qui étaient florissantes en ce moment. De 1997 à 2009, la production d'eau à de nouveau baissé : ceci peut être dû à la baisse du prix de l'Uranium qui à entrainer la réduction de la production de l'Uranium (et donc réduction de la consommation industrielle de l'eau) et aussi le départ volontaires des travailleurs et leurs familles. A partir de 2010, la production d'eau remonte synonyme de la reprise des activités industriels.

Pour les volumes d'eau exhaérés, on constate que depuis la mise en exploitation de la COMINAK, la quantité d'eau exhaéré est supérieure à la quantité d'eau exhaéré au niveau de la SOMAIR. Ceci peut être dû au fait que le gisement exploité par la COMINAK se trouve dans le Guézouman qui est une formation sous-jacente à la Formation du Tarât qui renferme l'aquifère du Tarât. Et donc pour accéder à la minéralisation il faut traverser la formation du Tarât ce qui implique l'exhaure de l'eau contenu à ce niveau.

A partir de 2005 on constate une augmentation de la production de l'eau industrielle, ceci peut être lié à l'augmentation des exploitations industrielles et à certaines nouvelles activités comme la lixiviation in-situ adopté par ces sociétés minières vers cette période.

A partir de 2009, la nappe de l'Izégouande à été mise en production pour assurer le besoin en eau potable des habitants de la cité minière. Depuis sa mise en production, un total de 11 855 090 m³ d'eau à été soutiré (données recueillies en Avril 2019). Le graphe de la production de l'eau de l'Izeg, figure 16 ne montre pas une grande variabilité de la production d'eau, elle reste globalement autour de la moyenne sur 10 ans qui est de 1.185 509 m³.

III.2 Evolution du Niveau des nappes :

A partir des données de l'évolution moyenne annuelle du niveau piézométrique des nappes du Tarât, de l'Izégouande et du Guézouman de 1977 à 2017, des ouvrages suivis par la SOMAIR, les graphes de la figure 25 ont été construits. Ces graphes ont permis d'évaluer l'évolution du niveau des nappes dans la zone de la SOMAIR. La figure 26 présente l'évolution du niveau piézométrique des nappes du Tarât, de l'Izeg et du Guézouman.

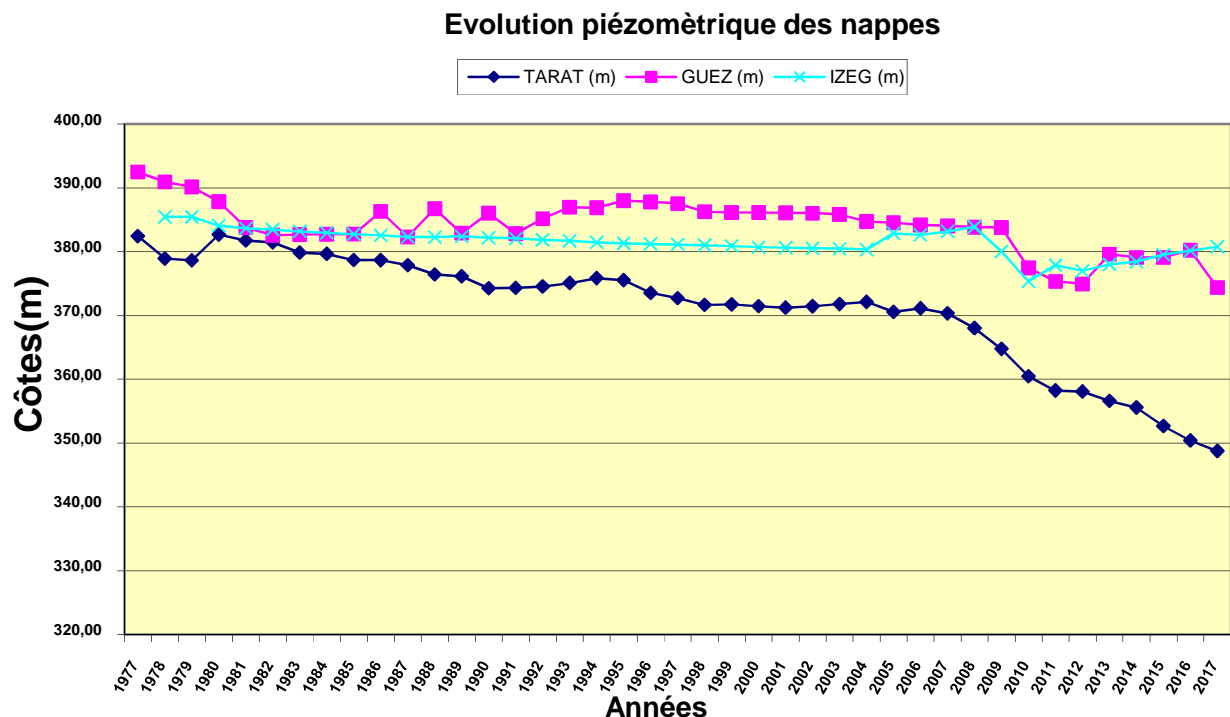


Figure 26: Evolution du niveau piézométrique des nappes

Commentaires :

L'analyse des graphes de l'évolution moyenne des niveaux piézométriques des nappes permet de faire les constatations suivantes (référence tableau annexe 11) :

- Le niveau piézométrique de la nappe du Tarât varie de 382,4 m en 1977 à 348,77 en 2017 soit une variation de 33,63 m ;
- Le niveau piézométrique de la nappe du Guézouman varie de 392,47 m en 1977 à 374,35 en 2017 soit une variation de 18,12 m ;
- Le niveau piézométrique de la nappe de l'Izégouande varie de 385,47 m en 1978 à 380,76 en 2017 soit une variation de 4,71 m ;

La variation de la hauteur piézométrique est plus importante pour la nappe de Tarât car elle constitue la principale source d'approvisionnement en eau depuis le début des activités industrielles.

La variation de hauteur de la nappe de Guézouman n'est aussi pas négligeable car elle est exploitée au niveau de COMINAK pour le besoin en eau industrielle de la mine et des fortes quantités d'eau sont dénoyées pour le besoin de l'exploitation du minerai.

La variation du niveau piézométrique dans l’Izégouande est faible par rapport à celles des deux précédentes car cette nappe est mise en exploitation en 2009 pour l’approvisionnement en eau potable des sociétés minières.

III.3 Résultat du dénoyage Artois :

Les résultats du dénoyage sur Artois ont été obtenus à partir des données de l’évolution moyenne mensuelle du niveau piézométrique autour de la couronne de dénoyage sur Artois de 2016 à 2018. La figure 27 montre la variation de la hauteur d’eau sur 2 ans sous l’effet du dénoyage dans la zone de la fosse Artois (présentement exploitée au niveau de la SOMAIR).

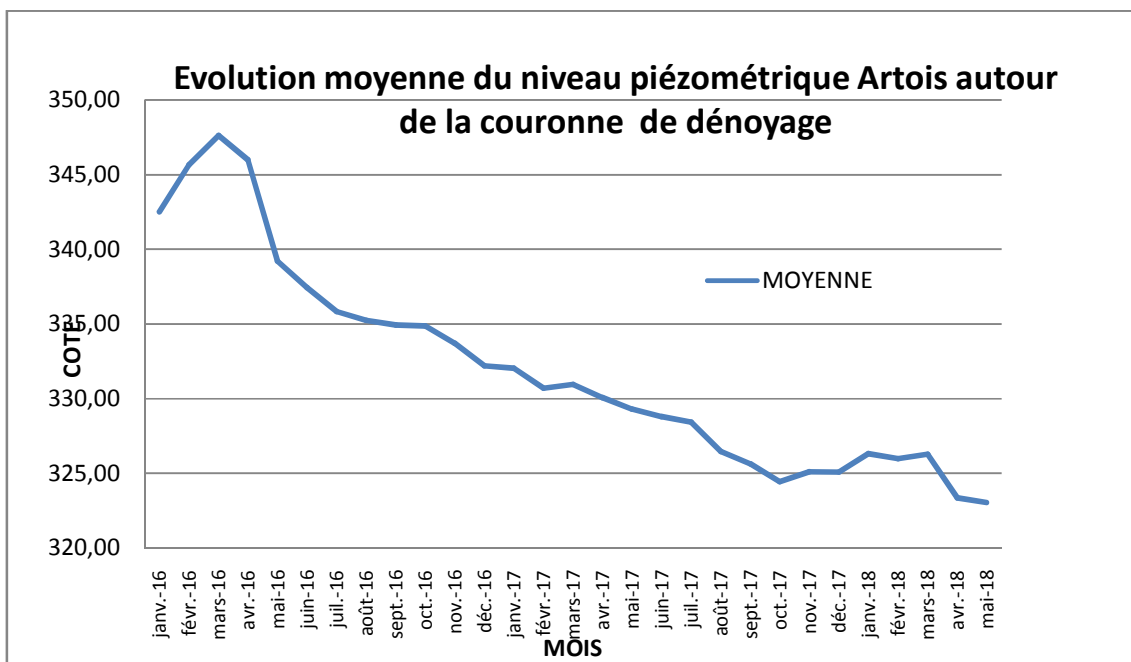


Figure 27: évolution de la hauteur piézométrique au niveau d’Artois

Commentaires :

Les résultats du dénoyage sur Artois montrent une variation moyenne de la hauteur piézométrique de 345,34 m à 336,76 m soit une différence de 8.54 m sur moins de 3 ans (29 mois de Janvier 2016 à Mars 2018) au niveau de la couronne de dénoyage. Ces résultats donnent une idée sur les grandes quantités d’eau.

Le graphe de la figure 28 montre l’évolution de la production d’eau industrielle causé pas le dénoyage sur Artois de 2010 à 2019. Il est construit à partir de la production moyenne annuelle de l’eau sur la fosse Artois. Ce graphe donne une idée sur la quantité d’eau produite par la nappe de Tarat suite au dénoyage.

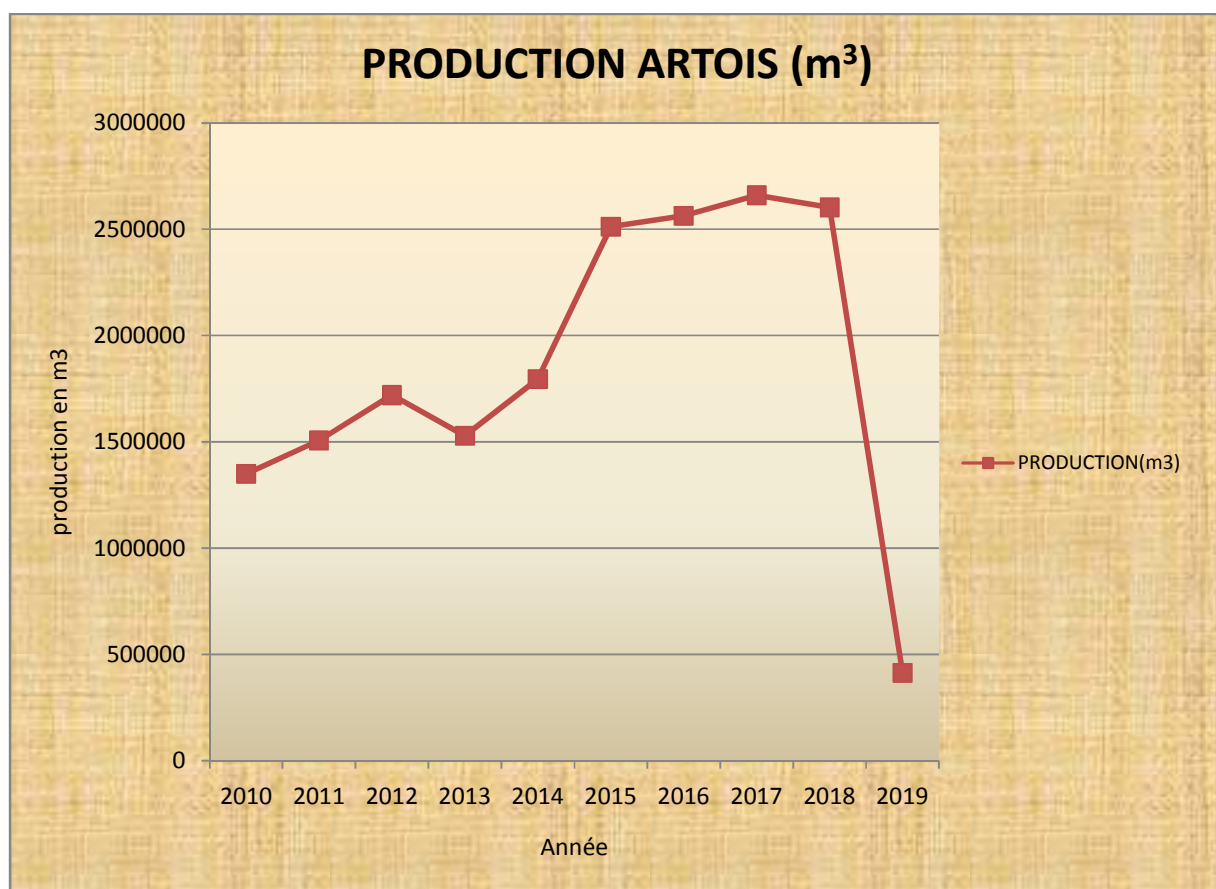


Figure 28: Evolution de la quantité annuelle d'eau dénoyé sur Artois

Commentaires :

On constate une augmentation de la quantité annuelle d'eau dénoyée sur Artois. De 2010 à 2018 la production d'eau sur Artois à presque doublé passant de 1348926 m³ en 2010 à 2601897 m³ en 2018(tableau en annexe3). Ceci peut s'expliquer par le fait que l'exploitation de la fosse commence par les parties moins noyées vers les plus noyées.

III.4 Réseau Piézométrique de la SOMAIR en 2018 :

La carte de l'emplacement spatial des piézomètres au Tarât et à l'Izeg, suivi par la SOMAIR été faite à partir des données de suivi piézométrique au niveau de la SOMAIR. La figure 29 donne la position spatiale des piézomètres de contrôle au Tarât et à l'Izeg dans le secteur de la SOMAIR.

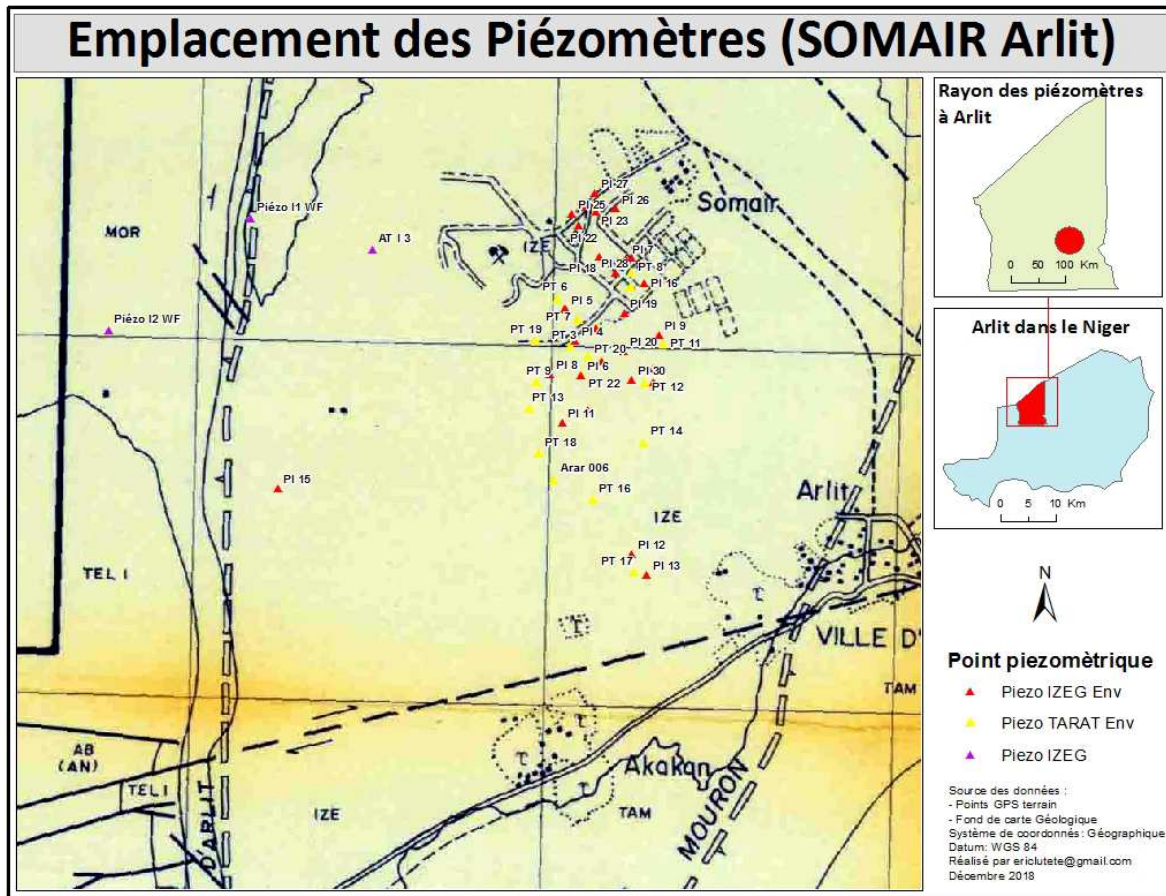


Figure 29: Position des ouvrages de suivi des nappes par la SOMAIR, données 2018

Commentaire :

On constate une concentration des piézomètres autour des bassins d'eau d'exhaure des mines pour contrôler les pollutions dû aux fuites éventuelles des bassins.

III.4 Piézométrie du Tarât en 2018 :

La carte de la piézométrie du Tarât en 2018 a été réalisée à partir du fichier des cotes piézométrique moyenne de l'année 2018 dans les piézomètres de contrôle au Tarât installés par la Somair. La figure 30 présente la piézométrie du Tarât en 2018 dans les environs de la SOMAIR.

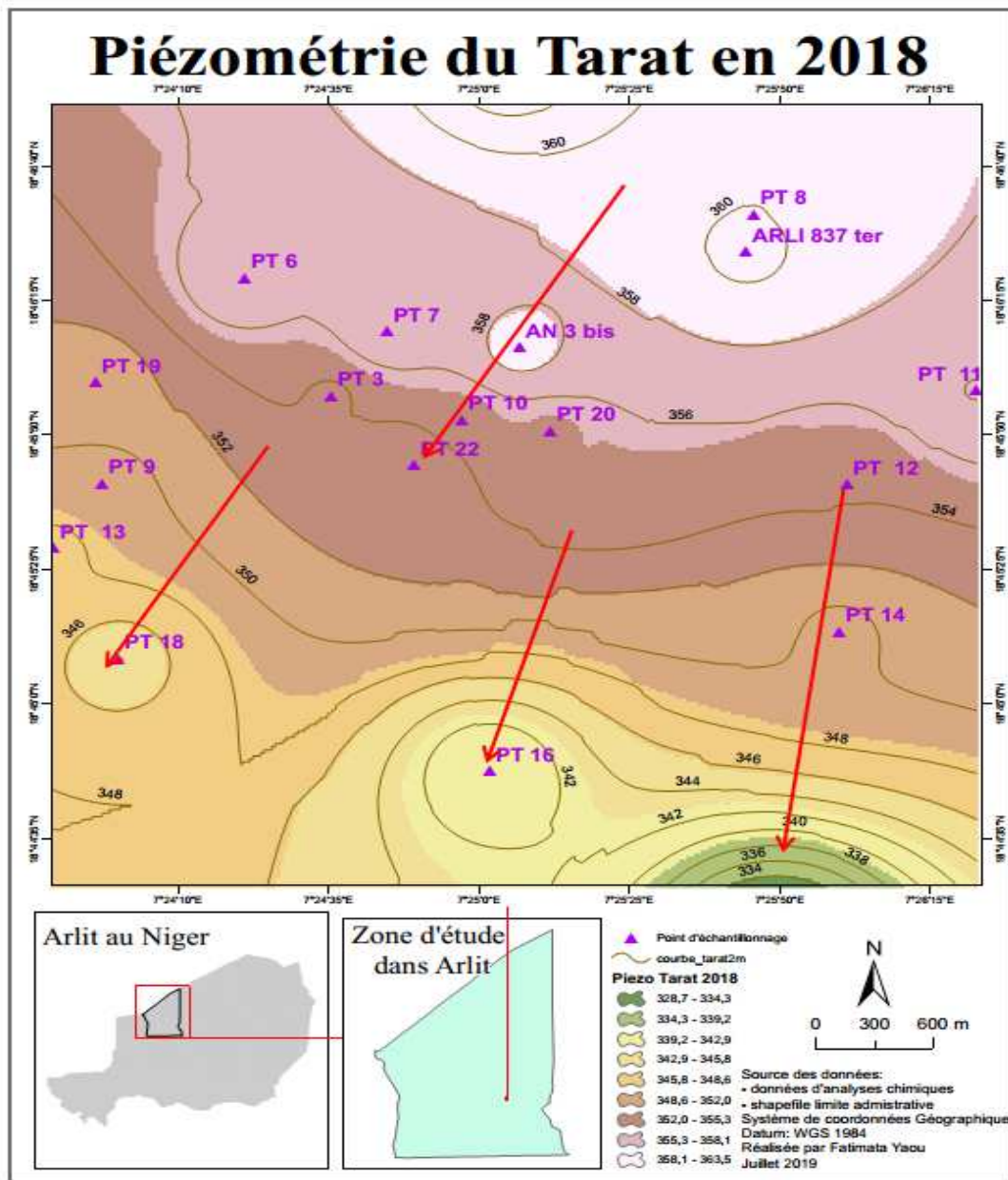


Figure 30 : Piézométrie du Tarât en 2018

III.5 Piézométrie de l'Izégouande en 2018 :

La carte de la piézométrie de l'Izeg en 2018 a été réalisée à partir du fichier de la cote piézométrique moyenne de l'année 2018 dans les piézomètres de contrôle à l'Izeg installés par la Somair. La figure 31 présente la piézométrie de l'Izeg en 2018 dans le secteur de la SOMAIR.

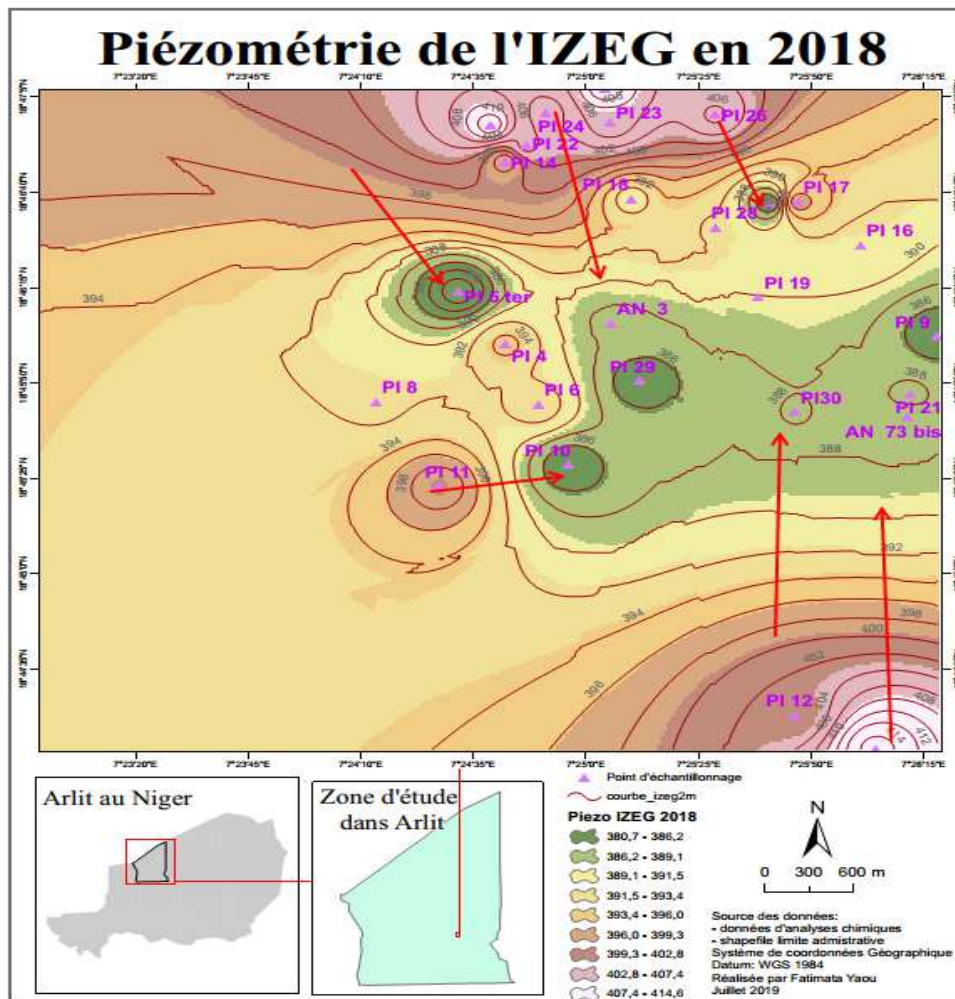


Figure 31: Piézométrie de l'Izeg en 2018


Commentaires :

L'analyse des courbes piézométriques de la nappe du Tarât et celle de l'Izégouande en 2018 montre une convergence des eaux vers les puits de pompages. Cette modification de la piézométrie est la conséquence de la forte sollicitation de la nappe notamment pour l'adduction d'eau potable (AEP), l'adduction d'eau industrielle (AEI), et les exploitations (dénoyage et exhaure) des mines COMINAK et SOMAIR.

III.6 Résultats d'analyse chimique :

Cinq échantillons d'eau ont été prélevés dans le cadre de ce travail, et analysés au laboratoire de la SOMAIR. Le tableau 4 présente les résultats d'analyses de ces échantillons.

Tableau 4: Résultats d'analyses physico chimiques des cinq échantillons prélevés :

Référence LABO BA 01	Indice 3	BULLETIN D'ANALYSE ECHANTILLONS					
Page: 1/1							
Nature de l'échantillon : EAUX							
Lieu de prélèvement : SOMAÏR							
Echantillon prélevé par M: Fatimata KORGOM							
Service : SGL							
Date de prélèvement : 11/04/2019							
Heure prélèvement :							
Analyses	ECHANTILLONS						
	Suppresseur S1	Robinet ZI	Puits AT_2324	PI4	AN3_bis		
pH	8,76	8,76	8,08	8,07	8,17		
Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$	911	913	660	684	763		
TA (°f)	3,47	3,16	1,83	1,19	1,03		
TAC (°f)	31,77	31,82	25,56	19,92	21,95		
Cl ⁻ (mg/L)	46	48	26	18	43		
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	59	63	61	87	84		
NO ₃ ⁻ (mg/L)	19	19	<2	39	12		
F ⁻ (mg/L)	0,531	0,540	0,244	0,114	0,144		
Ca (mg/L)	3	3	15	14	5		
Mg (mg/L)	1	1	10	12	3		
Na (mg/L)	205	203	116	115	165		
K (mg/L)	1	1	4	3	2		
SiO ₂ (mg/L)	17	17	16	17	16		

Date: 08/05/2019

CHEF DU LABORATOIRE
MOHAMED Kariman



Commentaires :

L'analyse physico chimique des échantillons prélevés montre que la quasi-totalité des paramètres analysés respectent la norme OMS pour l'eau potable sauf le sodium qui dépasse légèrement la teneur admissible pour l'eau de consommation (200 mg/l) au niveau du supprimeur S1 et du robinet ZI. Le pH de l'eau pour les 5 points de prélèvement varie de 8.08 à 8.76 ; ce qui explique que les eaux de la nappe du Tarât et de l'Izeg sont basique. La cohabitation ou non des ions CO₃²⁻ et HCO₃⁻ est fonction du PH. Or dans la zone d'étude les eaux prélevées ont des valeurs de PH comprises entre 8.08 et 8.76, ce qui explique la prédominance des ions HCO₃ sur les ions CO₃.

III.7 Diagramme de Piper :

- Le diagramme Piper des échantillons prélevés en 2019 a été fait à partir des résultats des échantillons prélevés dans le cadre de notre TFE. La figure 32 présente les résultats de l'Analyse des eaux prélevées par le diagramme Piper.

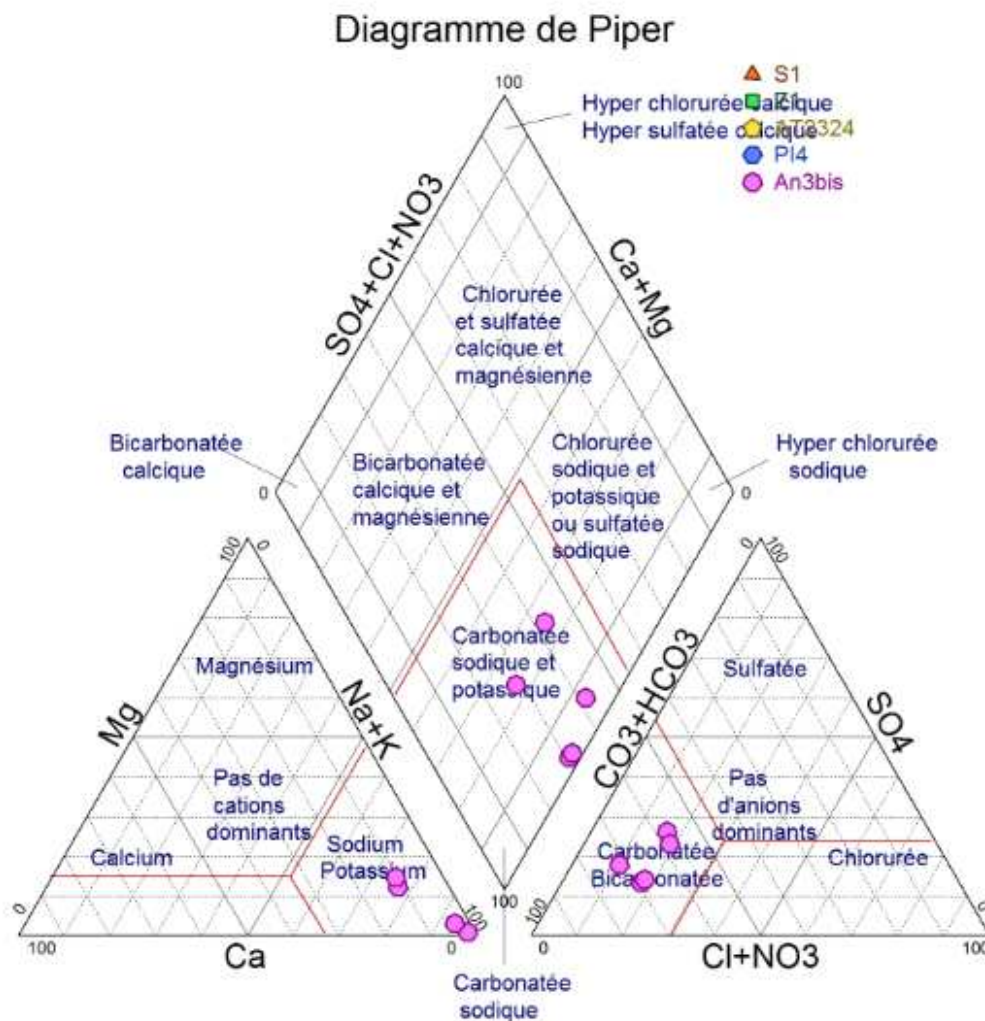


Figure 32: Diagramme de piper échantillon prélevés campagne terrain

Commentaires : Le diagramme de piper des échantillons prélevés montre que l'eau du Tarât et de l'Izéouande sont de type bicarbonaté sodique et potassique.

- A partir des données de la moyenne annuelle de l'analyse chimique de 2018 des eaux des ouvrages forés au Tarât et à l'Izéouande dans les environs de la SOMAIR, les diagrammes de Piper ont été fait pour l'eau du Tarât et de l'Izeg. Les figures 33 et 34 présentent les résultats des analyses Piper des eaux du Tarât et de l'Izeg.

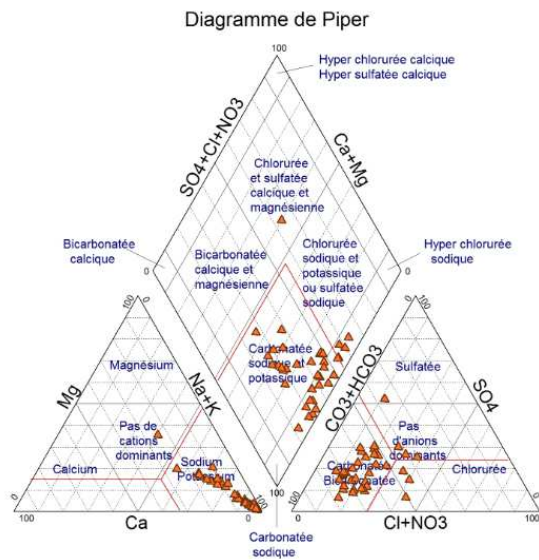


Figure 33: Diagramme de Piper Eau du Tarât analyse 2018

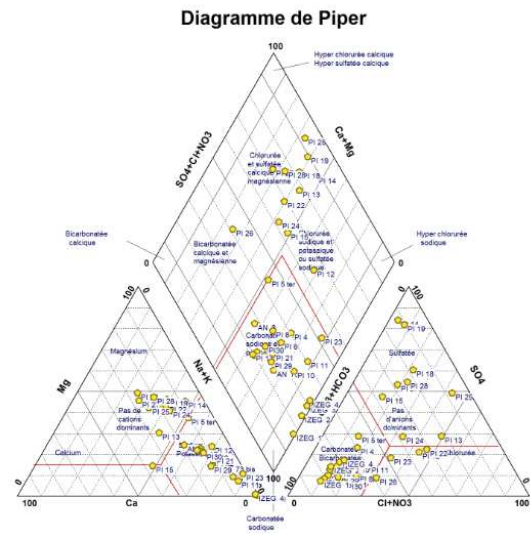


Figure 34: Diagramme de Piper Eau de l'Izeg analyse 2018

Commentaires :

Le suivi de la qualité chimique des eaux du tarât à partir des données de tous les piézomètres en 2018, montrent que ces eaux ont un Faciès bicarbonaté sodique et potassique.

L'analyse chimique des eaux de l'Izeg faites à partir des données de 2018 montre deux grands groupes de Faciès : un faciès bicarbonaté sodique et potassique et un faciès sulfaté sodique.

III.8 Diagramme Schoeller-Berkaloff :

- Le diagramme de Schoeller-Berkaloff des échantillons prélevés en 2019 est fait à partir des données d'analyses chimiques des cinq échantillons prélevés dans le cadre de ce travail. La figure 35 présente les résultats de ce diagramme.

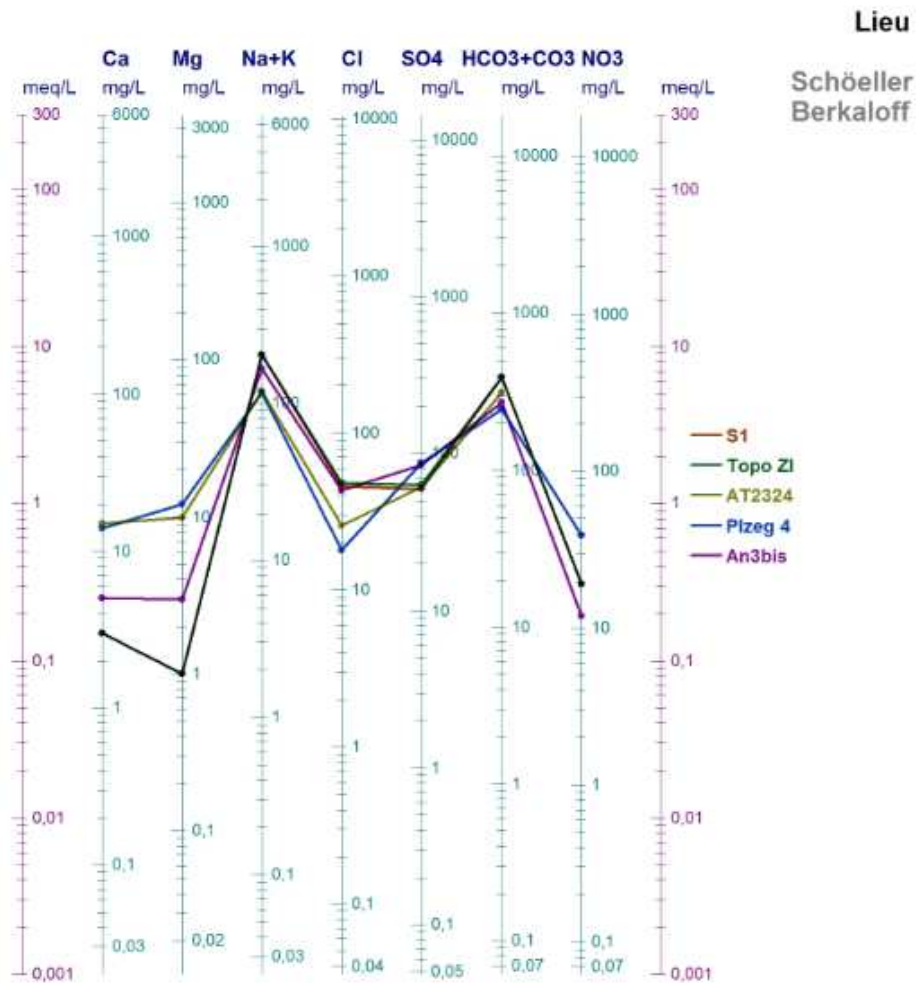


Figure 35: Diagramme de Berkaloff des échantillons prélevés

Commentaires : Le diagramme de Berkaloff fait à partir des échantillons prélevés en 2019 confirme aussi que les eaux du Tarât et de l'Izeg ont un faciès bicarbonaté sodique et potassique.

- Les données de la moyenne annuelle de l'analyse chimique de 2018 des eaux des ouvrages forés au Tarât et à l'Izegouande dans les environs de la SOMAIR ont permis de faire les diagrammes de Berkaloff de l'eau du Tarât et de l'Izeg. Les figures 36 et 37 présentent les résultats des analyses Piper des eaux du Tarât et de l'Izeg.

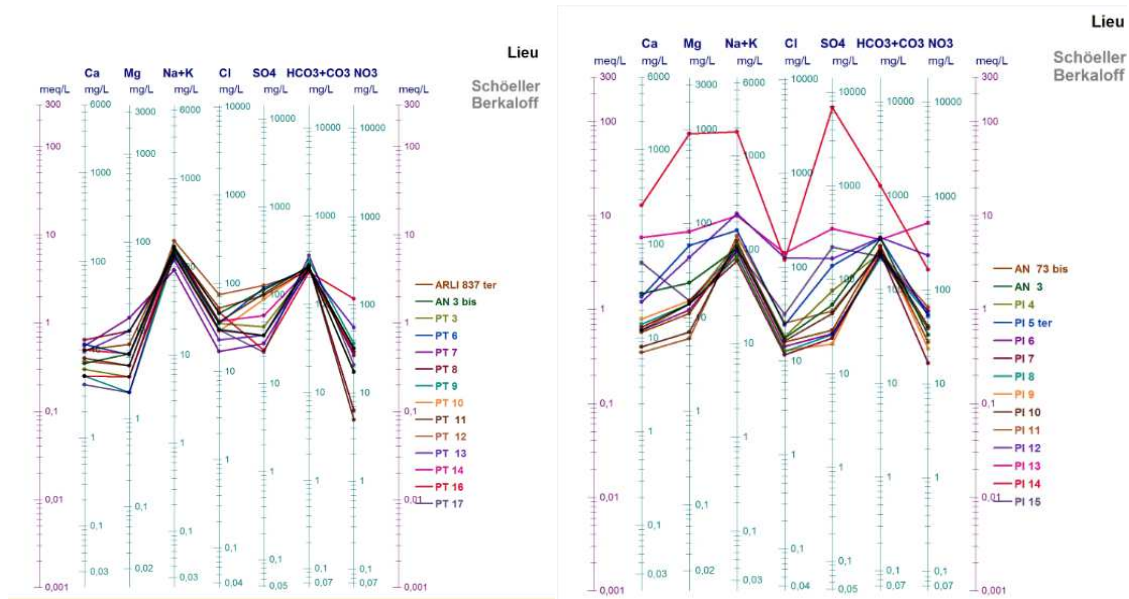


Figure 36: Diagramme Berkaloff du Tarât (données 2018) Figure 37: Diagramme Berkaloff de l'Izeg (données 2018)

Commentaires :

Le diagramme de Berkaloff fait à partir des données de 2018 confirme aussi que les eaux du Tarât ont un faciès bicarbonaté sodique et potassique.

Le diagramme de Berkaloff fait à partir des données de 2018 confirme la présence de deux grands groupes d'eau au sein de l'Izeg : un groupe majoritaire des eaux bicarbonaté sodique et potassique et un groupe sulfaté sodique.

III.9 Graphes résultats d'analyses chimiques sur les ouvrages prélevés :

Afin de mieux comprendre l'évolution de la pollution sur les ouvrages prélevés qui ont des valeurs en dépassement des normes en sodium, un focus a été fait pour regarder l'évolution de la teneur en sodium sur ces ouvrages sur 6 ans. Ces graphes ont été fait à partie des résultats d'analyses faites en 2019 et des données de la moyenne annuelle de l'analyse chimique des eaux des ouvrages forés au Tarât et à l'Izégouande dans les environs de la SOMAIR. La figure 38 présente l'évolution du sodium sur 6 ans au niveau des 5 ouvrages prélevés.

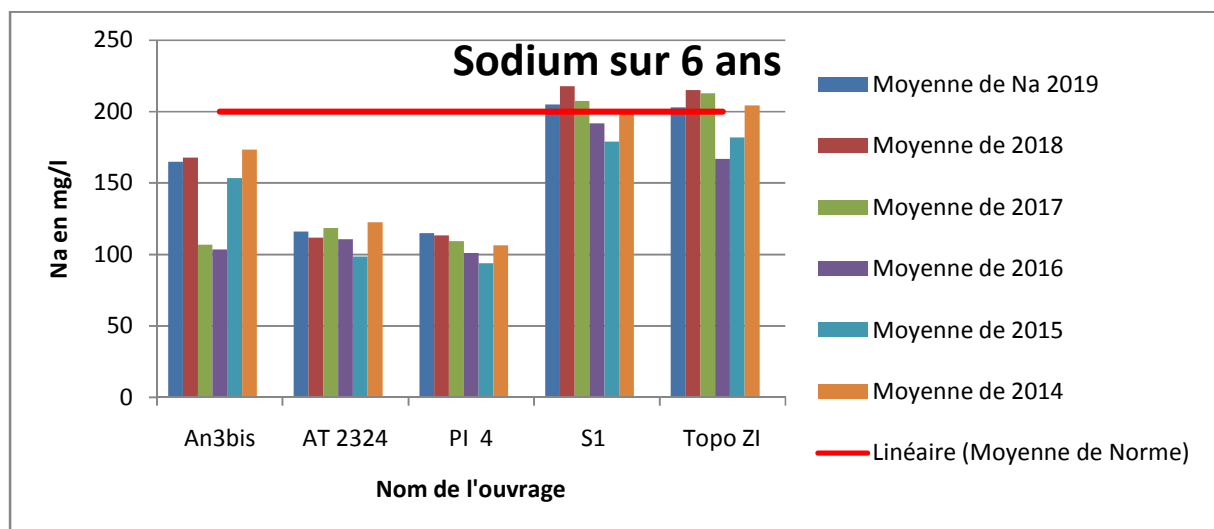


Figure 38 : Evolution du sodium sur 6 ans sur les ouvrages prélevés

Commentaire :

On constate que sur ces six années, les teneurs en sodium est plus élevé dans les ouvrages en eaux potables (surpresseurs S1 et puits topo Z1) que dans les ouvrages des eaux industrielles. Ces valeurs sont en légère dépassement des normes admissible de potabilité de l'eau pour le sodium qui est de 200 mg/l.

III.10 Résultat d'Analyse chimique de l'Eau potable :

A ce niveau un focus a été fait sur l'eau potable pour regarder l'évolution des teneurs en éléments chimiques sur 10 ans dans les ouvrages qui captent les eaux potables. Les graphes d'analyse chimique de l'eau potable ont été faits à partir des données de l'Analyse chimique annuelle de l'eau potable de la ville d'Arlit de 1998 à 2018.

- Résultats évolution des nitrates dans les ouvrages d'eau potables : Le graphe de l'évolution du Nitrate dans l'eau potable a été fait à partir des données d'analyse chimique donnant la teneur moyenne annuelle en Nitrate dans l'eau potable de 1998 à 2018. La figure 39 présente l'évolution annuelle des nitrates de 1998 à 2018 dans l'eau potable de la ville d'Arlit.

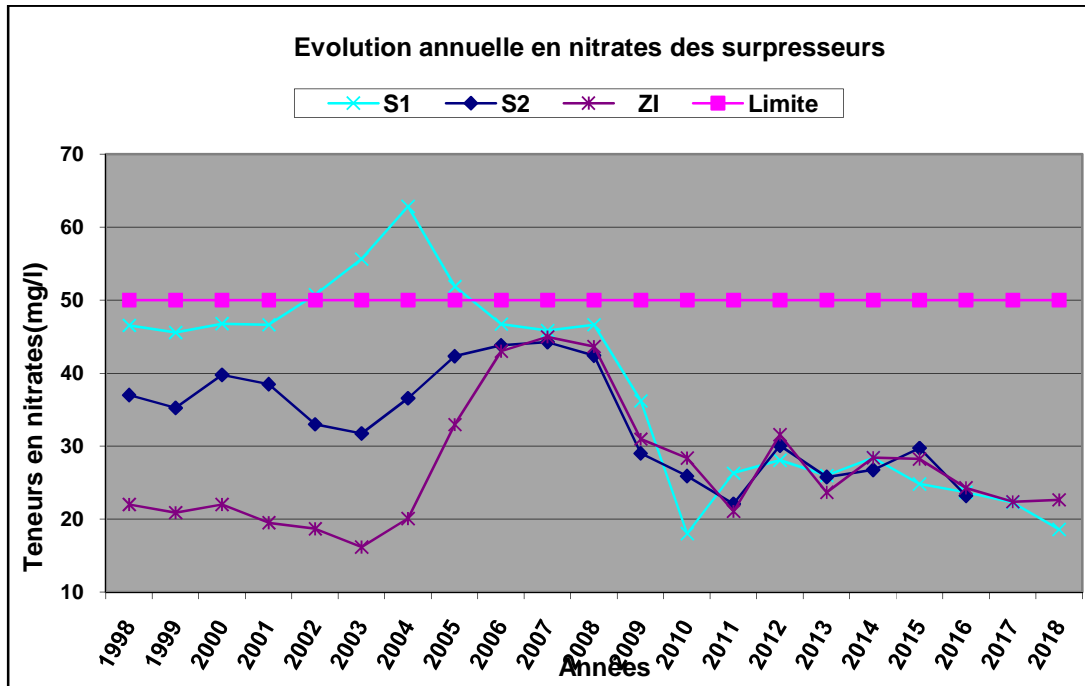


Figure 39: évolution annuelles des nitrates de l'eau potable

Commentaires :

Le suivi évaluation annuel des nitrates dans les ouvrages d'eau potables de 1998 à 2018 montre des teneurs élevées en nitrate de 2002 à 2005 au niveau du surpresseurs S1 alors que ca baisse au niveau de S2 et Z1. Les valeurs en nitrate restes élevées jusqu'en 2009 (proche de la valeur norme) avant de chuter.

- Résultats évolution des sulfates dans les ouvrages d'eau potables : A partir des données annuelles d'analyses chimiques de l'eau potable prélevée au niveau des surpresseurs de 1998 à 2018, les graphes de l'évolution du Sulfate dans l'eau potable ont été faits. La figure 40 présente l'évolution de la teneur des sulfates dans l'eau potable au niveau des surpresseurs.

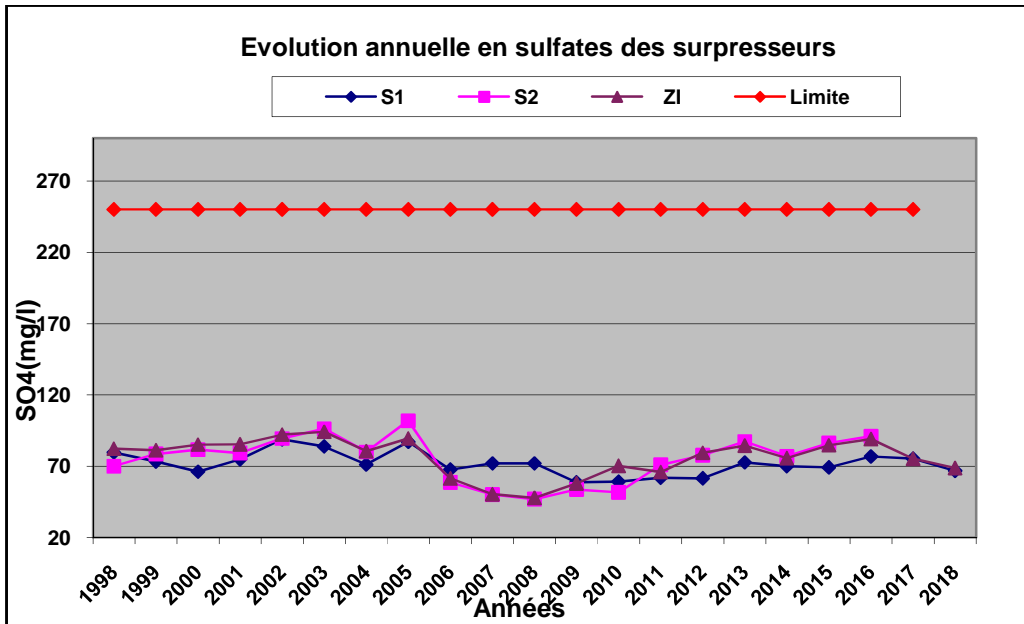


Figure 40: évolution annuelle de SO4 dans l'eau potable

Commentaires : L'évolution annuelle des sulfates de 1998 à 2018 montre des valeurs relativement faible (autour de 70 mg/l) dans les 3 ouvrages de production d'eau potable.

- Résultats évolution du PH dans les ouvrages d'eau potables : Les graphes de l'évolution du PH dans l'eau potable ont été faits à partir des données d'analyse chimique donnant le pH moyen annuel de l'eau potable de 1998 à 2018. La figure 41 présente l'évolution annuelle du pH de 1998 à 2018 dans l'eau potable de la ville d'Arlit.

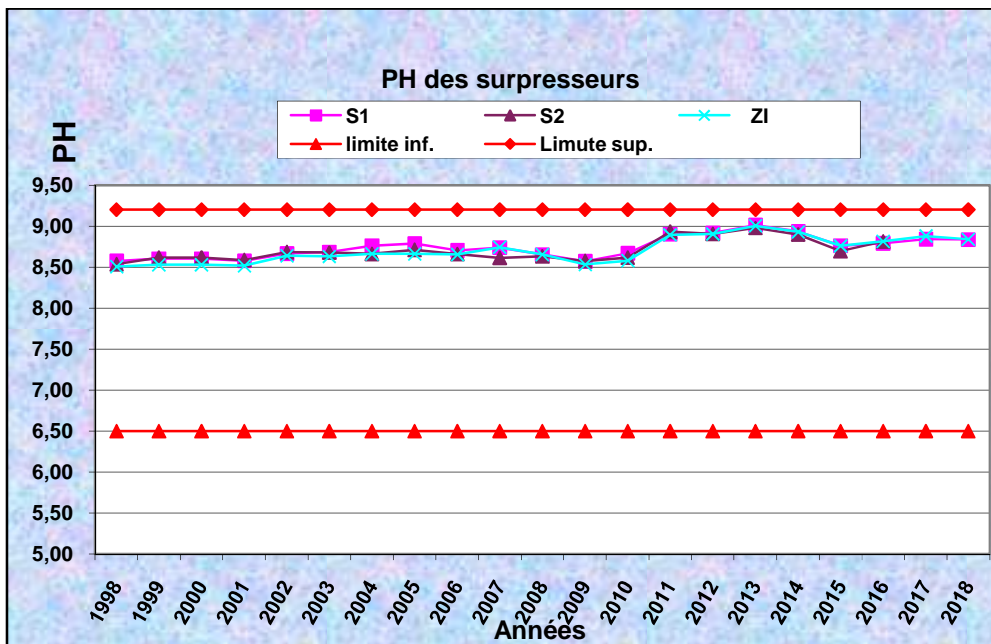


Figure 41: évolution annuelle du PH de l'eau potable

Commentaires :

L'évolution annuelle du pH de 1998 à 2018 montre que les eaux au niveau des ouvrages d'eau potable de la ville d'Arlit restent globalement basique valeurs supérieur à 8.

- Résultats évolution du chlore dans les ouvrages d'eau potables : A partir des données d'analyses chimiques de l'eau potable prélevée au niveau des surpresseurs de 1998 à 2018, les graphes de l'évolution du Chlore dans l'eau potable ont été faits. La figure 42 présente l'évolution annuelle du chlore de 1998 à 2018 dans l'eau potable de la ville d'Arlit.

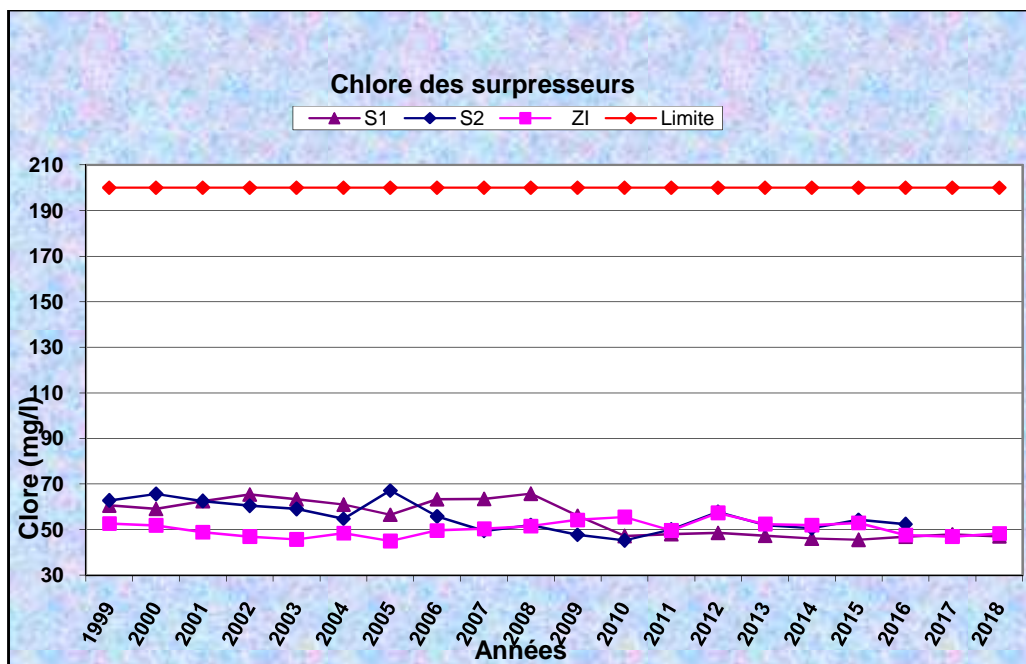


Figure 42: évolution annuelle du Chlore de l'eau potable

Commentaires :

Le suivi évaluation du chlore au niveau des ouvrages d'eau potable de 1998 à 2018 montre aussi des valeurs relativement faible (de 50 à 70 mg/l).

NB : pour le suivi évaluation de l'eau potable de 1998 à 2018, les données à notre disposition portent uniquement sur les paramètres discutés plus haut, c'est pourquoi les autres paramètres chimiques n'ont pas été abordés dans cette partie.

Chapitre 3 : Discussions

Le volume d'eau soutiré de la nappe de Tarât est approximativement de 400 millions de m³ d'eau depuis le début des exploitations sur un total d'un Milliards 300 millions de m³ d'eau estimée dans la concession d'Areva (source : SOMAIR 2019). Ces valeurs montrent qu'environ le tiers du volume total de la nappe de tarât est épuisé en 50 ans par les activités minières.

En effet, L'étude faite par Anteagroup en 2011 montre que à l'est de la flexure, les nappes de l'Izégouande et du Tarât ont été largement rabattues par les pompages en forages et carrières, et celle du Guézouman est impactée par le drainage lié à l'exploitation minière en galeries sur le site COMINAK (Anteagroup, 2011).

L'analyse de la piézométrie des nappes souterraines de la région d'Arlit et son évolution spatiotemporelle montre que les écoulements dans ces nappes dites fossiles, ont été complètement modifiés. L'analyse des courbes piézométriques de la nappe du Tarât et celle de l'Izégouande en 2018 montre une convergence des eaux vers les puits de pompages.

Ces résultats sont conformes à quelques résultats des études antérieures. En effet, d'après l'étude faite par Rabani et Abdourazakou en 2013, la carte piézométrique de l'Izégouande établie après le début de l'exploitation minière présente un important cône de dépression centré sur la mine de SOMAIR (Rabani et Abdourazakou, 2013).

D'après Thérèse en 2013, avant le début des activités minières (1969) l'écoulement initial de l'aquifère du Tarât prenait une direction générale SE-NW. L'analyse de la cartographie piézométrique en 2013 montre que plusieurs années après sa mise en exploitation, le sens d'écoulement de la nappe du Tarât a été modifié dans toute la zone d'étude. L'écoulement général en 2013 de la nappe converge vers la mine de Cominak entre l'isopièze 400 et 390 avec un gradient de 1,2 %. Les isopièzes forment ainsi un important cône de dépression refermé sur la mine de Cominak (figure 16) où un rabattement du niveau de la nappe de 170 m a été relevé depuis le début de l'activité minière (N'DAH, 2013).

L'état des lieux fait par Anteagroup en 2011, montre l'existence d'un cône de dépression au niveau de la nappe de l'Izégouande. En effet, d'après cette étude, dans la zone d'Arlit, au niveau où la nappe d'Izégouande est plus sollicitée pour l'eau potable, ces zones constituent de cônes de dépression de l'Izégouande.

L'analyse des résultats sur l'évolution des cotes piézométriques des nappes souterraines de la zone d'Arlit montre une diminution de ces cotes : Le niveau piézométrique de la nappe du Tarât a diminué de 33,63 m depuis le début des travaux miniers ; le niveau piézométrique de la nappe du Guézouman a diminué de 18,12 m, et celui de la nappe de l'Izégouande a diminué de 4,71 m. En effet selon l'étude faite par Thérèse en 2013, un rabattement d'environ 170 à 200 m du niveau des nappes du Tarât et du Guézouman est observé à l'endroit de la mine de Cominak.

La détermination du faciès hydrochimiques a permis de classer les eaux basiques du Tarât dans le type bicarbonaté sodique, et les eaux de l'Izégouande dans les types bicarbonaté sodique et sulfaté sodique. Les faciès de type bicarbonaté sodique sont repartis dans les deux aquifères et sont les plus abondants ; ceci met en évidence l'importance des processus hydrogéochimiques qui régissent la minéralisation de ces eaux.

Ces résultats peuvent être justifiés d'une part par le fait que l'ion sodium est facilement échangeable : le sodium est libéré par les minéraux argileux qui fixent à sa place le calcium. D'autre part les concentrations élevées du sodium dans l'eau potable peuvent s'expliquer par la

mise en communication de la nappe du Tarât avec celle de l'Izégouande (potentiellement plus chargée en sodium). En effet, l'étude faite par Wagani en 2007 sur la synthèse des analyses des différentes roches du bassin de Tim Mersoï montre que les teneurs en oxyde de sodium sont 4 fois plus faibles en moyenne dans les formations carbonifères (Tarât et Guézouman) que dans les formations plus récentes (Izégouande)((WAGANI, 2008).

La nappe de l'Izégouande est potentiellement très chargée en sodium du fait de teneurs élevées dans l'encaissant. Lors du pompage d'un piézomètre au Tarât pour échantillonner la nappe, des venues d'eau en provenance de l'Izégouande sont possibles compte-tenu de la possibilité de communication entre les deux nappes.

La présence des ions bicarbonate en abondance provient de la dissolution de l'acide carbonique (H_2CO_3), formé à partir du CO_2 aqueux au contact de la solution. Donc la diminution du H_2CO_3 entraîne l'augmentation des ions bicarbonates et du PH. Le contact de l'eau chargé en gaz carbonique avec l'encaissant entraîne l'augmentation de la concentration en ions majeures(Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , k^+) (Abdou Babaye, 2012).

L'étude Fast SOPAMIN faite en 2013 montre que l'analyse chimique des eaux du Tarât sont toutes de type alcalin bicarbonaté sodique dont les pH, entre 7 et 12 caractérisent des eaux basiques et chlorurée sodique et potassique (Rabani et Abdourazakou, 2013).

Selon l'étude faite par Salifou Issa et al, la présence du faciès bicarbonaté sodique dans l'aquifère de l'Izégouande est lié à la présence du réservoir qui est constituée des grès calcaires. Quant à l'aquifère du Tarat, il n'est pas constitué de minéraux carbonatés. La présence des eaux à faciès bicarbonaté dans cet aquifère est liée aux échanges de flux d'eau avec l'aquifère de l'Izégouande, par drainance naturelle (Salifou et al., 2015).

Les Faciès sulfaté dans l'eau de l'Izégouande peuvent être lié à l'infiltration de l'eau industrielle car le sulfate d'ammonium et l'acide sulfurique sont utilisés dans le traitement du minerai.

Les teneurs élevés en Nitrate dans les eaux potable peuvent être dû à un apport en pesticide dans les jardins aux environs de la ville. Elles peuvent aussi être liées à l'infiltration des eaux usées (utilisée en irrigation) qui proviennent des bassins de lagunage.

Conclusion et Recommandations :

La présente étude sur la caractérisation hydrogéologique et hydrogéochimique des aquifères de la zone minière d'Arlit est une contribution au renforcement des connaissances sur le patrimoine hydrique de la ville minière d'Arlit. Elle a pour principal but d'amener les entreprises minières opérant dans le secteur à adopter une démarche plus responsable quant à la maîtrise et à la gestion de impacts des travaux miniers sur les nappes souterraines.

D'une manière générale l'étude à aboutit aux conclusions suivantes :

- **Sur le plan quantitatif** : l'extraction des grandes quantités d'eau des nappes souterraines caractérisée par la baisse du niveau des nappes. Une telle baisse du niveau peut entraîner à long terme l'épuisement de ces nappes fossiles qui ont une capacité de recharge très faible. Il devient alors impératif de gérer très rationnellement les ressources en eau.
- **Sur le plan qualitatif** : l'étude a montré une dégradation de la qualité des eaux notamment au niveau de l'eau potable (teneur élevée en sodium en 2019 et teneurs élevés en nitrate de 2002 à 2005).

L'analyse hydrochimique des eaux a mis en évidence deux grands types de faciès : deux types de faciès: des faciès de type sulfaté sodique et des faciès de type bicarbonaté sodique. Le second type qui est majoritaire est reparti dans les deux aquifères ; le premier type est uniquement présent dans l'aquifère de l'Izégouande.

Cette étude n'a pas pu être menée de façon adéquate compte tenu du budget limité et du temps imparti ce qui a pour conséquence la non analyse radiologique des échantillons de l'eau est pourtant capital. En effet comme il s'agit d'une zone d'exploitation uranifère, l'uranium peut constituer une source potentielle de pollution des eaux souterraines. Il est à noter que l'échantillonnage effectué dans le cadre de cette étude est très insuffisant. Peut être les résultats allaient être différents si le réseau d'échantillonnage était plus élargi. Pour mieux évaluer l'impact des activités minières sur les nappes souterraines, il faut faire des prélèvements sur tous les ouvrages de suivi piézométriques. La compréhension de la minéralisation des eaux souterraines est indispensable pour conserver et gérer cette ressource de façon rationnelle et durable. Cette minéralisation peut être causée principalement par les activités anthropiques, la dissolution des minéraux et le phénomène d'adsorption et d'échange de bases.

Pour mieux caractériser les eaux souterraines de la région d'Arlit, nous proposons

- La mise en place d'un système de suivi régional piézométrique des différentes nappes du système aquifères de la zone d'Arlit ;
- L'estimation précise des réserves en eau des aquifères de la zone d'Arlit doit être faite pour mieux évaluer l'impact des travaux minier sur le plan quantitatif ;
- L'Etat du Niger à travers le Ministère des mines doit mettre en place un système de suivi régulier de la qualité des nappes souterraine de la zone car jusqu'à présent la majorité des études ont été faites par les sociétés minières ;

Un contrôle rigoureux doit être fait autour des sources potentielles de contamination des eaux souterraines. En effet, la pollution des aquifères par les exploitations minières d'Arlit peut être causé entre autres par : l'infiltration des polluants au niveau des versées à résidus, de la lixiviation en tas, de la plateforme de l'usine et de l'atelier contact (fuite d'acide à partir des cuves) et l'infiltration des polluants due à la rupture de digue ou de géo membrane des différents bassins (bassins du jus de lixiviation, bassin d'exhaure, bassin de lagunage).

En définitive Beaucoup reste à faire dans le cadre de cette étude notamment :

- La réalisation d'un modèle hydrodynamique du système multicouche de la Zone minière d'Arlit ;
- La détermination des paramètres hydrodynamiques des nappes dans tous les secteurs d'étude ;
- L'analyse radiologique des eaux souterraines...

Bibliographie :

- Rabani A., Abdou Moumouni A., Ikhiri K., Ousmane B., Abdoulaye A. & Konate M. (2015) : *Etat des lieux sur les aquifères de la zone minière d'Arlit pour la période allant de 1968 à 2013 : hydrogéologie et hydrochimie. Expertise collégiale FAST-SOPAMIN, Collection Etudes Nigériennes, 156 pages ;*
- Abdou Babaye Maman, S. (2012). Evaluation des ressources en eau souterraine dans le bassin du Dargol (Liptako-Niger), Thèse de doctorat présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences de l'Ingénieur.
- AMAN. (2005). *Nouvelles ressources d'eau – stratégie de reconnaissance, Correspondance interne.*
- AMAN. (2010). *Etat des lieux de la qualité des nappes du Tarat et de l' Izegouande Synthèse des analyses chimiques et radiométriques disponibles à Décembre.* 1–98.
- AMAN. (2012). *Reconnaissance hydrogéologique 2011 Rapport de synthèse des travaux de réalisation des ouvrages de la campagne 2011.*
- AMAN. (2013). *CONFINEMENT DES NAPPES SUR LA ZI DE COMINAK, Etat d' avancement des travaux Fin.*
- Anteagroup. (2011). *COMINAK (République du Niger) Etude hydrogéochimique et de modélisation sur le site de la COMINAK à AKOKAN – Rapport de synthèse de la phase 1.*
- Barrès, L. (1993). *Guide pratique d'échantillonnage des eaux souterraines.*
- Bassirou, M. B. M. (2018). *Surveillance de l'impact des activités minières sur la santé de la population riveraine : cas de la SOMAÏR à Arlit, mémoire rédigé pour l'obtention du diplôme de Master spécialisé en Exploitation et Environnement Minier.*
- BOKO, B. A., KONATE, M., ADAMO, R., & Abdoulaye, A. (2017). Contribution du système de fracturation à la recharge des aquifères du bassin de Tim Mersoï (Nord Niger). *Sciences de La Vie, de La Terre et Agronomie*, 5(1), 64–72.
- Carine, D. (2010). *Discrimination des effets chimiotoxiques et radiotoxiques de l'Uranium : définitions de marqueurs biologiques pour l'évaluation des risques professionnels dans l'industrie du nucléaire.*
- Florian, L., Alexandre, M., & Christian, M. (2018). *Projet Imouraren Phase 1 – Rapport d'Étude de Préfaisabilité – Janvier à Octobre 2017, Note technique thématique.*
- Gerbeaud, O. (2006). *Evolution Structurale Du Bassin De Tim Mersoï : Avec La Localisation Des Gisements Uranifere Du Secteur d'Arlit (Niger).*
- IRSN. (2004). *Sites miniers d' uranium de SOMAÏR et COMINAK (Niger) Bilan de la mission sur site en mai 2004, appréciation de l'impact radiologique, et avis sur le réseau de surveillance de l'environnement. SOMAÏR et COMINAK.*
- Ministère des Mines, N. (2013). *Plan directeur de la recherche Géologique et Minière (PDRGM)*

2013-2023.

- N'DAH, A. T. (2013). *Etude hydrogéologique des Aquifères de la région d'Arli, mémoire pour l'Obtention du Master en Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement*.
- Paris, A. (2011). *COMINAK (République du Niger)*.
- Rabani, M. A., & Abdourazakou, A. M. (2013a). *Etat des lieux sur les aquifères de la zone minière d'Arli : hydrogéologie et hydrochimie VISITE DE SITE MINIER*.
- Rabani, M. A., & Abdourazakou, M. A. M. (2013b). *Etat des lieux sur les aquifères de la zone minière d'Arli : hydrogéologie et hydrochimie VISITE DE SITE MINIER*. 1–140.
- Rachid, M. S. H. (2013). *Conceptualisation de l'écoulement des eaux de la nappe du Tarat sur le secteur de la SOMAIR, Mémoire pour l'obtention du Master d'Ingénierie*.
- Salifou, I., Alassane, A., Natatou, I., MousaBoukari, Sohounhloué, D., & Mama, D. (2015). Caractéristique hydrogéochimique des eaux souterraines des aquifères de l'Izegouandé et du Tarat au voisinage de la Somaïr à Arli au Niger. *La Société Ouest-Africaine de Chimie*, 57–63.
- Souidi, M., Tissande, E., Racine, R., Soussan, H. B., Rouas, C., Grignard, E., ... Gueguen, Y. (2009). *Uranium : propriétés et effets biologiques après contamination interne*. 67(1), 23–38.
- SRK. (2015). *VOLUME 2 : Rapport d'Etude d'Impact Environnemental et Social sur le projet Madaouéla Ouest, ARLIT, NIGER version définitive (Vol. 2)*.
- WAGANI, I. (2008). Potentialités Uranifères des sources volcaniques envisageables pour la formation des minéralisations de la région D'ARLIT (NIGER), Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur en Sciences de l'Université Paris XI, Orsay.
- François Jonard (2019). *Hydrologie des zones tropicales, LSGED 2210*.
- Abdou Babaye Maman, S. (2012). Evaluation des ressources en eau souterraine dans le bassin du Dargol (Liptako-Niger), Thèse de doctorat présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences de l'Ingénieur.
- SRK. (2015). *VOLUME 2 : Rapport d'Etude d'Impact Environnemental et Social sur le projet Madaouéla Ouest, ARLIT, NIGER version définitive (Vol. 2)*.
- WAGANI, I. (2008). Potentialités Uranifères des sources volcaniques envisageables pour la formation des minéralisations de la région D'ARLIT (NIGER), Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur en Sciences de l'Université Paris XI, Orsay.

Annexes

Annexe 1: Coordonnées des ouvrages prélevés

Nom de l'ouvrage	Aquifère capté	X	Y
S1 château (Eau de boisson)	TARAT	329654	2072050
Robinet Topo ZI (Eau de boisson)	TARAT	326811	2077688
Puits AT2324(Eau Industrielle)	TARAT	324715,32	2077828,59
PI4 (Surveillance bassin)	IZEG	326509,659	2076085,77
An3bis(Surveillance bassin)	TARAT	326808,972	2076276,78

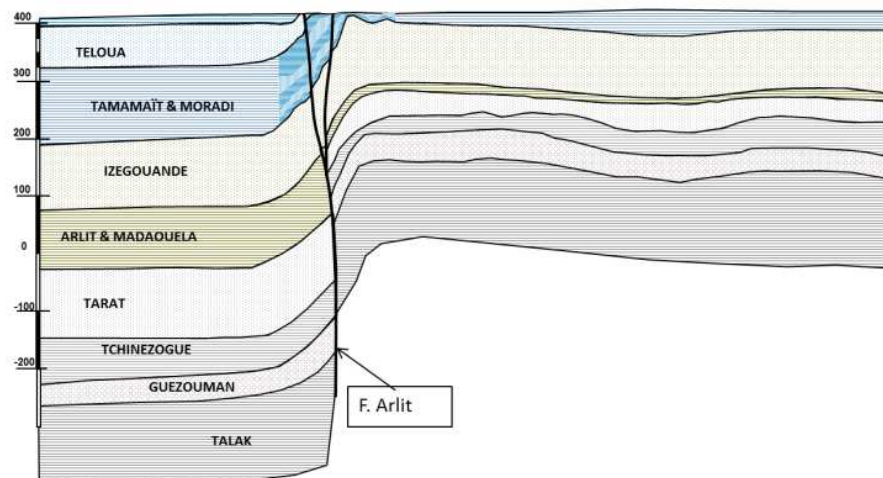
Annexe 2: Tableau production totale de la nappe de l'Izégouande depuis sa mise en exploitation en 2009.

Période	Production (m ³) IZEG_01	Production (m ³) IZEG_02	Production (m ³) IZEG_03	Production (m ³) IZEG_04
2009	54301	276545	0	0
2010	370426	437778	188313	0
2011	431580	421465	401035	0
2012	409472	372176	390357	0
2013	376103	230289	318015	342428
2014	299778	346133	375646	343244
2015	275775	351883	400149	383273
2016	453466	340980	390772	365678
2017	462518	322110	137678	380300
2018	343845	337010	108038	416531
Total				11 855 090 m³


Annexe 3: production d'eau sur Artois de 2010 à 2019

ANNEE	PRODUCTION	DEBIT
2010	1348926	153,99
2011	1506379	171,96
2012	1719408	195,74
2013	1527759	174,40
2014	1794557	204,86
2015	2511706	286,72
2016	2562605	292,53
2017	2659080	303,55
2018	2601897	297,02
2019	413341	47,19

Annexe 4 : Système aquifère multicouche de la zone minière d'Arlet affecté par la flexure faille d'Arlet.



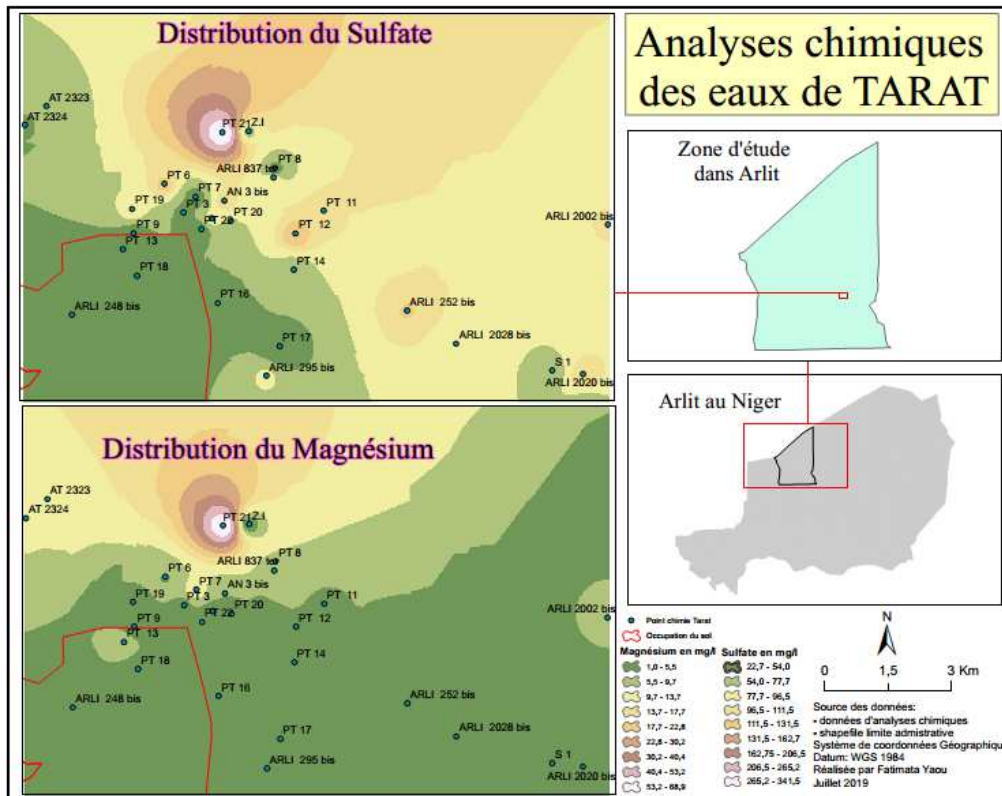
Annexe 5: Résultats d'analyse bactériologique des échantillons prélevés autour des installations en Avril 2019

Référence LABO BA 13	Indice 0	BULLETIN D'ANALYSE BACTERIOLOGIQUE EAUX DE POTABLES						
Page: 1/1								
Nature de l'échantillon : eaux des puits, châteaux, points de consommation Echantillon prélevé par M: Mme Bibata/Bassakoye Service : Labo Date prélèvement : 15/04/2019 Date de réception: 15/04/2019 Heure de réception: 11H32								
					Imputation du travail demandé :			
N° Echantillon	1	2	3	4	5	6		
Lieu de prélèvement	Popote Labo	Bureau Topo	Popote Lixi	Popote S2E	R2 T4 58-59 Z/CENTRE			
Heure de prélèvement	09H33	09H27	09H55	10H21	10H59			
Observations	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS			
	Eau stérile	1	2	3	4	5	6	Normes
Coliformes totaux	0	0	0	0	0	0		≤ 3 par 100ml*
Streptocoques fécaux	0	0	0	0	0	0		0 par 100ml

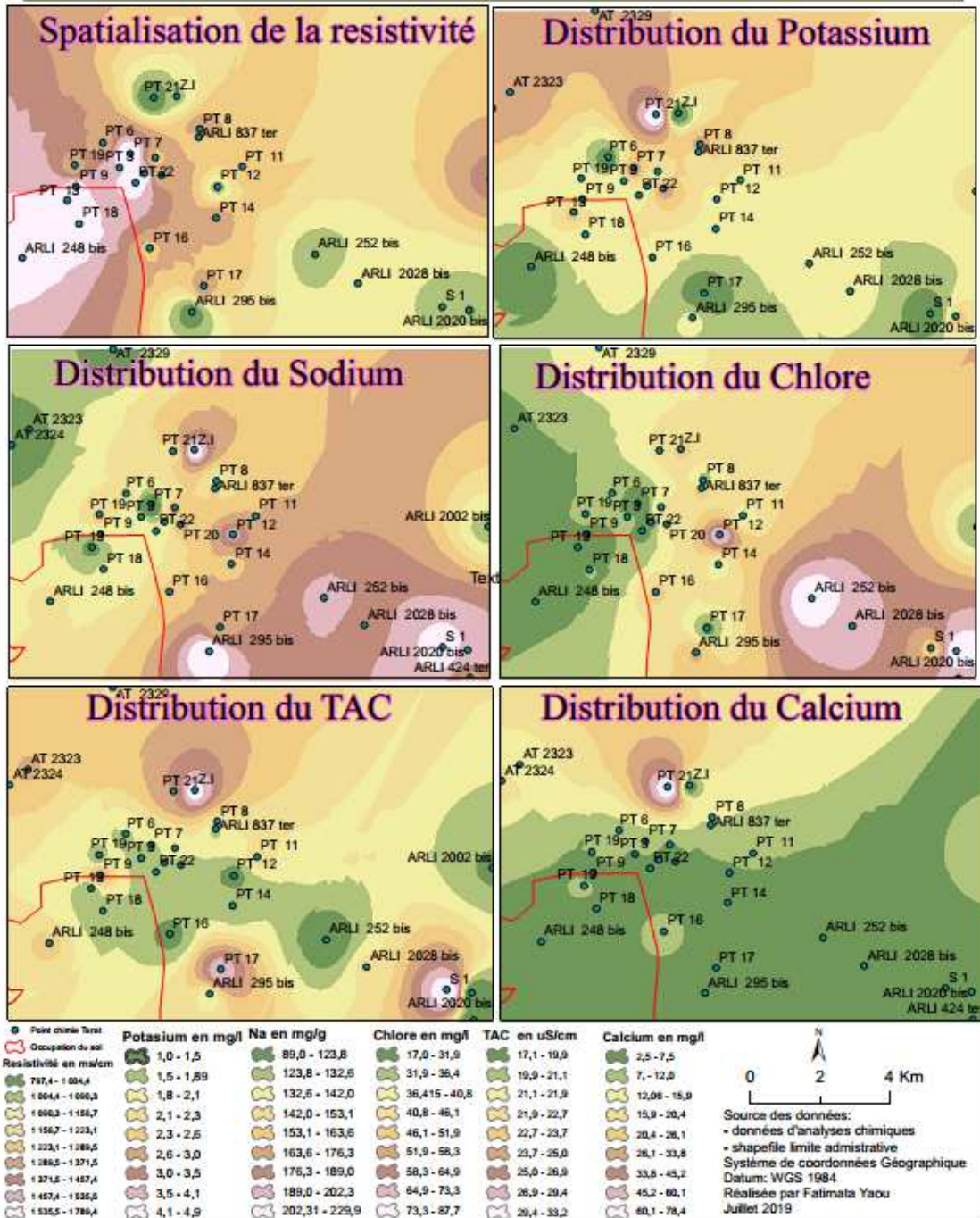
Annexe 6: Quelques valeurs normes pour l'eau potable

Paramètre	Norme ou valeur guide
pH	6.5 à 9.2
Nitrates	45 mg/l
Sulfates	200 mg/l
Sodium	200 mg/l
Chlorures	250 mg/l

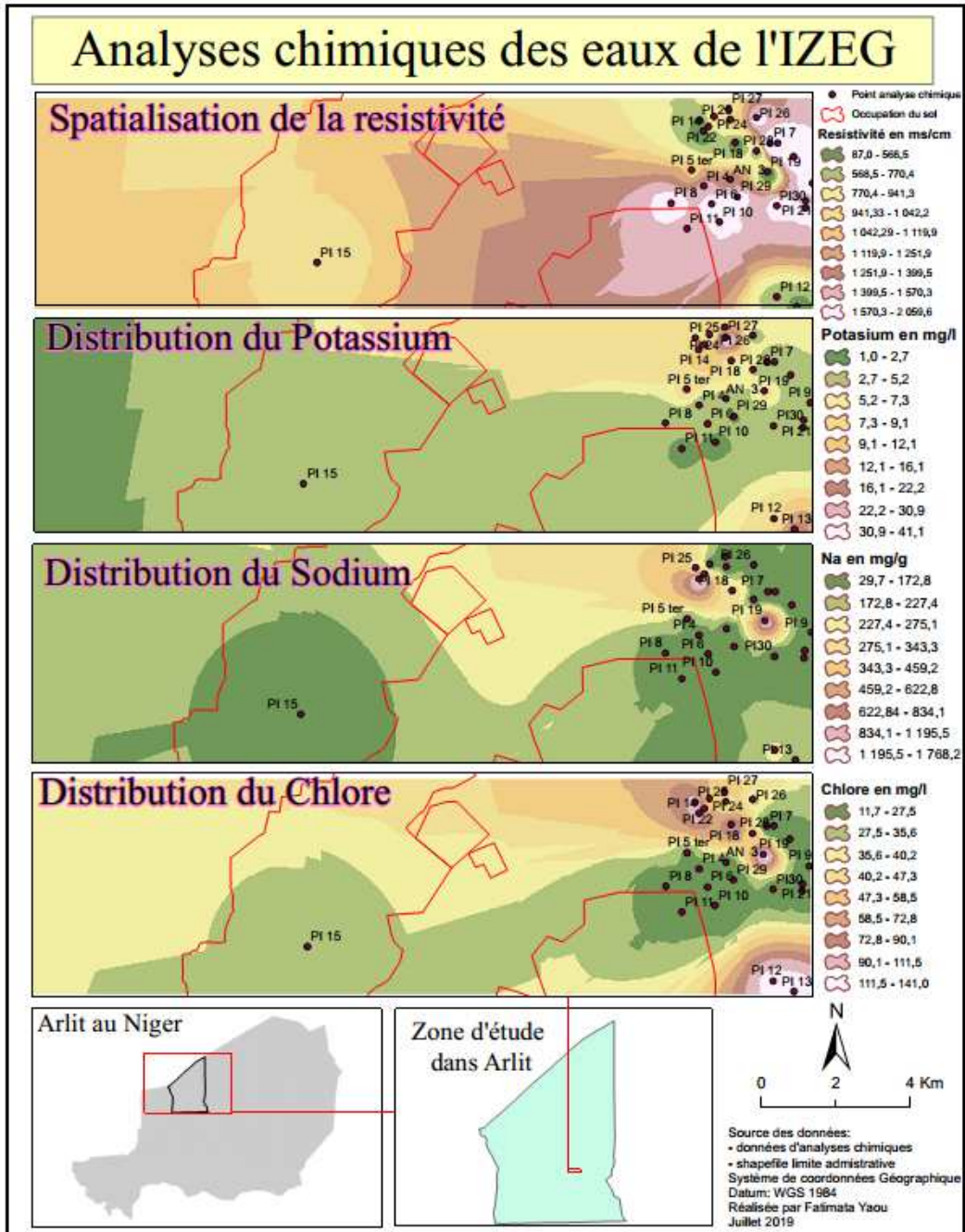
Annexe 7: Répartition spatiale de la chimie des eaux du Tarât en 2018 :

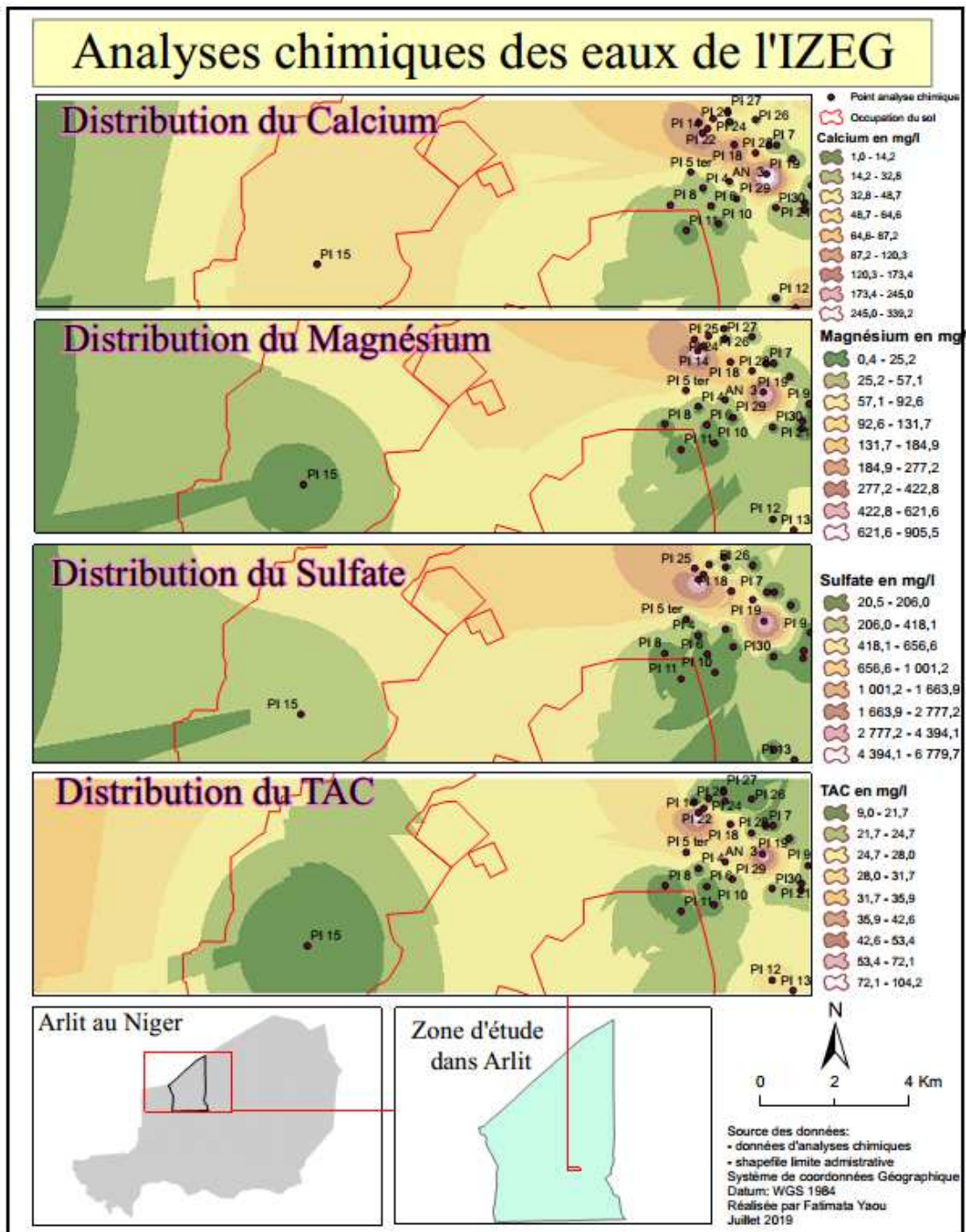


Analyses chimiques des eaux de TARAT

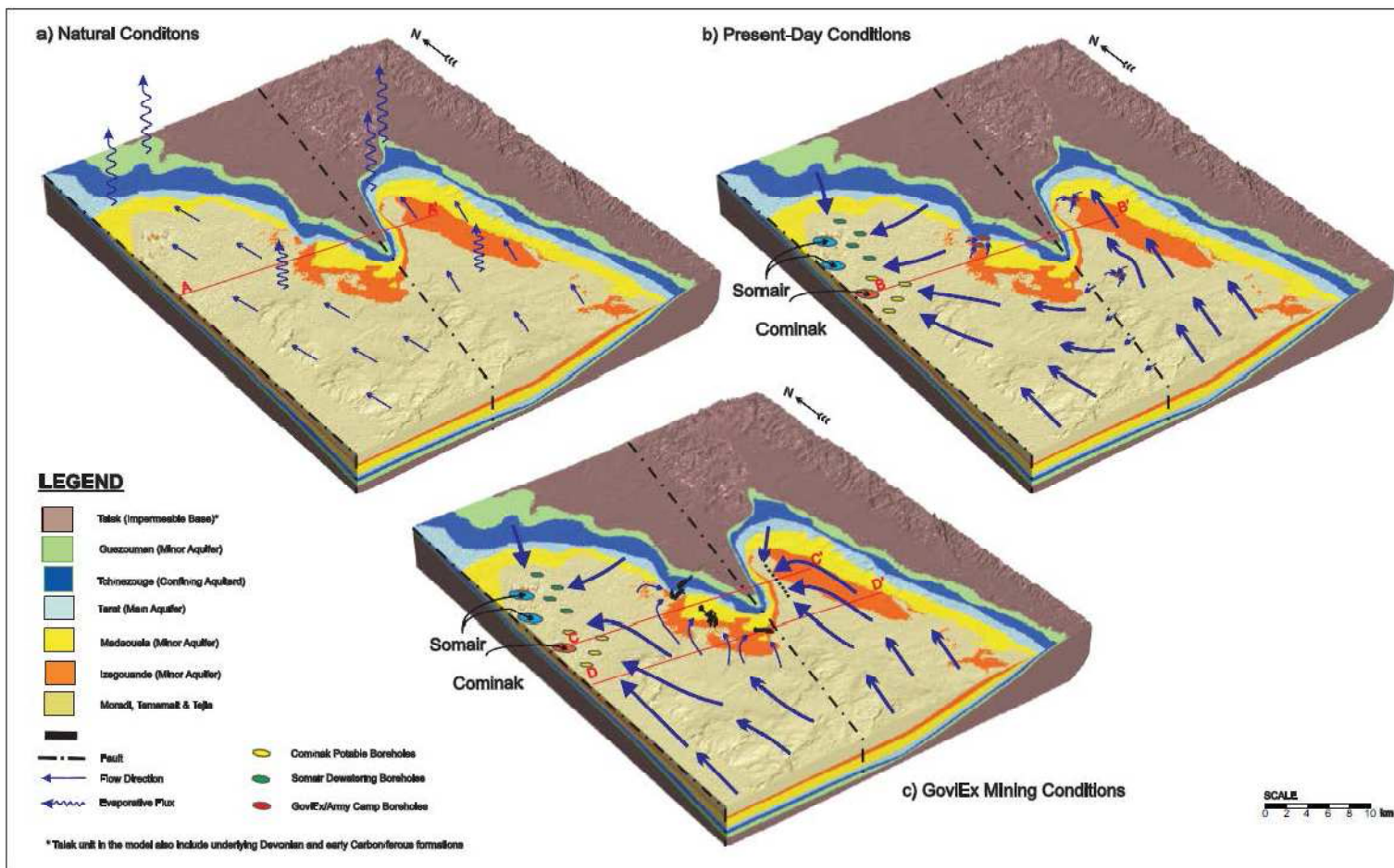


Annexe 8: Répartition spatiale de la chimie des eaux de l'Izégouande en 2018 :





Annexe 9: Directions d'écoulement des eaux souterraines régionales : a) conditions naturelles ; b) conditions actuelles ; c) conditions avec exploitation par GoviEX (source: SRK 2015)



Annexe 10: Production totale de l'eau du Tarât depuis le début de l'exploitation

Période	TOTAL AEI	Somaït Pit dewatering (m3)	Somaït Pit dewatering (GL)	Cumulative volume (in GL)	Cominak Mine dewatering (m3)	Cominak Mine dewatering (GL)	Cumulative volume (in GL)	TOTAL	GRAND TOTAL	Volume cumulé
1969	34400	0	0	0	0	0	0	0	34400	34400
1970	243024	207440	0,20744	0,20744	0	0	0	207440	450464	484864
1971	995181	599487	0,599487	0,806927	0	0	0	599487	1594668	2079532
1972	869124	659159	0,659159	1,466086	0	0	0	659159	1528283	3607815
1973	1138000	709040	0,70904	2,175126	0	0	0	709040	1847040	5454855
1974	1310493	578200	0,5782	2,753326	0	0	0	578200	1888693	7343548
1975	1791099	591350	0,59135	3,344676	6370	0,00637	0,00637	597720	2388819	9732367
1976	3151982	609050	0,60905	3,953726	34060	0,03406	0,04043	643110	3795092	13527459
1977	3362660	671813	0,671813	4,625539	1265294	1,265294	1,305724	1937107	5299767	18827226
1978	4703493	1217565	1,217565	5,843104	1999150	1,99915	3,304874	3216715	7920208	26747434
1979	5058172	1492997	1,492997	7,336101	1948275	1,948275	5,253149	3441272	8499444	35246878
1980	6554624	1641327	1,641327	8,977428	2199000	2,199	7,452149	3840327	10394951	45641829
1981	6481399	1821684	1,821684	10,799112	2363000	2,363	9,815149	4184684	10666083	56307912
1982	7151292	2041491	2,041491	12,840603	2794520	2,79452	12,609669	4836011	11987303	68295215
1983	6100001	2433288	2,433288	15,273891	2800000	2,8	15,409669	5233288	11333289	79628504
1984	6112310	2172190	2,17219	17,446081	2437040	2,43704	17,846709	4609230	10721540	90350044
1985	6811103	1829685	1,829685	19,275766	1991000	1,991	19,837709	3820685	10631788	100981832
1986	7059180	1859121	1,859121	21,134887	2109000	2,109	21,946709	3968121	11027301	112009133
1987	7101065	1719688	1,719688	22,854575	2269165	2,269165	24,215874	3988853	11089918	123099051
1988	7140674	2185264	2,185264	25,039839	1862953	1,862953	26,078827	4048217	11188891	134287942
1989	7422529	1962944	1,962944	27,002783	1993360	1,99336	28,072187	3956304	11378833	145666775
1990	7089689	1004820	1,00482	28,007603	2306480	2,30648	30,378667	3311300	10400989	156067764
1991	6937962	907879	0,907879	28,915482	1790371	1,790371	32,169038	2698250	9636212	165703976
1992	6379048	863945	0,863945	29,779427	1770647	1,770647	33,939685	2634592	9013640	174717616
1993	6333678	864155	0,864155	30,643582	1821922	1,821922	35,761607	2686077	9019755	183737371
1994	6444103	1043009	1,043009	31,686591	2410160	2,41016	38,171767	3453169	9897272	193634643

1995	6098270	1061256	1,061256	32,747847	2433837	2,433837	40,605604	3495093	9593363	203228006
1996	5927157	1016881	1,016881	33,764728	2094126	2,094126	42,69973	3111007	9038164	212266170
1997	5754793	1288756	1,288756	35,053484	2660737	2,660737	45,360467	3949493	9704286	221970456
1998	5757347	1223775	1,223775	36,277259	3164526	3,164526	48,524993	4388301	10145648	232116104
1999	5053596	798348	0,798348	37,075607	2091410	2,09141	50,616403	2889758	7943354	240059458
2000	4479517,438	797587	0,797587	37,873194	1771518	1,771518	52,387921	2569105	7048622,44	247108080,4
2001	4610536	859589	0,859589	38,732783	1795217	1,795217	54,183138	2654806	7265342	254373422,4
2002	4774251	987046	0,987046	39,719829	1784717	1,784717	55,967855	2771763	7546014	261919436,4
2003	4188648	1036540	1,03654	40,756369	1689103	1,689103	57,656958	2725643	6914291	268833727,4
2004	4120150	1080993	1,080993	41,837362	1505432	1,505432	59,16239	2586425	6706575	275540302,4
2005	4088657	1112193	1,112193	42,949555	1556844	1,556844	60,719234	2669037	6757694	282297996,4
2006	3972673	1234988	1,234988	44,184543	1531727	1,531727	62,250961	2766715	6739388	289037384,4
2007	4522302	1005645	1,005645	45,190188	1300967	1,300967	63,551928	2306612	6828914	295866298,4
2008	5336862	833509	0,833509	46,023697	1440159	1,440159	64,992087	2273668	7610530	303476828,4
2009	6035277	670427	0,670427	46,694124	1655694	1,655694	66,647781	2326121	8361398	311838226,4
2010	7104791	812714	0,812714	47,506838	1737579	1,737579	68,38536	2550293	9655084	321493310,4
2011	6958235	755183	0,755183	48,262021	1902881	1,902881	70,288241	2658064	9616299	331109609,4
2012	7160857	626374	0,626374	48,888395	1846689	1,846689	72,13493	2473063	9633920	340743529,4
2013	6914389	650789	0,650789	49,539184	1738310	1,73831	73,87324	2389099	9303488	350047017,4
2014	6832295	294392	0,294392	49,833576	1579981	1,579981	75,453221	1874373	8706668	358753685,4
2015	7753912	151586	0,151586	49,985162	1831429	1,831429	77,28465	1983015	9736927	368490612,4
2016	7742070,871	23824	0,023824	50,008986	1860398	1,860398	79,145048	1884222	9626292,87	378116905,3
2017	6646357	16641	0,016641	50,025627	1940762	1,940762	81,08581	1957403	8603760	386720665,3
2018	6355598	18260	0,01826	50,043887	1910799	1,910799	82,996609	1929059	8284657	395005322,3
2019										
	261964826,3	Exhaure mine_SR			Exhaure mine_CK			133040496	395005322	
		50043887			82996609					

Annexe 11: Variation du niveau piézométrique des nappes souterraines

Années	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
TARAT (m)	382,44	378,92	378,64	382,68	381,76	381,47	379,85	379,66	378,69	378,67	377,88	376,43	376,14	374,28	374,32	374,55	375,09
GUEZ (m)	392,47	390,90	390,13	387,83	383,77	382,55	382,67	382,70	382,72	386,28	382,29	386,69	382,88	386,02	382,79	385,15	386,94
IZEG (m)		385,47	385,47	384,09	383,68	383,45	383,19	382,95	382,75	382,56	382,31	382,29	382,37	382,18	382,07	381,87	381,70
Piézométrie (m)	386,85	382,34	383,47	383,72	382,19	381,71	380,44	380,29	379,51	380,18	378,79	378,48	377,52	376,64	376,19	376,82	377,77

Années	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
TARAT (m)	375,86	375,54	373,53	372,72	371,66	371,74	371,46	371,23	371,44	371,80	372,13	370,56	371,13	370,34	368,03	364,77	360,48
GUEZ (m)	386,86	387,97	387,77	387,52	386,24	386,13	386,12	386,08	386,00	385,82	384,72	384,52	384,16	384,02	383,82	383,76	377,44
IZEG (m)	381,44	381,30	381,22	381,13	381,00	380,89	380,70	380,62	380,52	380,46	380,34	382,86	382,64	383,18	383,88	380,03	375,34
Piézométrie (m)	378,47	378,30	376,51	375,58	373,89	373,97	373,94	373,83	374,09	373,73	373,71	372,84	373,58	373,09	371,26	368,45	363,46

Années	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
TARAT (m)	358,25	358,08	356,61	355,59	352,67	350,41	348,77
GUEZ (m)	375,31	374,92	379,59	379,07	379,07	380,22	374,35
IZEG (m)	377,87	376,98	378,00	378,43	379,53	380,15	380,76
Piézométrie (m)	362,98	363,29	359,61	358,01	360,21	358,11	358,93

Résumé :

Dans la région d'Arlit au Niger en Afrique de l'Ouest, des gisements d'Uranium sont exploités depuis 1971 par deux sociétés minières : la SOMAIR créée en 1968 et la COMINAK créée en 1974. Ces activités minières ont favorisé la création de deux villes aux alentours des sites miniers qui sont : la ville d'Arlit et la ville d'Akokan. Des nappes souterraines du système multicouche de la région d'Arlit sont exploitées pour l'approvisionnement en eau potable et en eau industrielle de la zone. Le présent travail traite de la Caractérisation hydrogéologique et hydrogéochimique des nappes souterraines de la Zone Minière d'Arlit au Niger. Pour ce faire après une étude documentaire, des échantillons d'eau ont été prélevés et analysés en vue d'évaluer l'impact des activités anthropiques sur ces eaux. La piézométrie actuelle des nappes souterraines de la zone d'Arlit montre qu'après le début des travaux miniers, le sens d'écoulement des nappes souterraines de la région d'Arlit a été modifié dans toute la zone d'étude. En effet, les surfaces piézométriques de ces nappes ont connu une évolution marquée par un important cône de dépression centrée sur les zones de pompage. Ces nappes souterraines connaissent aujourd'hui, du fait des nombreux prélèvements dont elles font l'objet, une diminution de leurs quantités qui implique aussi la baisse de leurs cotes piézométriques. Une diminution de la cote piézométrique d'environ 33.63 m est observée pour la nappe du Tarât, 18.12 m pour la nappe du Guézouman et 4.71 m pour la nappe de l'Izégouande. Les résultats des analyses chimiques faites ont permis de mieux comprendre l'hydrochimie des aquifères. Ces résultats sur la qualité des eaux souterraines mettent en évidence la présence de deux grands types de faciès (bicarbonaté-sodique et sulfaté-sodique).

Mots-clés : Aquifères, Hydrogéologie, Hydrogéochimie, Mines d'Uranium, Pollution.