



ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DES AQUIFERES DE LA REGION D'ARLIT

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : Réseau et Infrastructure Hydraulique (Eau souterraine et AEP)

Présentée et soutenue publiquement le [20/06/2013] par

A. Thérèse N'DAH

Travaux dirigés par : Dr Mahamadou KOITA

Enseignant chercheur

CENTRE COMMUN DE RECHERCHE EAU ET CLIMAT

Mr Farook ASSALACK

Ingénieur hydrogéologue

AREVA MINES NIGER

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Angelbert BIAOU

Membres et correcteurs : Dr Y. KOUSSOUBE

Mr Farook ASSALACK

Dr Mahamadou KOITA

Promotion [2012/2013]



Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

Fondation 2iE - Rue de la Science - 01 BP 594 - Ouagadougou 01 - BURKINA FASO – IFU 00007748B

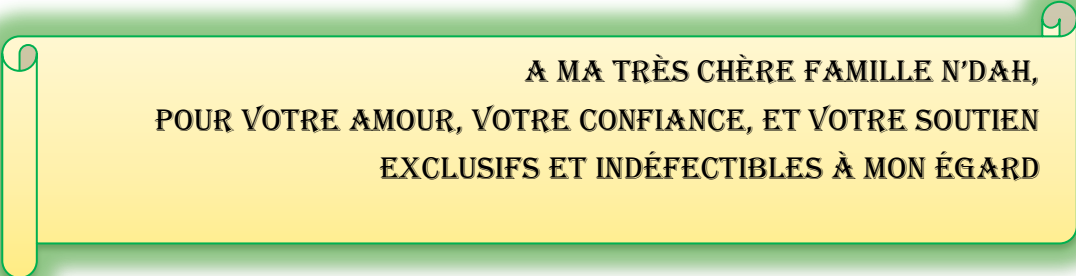
Tél. : (+226) 50. 49. 28. 00 - Fax : (+226) 50. 49. 28. 01 - Mail : 2ie@2ie-edu.org - www.2ie-edu.org

CITATION

*"CHOISISSEZ UN TRAVAIL QUE VOUS AIMEZ ET VOUS N'AUREZ
PAS À TRAVAILLER UN SEUL JOUR DE VOTRE VIE"*

CONFUCIUS

DEDICACE



A MA TRÈS CHÈRE FAMILLE N'DAH,
POUR VOTRE AMOUR, VOTRE CONFIANCE, ET VOTRE SOUTIEN
EXCLUSIFS ET INDÉFECTIBLES À MON ÉGARD

REMERCIEMENTS

A travers ces quelques mots je voudrais pouvoir exprimer mes véritables et sincères remerciements à ces personnes, institutions qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Je sais gré à la direction de Areva Mines Niger en la personne de son premier responsable, le bienveillant Mr Ibrahim Courmo. Merci d'avoir bien voulu porter cette attention à mon profil et ma personne, aussi de m'avoir accordé ce stage ;

A la formidable grande famille qu'est la direction Géosciences à Arlit, j'aimerais vous dire la bonne grâce que m'inspire l'obligeance avec laquelle vous m'avez accepté parmi vous. Particulièrement à Mr Harouna Seyni Morou, responsable de Geosciences et Mme Issoufou Hannatou en qui j'ai découvert une fabuleuse grande sœur ;

Grand merci à toute l'équipe « hydro » du projet Aman, en raison de l'assistance et la disponibilité remarquables dont vous avez fait preuve durant toute la période du stage ; notamment à Mr Seyni Koudou Soumana pour sa promptitude concernant le partage de connaissances et d'expériences ;

A Mr Anthony Le Beux, expert hydrogéologue à la défense et directeur du projet, pour m'avoir accordé ce thème et m'avoir apporté sa contribution et sa collaboration tout au long du stage ;

Je remercie spécialement Mr Assalack Farook, chef de l'équipe hydrogéologie en sa qualité de maitre de stage. En dépit de vos occupations multiples, vous avez réussi à me consacrer un encadrement exceptionnel, permanent et au-delà de mes espérances ;

Je ne saurais oublier le corps professoral du 2^{ie} pour la connaissance transmise pendant ces deux ans de Master passés. Spécifiquement le Dr Koita Mahamadou, dans son double rôle de responsable pédagogique de la filière Eaux souterraines-AEP et d'encadreur 2^{ie} du mémoire ;

Mes pensées vont aussi à l'encontre de tous mes camarades de 2^{ie} qui ont toujours su être présents pour moi et qui m'ont encouragé dans cette entreprise.

A ceux que je n'ai pu mentionner dans cette liste non exhaustive, à tous, voyez en ce mémoire l'accomplissement de tous les efforts consentis, de chacun vos gestes amicaux et encourageants !

SOCRATE disait que l'écriture tue la pensée, cependant j'ai écrit ces quelques lignes pour essayer de vous faire entrevoir la profonde gratitude qui m'anime...

RESUME

La région d'Arlit, située dans le bassin sédimentaire géologique de Tim Mersoï dans le climat désertique du Nord Niger, est une zone créée à la faveur des sociétés uranifères.

Les nappes du système aquifère multicouche d'Arlit notamment le Guezouman et le Tarat sont exploitées soit pour l'approvisionnement en eau potable et industrielle de la région, soit pour les besoins d'extraction de l'uranium des formations. En vue d'améliorer l'état de connaissance du Tarat et du Guezouman, une synthèse cartographique des données hydrogéologiques et hydrochimiques disponibles depuis la mise en place des sociétés minières a été réalisée.

A l'origine, les nappes du Tarat et du Guezouman dites fossiles étaient captives et s'écoulaient régulièrement d'une ancienne zone d'alimentation au sud vers une zone d'évaporation au Nord, selon une direction SE-NW. Après le début des activités minières, les surfaces piézométriques de ces nappes ont connu une évolution marquée par un important cône de dépression centrée sur la mine de Cominak. On observe un rabattement d'environ 170 à 200 m du niveau des nappes au droit de la mine de Cominak. Elles connaissent aujourd'hui, du fait des nombreux prélèvements dont elles sont l'objet, une diminution de leurs zones de captivités et le développement de zones sèches au droit des fosses minières.

Par ailleurs, le Guezouman, qui combine sa grande profondeur (250 m) avec de médiocres paramètres hydrodynamiques, présente des possibilités d'exploitation limitées pour l'eau potable. Cependant les eaux du Guezouman qui sont de type bicarbonaté sulfaté sodique sont potables. De plus, sur le secteur de la zone urbaine, elles ne subissent pas de variation de leur qualité du fait de l'exploitation minière.

Aussi la nappe du Tarat présente de bonnes propriétés hydrodynamiques notamment sur le secteur Nord de la zone d'étude et sur la zone urbaine où elle est déjà exploitée pour l'approvisionnement en eau potable et industrielle de la région.

MOTS CLÉS:

Arlit

Aquifère du Tarat et Guezouman

Hydrochimie

Piézométrie et écoulement

Evolution

ABSTRACT

The region of Arlit, located in the geological sedimentary basin of Tim Mersoï in the desert climate of Niger North, is a zone created owing to the mining activities of the uranium-bearing companies.

The groundwater of the multi-layer aquifer system of Arlit in particular Guezouman and Tarat are exploited either for the drinking and industrial water supply of the area, or for the needs for uranium's extraction of the formations. In order to improve the state of knowledge of Tarat and Guezouman, a cartographic synthesis of the hydrogeologic and hydrochemical data available since the installation of the mining companies was carried out.

At the origin, the groundwater of Tarat and Guezouman known as fossils were captive and ran out regularly of an old zone of refill in the south towards a zone of evaporation in North, following a SE-NW direction. After the beginning of the mining activities, the piezometric surfaces of these groundwater knew an evolution marked by an important cone of depression centered on the mine of Cominak. It notices a folding back from approximately 170 to 200 m of the level of the groundwater next to the quarry of Cominak. Today, because of the many taking away of which they are the object, they know a reduction in their zones of captivities and the development of dry zones on the mining pits.

In addition, Guezouman, which combines its great depth (250 m) with poor hydrodynamic parameters, presents limited possibilities of exploitation for drinking water. However water of Guezouman which is sodic sulphated bicarbonated types is drinkable. Moreover, on the sector of the urban area, it does not undergo variation of their quality because of mining.

Also the groundwater of Tarat present good hydrodynamic properties in particular on the Northern sector of the zone of study and on the urban area, where it is already exploited for the drinking and industrial water supply of the region.

KEY WORDS:

Arlit

Aquifer of Tarat and Guezouman

Hydrochemistry

Piezometry and flow

Evolution

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

AEI : Alimentation en Eau Industrielle

AEP : Approvisionnement en Eau Potable

ARLI : Arlit

BADGE : base de données AREVA MINES pour la gestion des données hydrogéologiques et hydrochimiques

CEA : Commissariat à l'Energie Atomique

CK : Cominak

COGEMA: Compagnie Générale des matières nucléaires

COMI : Secteur de Cominak, ouvrages appartenant à la Cominak

MALA : Ex Camp de Madaouela, secteur du Madaouela

MCO : Mine à Ciel Ouvert

MOUR : Secteur du Mouron

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economique

SR : Somaïr

TMS : Travaux de Mine Souterraine

ZI : Zone Industrielle

ZU : Zone Urbaine

TABLE DES MATIERES

CITATION	ii
DEDICACE	iii
REMERCIEMENTS	iv
RESUME	v
ABSTRACT	vi
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	vii
TABLE DES MATIERES	viii
LISTE DES FIGURES	xi
LISTES DES TABLEAUX	xiii
1. INTRODUCTION GENERALE	1
2. GENERALITES DE LA ZONE D'ETUDE	3
2.1. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL	3
2.2. CADRE GEOGRAPHIQUE	4
2.2.1. Localisation	4
2.2.2. Morphologie et climatologie	4
2.2.3. Population et activités	5
2.3. CADRE GEOLOGIQUE	5
2.3.1. Stratigraphie et sédimentologie de la région d'Arlit	5
2.3.2. Cadre tectonique	7
2.4. ENVIRONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE	9
2.4.1. Le système aquifère	9
2.4.2. Description de la nappe du Guezouman	9
2.4.3. Description de la nappe du Tarat	10
3. METHODOLOGIE	11
3.1. ACQUISITION DES DONNEES	11
3.1.1. Principe de synthèse	11
3.1.2. Mesures piézométriques	13
3.1.3. Analyses physico-chimiques et radiologiques	14
3.2. MATERIELS ET LOGICIELS DE TRAITEMENT DE DONNEES	14
3.2.1. Matériels techniques	14
3.2.2. Matériels numériques	14

3.3.	CARTOGRAPHIE HYDROGEOLOGIQUE	15
3.3.1.	Etablissement des cartes et hydrographes	15
3.3.2.	Interprétation des cartes piézométriques et hydrographes	15
3.4.	CARTOGRAPHIE HYDROCHIMIQUE.....	16
3.4.1.	Méthode de la détermination des faciès des eaux.....	16
3.4.2.	Méthode de la représentation spatiale de la chimie	16
4.	RESULTATS ET DISCUSSION.....	17
4.1.	PIEZOMETRIE ET HYDRODYNAMIQUE DU GUEZOUMAN	17
4.1.1.	Ecoulement de la nappe du Guezouman avant l'activité minière	17
4.1.2.	Caractéristiques hydrodynamiques du Guezouman.....	19
4.1.3.	Evolution piézométrique de la Nappe à partir de l'exploitation minière	22
4.2.	HYDROCHIME DU GUEZOUMAN	29
4.2.1.	Contexte hydrochimique initial	29
4.2.1.1.	Hydrofaciès du Guezouman.....	30
4.2.1.2.	Caractéristiques physiques des eaux du Guezouman	32
4.2.1.3.	Distribution spatiale des éléments chimiques	32
4.2.2.	Qualité hydrochimique actuelle de la nappe	33
4.3.	CONCLUSION PARTIELLE POUR L'AQUIFERE DU GUEZOUMAN	35
4.4.	PIEZOMETRIE ET HYDRODYNAMIQUE DE LA NAPPE DU TARAT	36
4.4.1.	Ecoulement de la nappe du Tarat avant l'activité minière	36
4.4.2.	Caractéristiques hydrodynamiques du Tarat	37
4.4.3.	Impact de l'exploitation sur la piézométrie du Tarat	42
4.5.	PROPOSITION DE FUTURES ZONES D'EXPLORATION	49
4.5.1.	Proposition de zones de surveillance de la nappe du Guezouman	49
4.5.2.	Proposition de zones d'exploitation de la nappe du Tarat	50
5.	CONCLUSION	52
	RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	54
	BIBLIOGRAPHIE	55
	ANNEXES	57
	ANNEXE 1 : FIGURES.....	57
A.	Cadre géologique et stratigraphique de la zone d'étude.....	57
B.	Evolution piézométrique de la nappe du Guezouman.....	60
C.	Cartographie hydrochimique de la nappe du Guezouman.....	64

D. Evolution piézométrique de la nappe du Tarat	67
ANNEXE 2 : TABLEAUX	69
ANNEXE 3 : NORMES ET DIRECTIVES DE POTABILITE DES EAUX.....	81
ANNEXE 4 : CHRONIQUE PIEZOMETRIQUE DES OUVRAGES	83
A. HYDROGRAPHES DES OUVRAGES DU GUEZOUMAN	83
B. HYDROGRAPHES DU TARAT	88

LISTE DES FIGURES

Figure 1: situation géographique du département d'Arlit (Gado Rachida 2012).....	4
Figure 2:Pluviométrie de la région d'Arlit (source: station météo)	5
Figure 3: carte structurale de la région d'Arlit (Mai 2013)	8
Figure 4: Points échantillonnés pour la nappe du Tarat.....	12
Figure 5 : Points échantillonnés pour la nappe du Guezouman	13
Figure 6:Niveau piézométrique initial de la nappe du Guezouman.....	17
Figure 7 : Coupe W/E au travers de l'accident d'Arlit à partir de données de sondages et des données de surface. (Richard. 2005). Exagération verticale X5	18
Figure 8: Évolution de la piézométrie avant exploitation minière dans le secteur Sud d'Arlit	19
Figure 9:Carte des transmissivités du Guezouman (source des données: avant1984).....	19
Figure 10: Carte des perméabilités au Guezouman	20
Figure 11: Carte des débits spécifiques du Guezouman	21
Figure 12: Cartographie de la piézométrie du Guezouman (Décembre 1979).....	22
Figure 13: Cartographie de la piézométrie actuelle du Guezouman (Juillet- Septembre 2012).....	23
Figure 14: Chronique piézométrique du Guezouman Secteur Cominak	24
Figure 15: Droite du rabattement de la nappe du Guezouman en fonction de la mine de Cominak .	25
Figure 16: Hydrographes des ouvrages du secteur Somaïr - ZU Arlit	27
Figure 17:Evolution de la piézométrie dans le secteur de Somaïr – Amidar	28
Figure 18: Hydrographes du secteur du Mouron	29
Figure 19: Diagramme de Piper des eaux du Guezouman	30
Figure 20:Diagrammes de Schoeller-Berkaloff montrant les deux pôles d'eau dans la nappe du Guezouman. Pôle1 à gauche. Pôle2 à droite	31
Figure 21: Teneur en sodium dans la nappe du Guezouman.....	33
Figure 22: Teneur en sulfate dans la nappe du Guezouman.....	33
Figure 23:Piézométrie initiale de la nappe du Tarat	36
Figure 24:Cartographie des perméabilités au Tarat	39
Figure 25: Cartographie des transmissivités au Tarat	40
Figure 26: Cartographie des débits spécifiques au Tarat	41
Figure 27: Piézométrie de la nappe du Tarat en Décembre 1980.....	42
Figure 28: Evolution piézométrique sur le secteur d'Amidar (piézomètre ARLI_277_2, Tarat).....	43
Figure 29: Hydrographes du captage ARLI_424_3 (ZU_Arlit, Tarat).....	44
Figure 30: Evolution piézométriques au secteur Sud (Tarat).....	45
Figure 31: Cartographie de la piézométrie du Tarat en 2000.....	46
Figure 32: Evolution piézométrique sur la ZI CK (Tarat)	46
Figure 33: Chronique piézométrique des ouvrages présentant des anomalies (secteur ZI CK, Tarat)	47
Figure 34: Ecoulement actuel dans la nappe du Tarat (Mars 2013)	48
Figure 35: Proposition de zones d'exploitation future du Tarat.....	51

ANNEXE1 Figure 1: Carte géologique simplifiée de la partie orientale du bassin de Tim Mersoï et coupe stratigraphique de la région d'Arlit.....	57
ANNEXE1 Figure 2: système aquifère multicouche de la région d'Arlit	58
ANNEXE1 Figure 3: Isopaques du Tarat (Aman 2004)	59
ANNEXE1 Figure 4: Cartographie de la piézométrie du Guezouman (Juin 1973)	60
ANNEXE1 Figure 5: Cartographie de la piézométrie du Guezouman (Juillet 1984)	61
ANNEXE1 Figure 6: Cartographie de la piézométrie du Guezouman (Décembre 1996).....	62
ANNEXE1 Figure 7: Cartographie de la piézométrie du Guezouman (Septembre 2003)	63
ANNEXE1 Figure 8: Cartographie des paramètres physiques initiaux des eaux de la nappe du Guezouman.....	64
ANNEXE1 Figure 9:Cartographie de la concentration initiale en résidus sec de la nappe du Guezouman.....	65
ANNEXE1 Figure 10:Cartographie de la concentration initiale en Chlorure de la nappe du Guezouman.....	65
ANNEXE1 Figure 11:Cartographie de la concentration initiale en calcium et magnésium de la nappe du Guezouman.....	66
ANNEXE1 Figure 12:Cartographie de la concentration initiale en potassium de la nappe du Guezouman.....	66
ANNEXE1 Figure 13: Cartographie de la piézométrie du Tarat (Décembre 1990)	67
ANNEXE1 Figure 14: Cartographie 3D de la piézométrie du Tarat (Décembre 2000), mise en évidence des anomalies de mesures au niveau des piézomètres Arli_987_2, Arli_984_2	68

ANNEXE4 Figure 1: HYDROGRAPHES AU GUEZOUMAN (secteur d'Amidar).....	83
ANNEXE4 Figure 2: HYDROGRAPHES AU GUEZOUMAN (secteur de Somaïr)	84
ANNEXE4 Figure 3: HYDROGRAPHES AU GUEZOUMAN (ZI COMINAK)	85
ANNEXE4 Figure 4: HYDROGRAPHES AU GUEZOUMAN (ZI Cominak)	86
ANNEXE4 Figure 5: HYDROGRAPHES AU GUEZOUMAN (secteur du Mouron).....	87
ANNEXE4 Figure 6: HYDROGRAPHES AU TARAT (secteur d'Amidar).....	88
ANNEXE4 Figure 7 : HYDROGRAPHES AU TARAT (ZI Cominak)	89
ANNEXE4 Figure 8: HYDROGRAPHES AU TARAT (secteur de Cominak)	89
ANNEXE4 Figure 9 HYDROGRAPHES AU TARAT (zone Sud).....	89
ANNEXE4 Figure 10: HYDROGRAPHES AU TARAT (ZU_Arlit).....	89

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1: statistiques descriptives des eaux du Guezouman	29
Tableau 2: Synthèse des analyses des eaux du Guezouman, Secteur ZU Arlit – Mouron, 2011.....	34
Tableau 3: Statistiques descriptives des caractéristiques hydrodynamiques au Tarat.....	37
Annexe2 Tableau 1: Caractéristiques hydrodynamiques du Guezouman (avant 1984)	69
Annexe2 Tableau 2: Côtes piézométriques au Guezouman (Juillet 1970)	70
Annexe2 Tableau 3: Côtes piézométriques au Guezouman (Juillet_Septembre 2012)	70
Annexe2 Tableau 4: Côtes piézométriques au Guezouman (1973, 1979)	71
Annexe2 Tableau 5: Côtes piézométriques au Guezouman (1984, 1996, 2003)	72
Annexe2 Tableau 6: Chimie des eaux du Guezouman (avant 1970).....	73
Annexe2 Tableau 7: Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe Tarat	74
Annexe2 Tableau 8: Côtes piézométriques au Tarat (Dec 1968)	76
Annexe2 Tableau 9: Côtes piézométriques au Tarat (Mars 2013)	77
Annexe2 Tableau 10: Côtes piézométriques au Tarat (Dec 1980)	78
Annexe2 Tableau 11: Côtes piézométriques au Tarat (Dec 1990)	79
Annexe2 Tableau 12: Côtes piézométriques au Tarat (Dec 2000)	80

1. INTRODUCTION GENERALE

Selon le rapport de l'OCDE de 2008, à travers le monde, plusieurs points sont particulièrement préoccupants concernant l'eau. Il s'agit de la consommation, de l'épuisement des ressources et de la pollution des eaux souterraines et de surface.

La région d'Arlit qui connaît le développement des activités minières notamment l'extraction et le traitement de l'uranium est loin d'être épargnée par ces préoccupations. En effet, Arlit cumule la question de disponibilité d'eau industrielle pour les sociétés minières et d'eau potable pour la population. En outre, le risque d'une pollution des nappes par l'influence des activités industrielles sur leur qualité n'est pas à négliger. De tous ces problèmes, il se dégage la problématique de la gestion et la surveillance régionale des aquifères, du point de vue hydrogéologique et hydrochimique.

La présente « Etude hydrogéologique des aquifères de la région d'Arlit » s'inscrit donc dans le cadre de la gestion durable des nappes fossiles de la région d'Arlit qui implique une excellente connaissance de leur disponibilité et de leur variabilité dans le temps et dans l'espace.

L'objectif général poursuivi à travers cette étude est de contribuer à l'amélioration de l'état de connaissance des aquifères pour assurer l'approvisionnement en eau potable et industrielle sur le long terme et de prévoir le comportement des nappes après mines.

Spécifiquement, il s'agit d'atteindre les objectifs suivants:

- Synthétiser les données piézométrique et hydrochimique disponibles depuis la mise en place des sociétés minières ;
- Evaluer l'état de dégradation ou d'équilibre potentiel des nappes du point de vue de la productivité et de la chimie ;
- Proposer des futures zones d'exploration des différentes nappes afin de diversifier la ressource et réduire la sollicitation de l'aquifère exploité.

Afin d'orienter ce travail, les hypothèses principales suivantes ont été émises :

- Les échanges sont autorisés de part et d'autre de la faille flexure d'Arlit qui est semi-perméable ;
- A l'état initial, les nappes sont en équilibre entre elles ;
- De la mise en exploitation des sociétés minières à 1984, les données consignées dans les synthèses hydrogéologiques de SCET AGRI 1985 prévalent sur toutes autres.

Le principal outil utilisé afin de mener cette étude est la cartographie hydrogéologique qui est la synthèse essentielle de l'inventaire des ressources hydrauliques.

Ce présent rapport qui traite particulièrement de la nappe du Guezouman et du Tarat s'articule autour des axes qui suivent :

1. Généralités de la zone d'étude
2. Méthodologie
3. Résultats et discussions présentés par aquifère

2. GENERALITES DE LA ZONE D'ETUDE

2.1. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

Le projet AMAN

AREVA est une société de droit français qui est dans le domaine de l'énergie nucléaire civile. Au Niger, elle intervient dans les activités de recherche et d'exploitation de l'uranium à Arlit dans la région d'Agadez à travers ses entités que sont SOMAÏR, COMINAK, IMOURAREN SA et AREVA MINES NIGER.

Le GROUPE GEOSCIENCES de AREVA MINES NIGER regroupe l'ensemble des activités d'exploration, de support aux entités minières et aussi celles hydrogéologiques. Sa direction opérationnelle à laquelle appartient le « Projet AMAN » est basée dans la localité d'Akoka (Arlit). Depuis sa mise en place en Avril 2003 avec la collaboration de Cominak et Somaïr auxquels il vient en appui, le Projet AMAN a comme mission la gestion intégrée et durable de la ressource en eau de la région. Dans ce cadre, il se fixe comme objectif principal l'amélioration de la connaissance des aquifères exploités de la région et la prévision de leur évolution à travers des modélisations hydrogéologiques et hydrogéochimiques.

Les objectifs finaux de ses études sont :

- Assurer l'approvisionnement en eau pour les années futures et garantir sa qualité.
- Appuyer les sociétés minières pour les études hydrogéologiques liées aux dénoyages des gisements, et les études d'impact environnemental.

Bref historique sur la création des sociétés uranifères du Niger

Les campagnes de prospection lancées à partir de 1959 par le CEA sur le vaste territoire nigérien ont conduit à la découverte d'une série de gisements dans la région d'Arlit.

En 1967, la Société des Mines de l'Aïr (SOMAÏR) est créée pour l'exploitation et le traitement de l'uranium tandis que les premières constructions qui préfigurent la future ville d'Arlit sont réalisées. La production effective des mines à ciel ouvert démarrera ensuite en 1971.

La Compagnie Minière d'Akouta (COMINAK), créée en 1974, conduira à la mise en exploitation par galerie souterraine de gisements plus profonds et sera à l'origine de l'émergence de la petite cité d'Akoka, à environ 6km à l'Ouest de la ville d'Arlit. La production usine a débuté en 1978.

2.2. CADRE GEOGRAPHIQUE

2.2.1. Localisation

Situé en Afrique de l'Ouest, le Niger est un pays sahélien à climat essentiellement désertique (4/5 du territoire appartient aux zones sahariennes et présahariennes) qui s'étend sur 1.267.000 Km².

Le département d'Arlit, dont la ville est chef-lieu se trouve dans la région d'Agadez au Nord du Niger. La ville se situe à 250 km au Nord-ouest d'Agadez et à 850 km au Nord-est de Niamey, à la longitude - 7°23'26'' et à la latitude 18°44'16''.

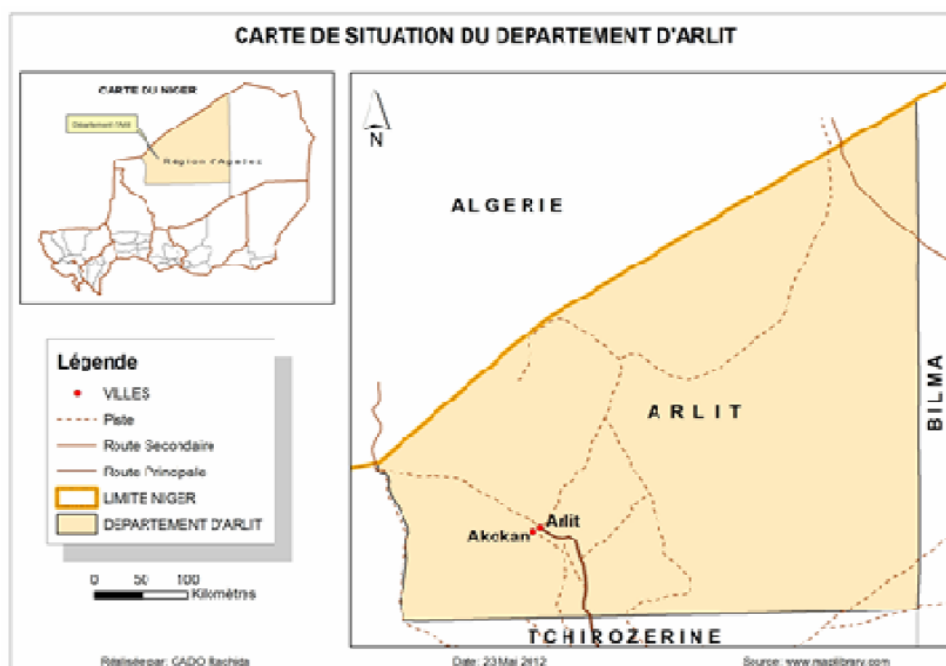


Figure 1: situation géographique du département d'Arlit (Gado Rachida 2012)

2.2.2. Morphologie et climatologie

La ville d'Arlit se trouve dans un relief de plaine à 80 km à l'ouest du massif granitique de l'Aïr avec une altitude moyenne de 450 m.

Le paysage est monotone (regs à petits galets et zones sablonneuses se succèdent, entrecoupés localement d'affleurement rocheux ruiniformes de grès ocres) et uniformément plat.

La végétation y est rare, clairsemée de quelques épineux (acacias...) et touffes de graminées.

Située dans les confins Sud du désert du Sahara, la zone d'étude est dotée d'un climat subdésertique de type saharien avec une saison sèche (octobre à juin) et une saison humide (juillet à septembre). Ce climat est caractérisé par une forte température moyenne annuelle (28,7°C).

Les précipitations annuelles sont presque inexistantes avec une forte irrégularité (réparties sur 1 à 14 jours par an). On enregistre 49 mm en moyenne. Il n'existe aucun cours d'eau permanent local. Cependant on note la présence du lit et des alluvions de certains rares cours d'eau temporaires (à la sortie du massif de l'Aïr) ou de dépressions inondées par les pluies pendant plusieurs jours.

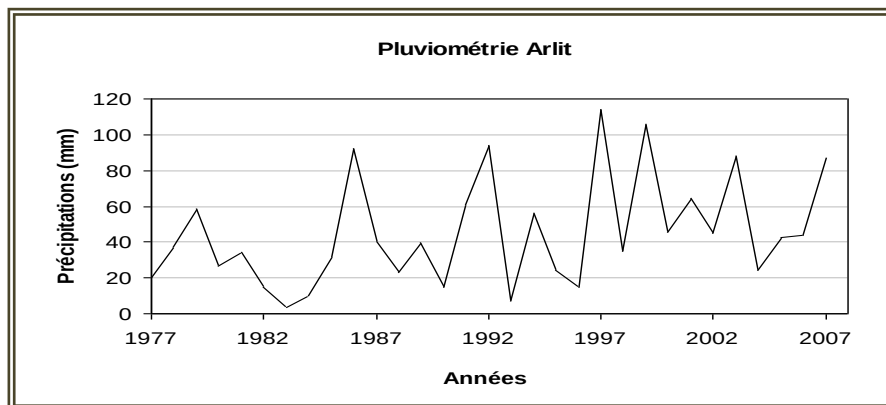


Figure 2:Pluviométrie de la région d'Arlit (source: station météo)

2.2.3. Population et activités

La zone d'étude jadis inhabitée connaît un peuplement rapide et compte aujourd'hui en tant que commune urbaine 113 428 habitants (recensement de 2012).

Bien qu'elle soit en plein pays touareg, la ville d'Arlit abrite quasiment toutes les ethnies nigériennes et celles d'autres pays, en raison des nombreux emplois créés par l'industrie minière.

Les groupes autochtones traditionnellement nomades vivent d'élevage ; s'y ajoutant d'autres activités comme le commerce et le jardinage en périphérie de la ville.

2.3. CADRE GEOLOGIQUE

La géologie de la zone d'étude a fait l'objet de nombreuses recherches et prospections minières et est de ce fait très connue.

2.3.1. Stratigraphie et sédimentologie de la région d'Arlit

La région d'Arlit recèle d'importants gisements d'uranium encaissés dans les formations carbonifères de la bordure orientale du vaste bassin intracratonique du Tim Mersoï (640.000 km²). Ce bassin, limité au Nord par le massif du Hoggar et à l'Est par le massif de l'Aïr, est caractérisée par une succession périodique de milieux de sédimentation à tendance marine et continentale (épandages deltaïques, fluviaux, lacustres), (Projet Aman, Juin 2004). Il renferme les formations les plus anciennes allant du paléozoïque inférieur, affleurant dans la partie nord autour d'In Azawa, au Crétacé inférieur présent dans l'Irhazer et le Tégama dans la partie centrale.

Les couches sédimentaires paléozoïques du bassin s'appuient sur le socle cristallin granito-gneissique de l'Aïr en se biseautant successivement et s'incurvent vers le Nord.

On peut subdiviser la stratigraphie en deux ensembles que sont les formations grises réduites du Carbonifère supérieur et les formations rouges oxydées du Permien au Jurassique (AREVA NC NIGER, Mars 2009). La succession des séries individualisées de la base au sommet est alors la suivante (Annexe1 figure1) :

La série de TERADA

Groupe de formations du Viséen en contact direct avec le socle. Il comprend :

- **La formation de Teragh** : sédiment fluvio-glaciaire composé de grès détritique pour l'essentiel (grès grossier à passées d'argilites du Farazzekat) ;
- **La formation du Talak** : sédiment marine composé d'argilites noires avec des intercalations de grès fin, carbonatés phosphatés dans la partie sommitale ;
- **L'unité d'Akola (UA)** : alternance de minces lits de grès fins et d'argilites noires (faciès tidal).

La série de TAGORA

Groupe de formations carbonifères affectées par des cycles fluvio-deltaïques (Valsardieu, 1971):

- **Les Conglomerat de Téléflak** : unité de faible épaisseur se confondant souvent à la base des grès du Guezouman auxquels elle est rattachée ;
- **Le Guezouman** : succession de bancs de grès moyens à grossiers, formant un ensemble gréseux très homogène (peu de niveaux argileux) sur une épaisseur variant entre 20 et 40 m ;
- **Le Tchinezogue** : bancs épais d'argilites, de siltites et grès fins à moyens organisés en 4 unités que sont le Tchinezogue Gris – bleu (GB), le Tchinezogue Blanchâtre (BL), le Tchinezogue Bleu-vert (BV), l'Unité Terminale du Tchinezogue (UTT) ;
- **Le Tarat** : grès moyens à grossiers continentaux avec des intercalations de niveaux argileux et riche en matières organiques (végétaux). Il se décompose en 3 unités (U1, U2, U3) débutant par une base érosive et évoluant vers un terme argileux.
- **Le Madaouela** : grande alternance d'arkose et d'argilite de milieu deltaïque à marines épicontinentales dont la répartition cartographique est fortement contrôlée par l'accident d'Arlit. Le Madaouela est très développé à l'ouest de la faille (jusqu'à 150 m de puissance), alors que sa présence est sporadique à l'est ou sa puissance ne dépasse pas 30 m.
- **L'unité d'Arlit** : grès moyens à grossiers riches en éléments éoliens de faible épaisseur (10-15m), séparés par un niveau argileux infra-métrique. Elle se caractérise généralement par une couleur verte pâle (présence de chlorite) lorsqu'elle repose sur le Tarat supérieur, et par une couleur rouge lie-de-vin (rubéfaction) lorsqu'elle repose sur le Madaouela argileux.

La série de L'IZEGOUANDE

Début du continental intercalaire Permien (formations rouges oxydées), elle comprend :

- **L'Izégouande** : arkoses et grès feldspathiques avec ciment carbonaté, lentilles d'argilites rouges, passées conglomératiques et bois silicifiés. Il affleure sur la majeure partie de la zone d'étude.
- **Le Tejia** : petite unité (5-10m) d'argilites rouges lacustres,
- **Le Tamamaït** : barres de grès fins à ciment carbonaté séparées par un niveau d'argilites et de silitites,
- **Le Moradi** : argilites lacustres dont la monotonie est rompue par une barre de grès conglomératiques riches en éléments argileux carbonatés (présentant une forte et significative cimentation le long de l'accident d'Arlit).

Le groupe d'AGADEZ

Ce sont des grès, arkoses et argilites datés du Trias jusqu'au Crétacé inférieur, avec un important matériel détritique d'origine volcanique. Il comprend le Tchirezine1, Tchirezine2, l'Abinky et les grès moyens à fins du Teloua1 et Teloua2.

Le groupe de L'IRHAZER et le TEGAMA

Ils sont essentiellement représentés par les argilites rouges lacustres de la formation de l'Irhazer (série de Dabla) et des dépôts gréseux fluviaux de Tegama.

2.3.2. Cadre tectonique

D'une façon générale, les formations dans le bassin de Tim Mersoï ont un pendage très faible, de l'ordre d'un degré vers le Sud-ouest. De nombreuses failles affectent les formations présentes (figure3) :

- La **flexure-faille d'Arlit** de direction Nord-Sud qui est l'accident le plus remarquable. Cet accident subvertical majeur est responsable de la surrection anticlinale des dômes existants dans le secteur de l'étude (décrochement sénestre sur 200 à 300 m), et présente un rejet vertical ayant provoqué l'effondrement du compartiment Ouest, tandis que le compartiment Est se trouve surélevé. La faille-flexure subdivise notre zone d'étude en deux zones : « la zone Ouest flexure et la zone Est flexure ».
- D'autres flexures de direction nord-est (N30°) affectent le secteur lui donnant une structure en horsts et grabbens. Ce sont : les **flexures du Mouron, d'Autruche, d'Izérétagen et la flexure-faille de Madaouéla**.

- La direction E-W, la plus fréquente se manifeste par de nombreux faisceaux de discontinuités souvent accompagnés de fractures conjuguées, (**le faisceau de Tin Adrar**), traverse d'Ouest en Est le secteur au niveau des villes d'Akokan et d'Arlit.

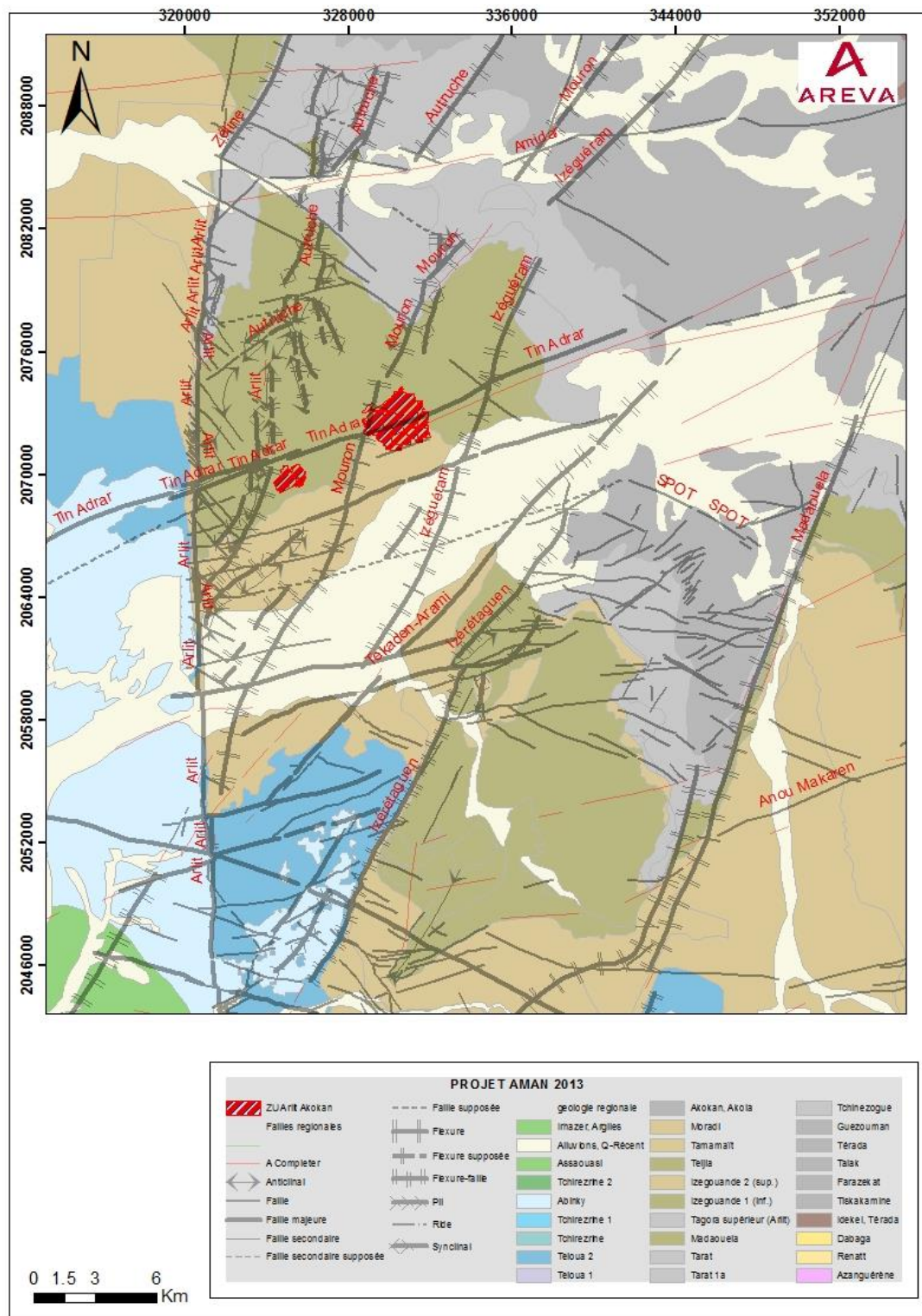


Figure 3: carte structurale de la région d'Arlit (Mai 2013)

2.4. ENVIRONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE

2.4.1. Le système aquifère

La description lithostratigraphique qui précède et les nombreux travaux hydrogéologiques menés depuis les années 1960 ont permis de distinguer dans la région d'Arlit quatre horizons perméables d'étendue régionale (CEA – GAM, 1972), (SCET AGRI, 1985). L'ensemble constitue un système aquifère multicouche comportant du haut vers le bas les nappes suivantes :

- La nappe du Teloua ;
- La nappe de l'Izégouande ;
- La nappe du Tarat ;
- La nappe du Guezouman.

Aussi, de façon locale sur la zone industrielle de la Cominak, trois autres nappes sont mises en évidence et sont contenues dans :

- Les Koris (alluvions) ;
- Les conglomérats situés en partie médiane du Moradi
- Les bancs gréseux du Tamamaït supérieur et du Tamamaït inférieur

2.4.2. Description de la nappe du Guezouman

La nappe du Guezouman est limitée au nord et à l'est de la ville d'Arlit par les limites de la formation elle-même. A l'ouest de la flexure d'Arlit, la nappe est très profonde et elle est considérée comme indépendante de celle située en est-flexure.

Le mur de l'aquifère est constitué par les argilites épaisses du Talak et son toit par la formation du Tchinézogue, également imperméable. La nappe du Guezouman est donc une nappe captive fossile supposée indépendante des nappes sus et sous-jacentes (SCET AGRI, Juillet 1985).

Les épaisseurs de la formation aquifère, à peu près uniformes, varient entre 35m et 55 m avec un amincissement au niveau de l'anticlinal d'Autruche et un épaissement le long de la faille-flexure d'Arlit (65m).

2.4.3. Description de la nappe du Tarat

La nappe du Tarat est limitée au nord et à l'est de la ville d'Arlit par sa limite d'extension.

Les nombreux sondages réalisés dans la zone d'étude ont montré que la puissance du Tarat est sujette à des variations très importantes dues à la fois aux structures tectoniques et au mode de sédimentation fluviodeltaïque lié à l'énergie du milieu de dépôt (Projet Aman, Juin 2004). Son épaisseur varie donc entre 10 et 60 m pour une moyenne de 30 à 40 m (Voir les isopaques du Tarat Annexe1 figure3)

L'aquifère du Tarat étant surmontée par des formations imperméables, la nappe était à l'origine en charge. En effet, son toit est constitué soit des argilites du Madaouela soit de l'Arlit. Son mur quant à lui est composé d'argilites épaisses du Tchinezogue.

Du fait de la faible épaisseur et des discordances des formations du toit du Tarat, il y a possibilité d'une communication entre la nappe et celle de l'Izégouande située au-dessus. Il existerait donc une drainance naturelle du Tarat à travers la formation d'Arlit. Aussi une communication directe a été établie grâce aux sondages de reconnaissance du Tarat (SCET AGRI, Juillet 1985).

3. METHODOLOGIE

3.1. ACQUISITION DES DONNEES

3.1.1. Principe de synthèse

La synthèse des données hydrophysiques et hydrochimiques s'est effectuée suivant les principes essentiels d'établissement des inventaires des ressources hydrauliques (Castany, 1982) :

Catalogue détaillé des forages

Il est constitué des données actualisées des puits et/ou piézomètres et rassemble la totalité des renseignements existants sur la piézométrie, les paramètres hydrodynamiques et les résultats d'analyses chimiques des nappes depuis les années 1960.

- 1960-1984 : synthèse hydrogéologiques réalisées par SCET AGRI en Juillet 1985 et SERMINE
- 1984-2013 : bases de données de BADGE
- 2013 : tournée piézométrique des ouvrages suivis par Aman et les sociétés Cominak et Somair

Normalisation et établissement des documents

Le report des données obtenues a été fait sur des fiches analytiques de format Excel : tableaux de synthèse piézométrique et hydrochimique depuis la mise en place des sociétés minières. Les points échantillonnés sont présentés sur la figure 4 et la figure 5.

Synthèse

Les documents d'inventaire permettent d'établir les synthèses régionales dont l'élément essentiel d'expression est la cartographie hydrogéologique et hydrochimique.

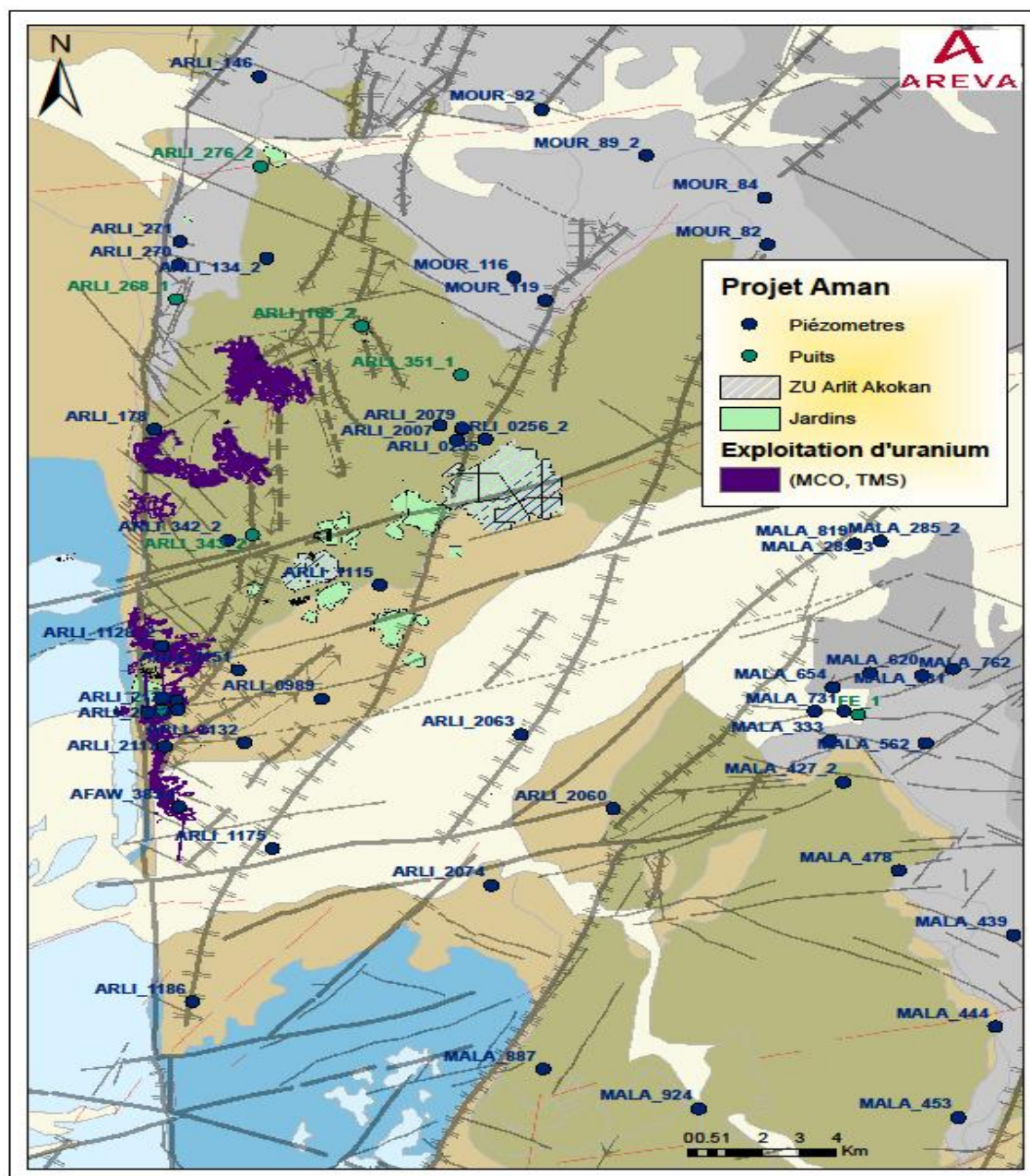


Figure 5 : Points échantillonnés pour la nappe du Guezouman

3.1.2. Mesures piézométriques

La synthèse des mesures piézométriques actuelles (2013) s'est basée sur des données de diverses provenances :

- Les mesures piézométriques mensuelles de l'équipe hydrogéologie de la Cominak
- Les mesures piézométriques mensuelles de l'équipe hydrogéologie de la Somaïr
- Les mesures piézométriques sur les ouvrages de suivi par Aman réalisées pendant la campagne d'arrêt de puits de Février et la tournée piézométrique de Mars 2013.

3.1.3. Analyses physico-chimiques et radiologiques

Toutes les données hydrochimiques utilisées dans le cadre de cette étude ont été extraites de la base de données BADGE et des synthèses hydrogéologiques réalisées par SCET AGRI en 1985. L'échantillonnage s'est effectué sur divers ouvrages : les forages d'exploration ou les trois ouvrages suivis actuellement (ARLI_351, ARLI_2007, MOUR_111), selon la période.

La fréquence de ces analyses n'est pas clairement définie et sont faites soit par les laboratoires des sociétés minières, soit par des laboratoires internationaux français comme SEPA, ALGADE ou SGS. Une large gamme de paramètres sont analysés :

- Paramètres mesurés in situ : pH, conductivité électrique, Température
- Les cations et anions : nitrates, sulfates, calcium, chlore, sodium, magnésium, le potassium, bicarbonates les métaux, etc.
- Les paramètres de radioactivité : uranium, vanadium, baryum, alpha et bêta totale, radium226, etc.

3.2. MATERIELS ET LOGICIELS DE TRAITEMENT DE DONNEES

3.2.1. Matériels techniques

- Le GPS GARMIN pour les repérages de certains ouvrages suspectés inexistants, abandonnés ou bouchés ;
- La sonde piézométrique manuelle pour les mesures de la profondeur d'eau lors des campagnes trimestrielles.

3.2.2. Matériels numériques

- BADGE : base de données pour l'actualisation des données d'analyse
- SERMINE : logiciel AREVA pour les extractions de coordonnées d'ouvrages au Tarat
- EXCEL : pour les analyses statistiques et l'établissement des hydrographes et graphiques d'évolution temporelle de la chimie des eaux
- SNAGIT : pour les rendus de graphes d'évolution temporelle
- DIAGRAMME : logiciel du laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon pour la détermination des faciès et pôles des eaux
- SURFER8 : pour les interpolations hydrochimiques et hydrogéologiques
- ARCGIS10 : pour la cartographie

3.3. CARTOGRAPHIE HYDROGEOLOGIQUE

3.3.1. Etablissement des cartes et hydrographes

Les hydrographes permettent d'apprécier l'évolution ponctuelle de la piézométrie et de mettre en évidence les anomalies sur les mesures effectuées. Les hydrographes établis sont soit par ouvrage soit sectoriel. L'échelle altimétrique varie selon le niveau piézométrique du secteur considéré. L'échelle temporelle est fixée à l'année 1968 qui correspond aux plus anciennes mesures.

Une droite de régression linéaire du rabattement maximal observé sur les hydrographes en fonction de la distance a été déterminée : $R = aD + b$.

Avec R : rabattement induit par la mine (en m) et D : la distance (en m),

a : la pente de la droite, et b : le rabattement maximal observé dans la mine.

Le point origine du repère est la Zone Industrielle de Cominak. La méthode statistique utilisée pour définir la droite est celle des moindres carrés.

La principale méthode d'interpolation utilisée pour le tracé des isopièzes et des courbes hydrodynamiques est celle du Kriging interpolation de Surfer8. Les courbes retenues sont au préalable comparées avec celles obtenues par la méthode de krigeage et/ou de IDW (méthode inverse de la distance) sur Arcgis10.

Les courbes piézométriques ont été établies selon les hypothèses hydrogéologiques suivantes :

- Contrairement à l'hypothèse d'imperméabilité de la faille-flexure d'Arlit émise dans les années antérieures, on supposera que la faille est semi-perméable (Projet Aman, Septembre 2012). Ceci autorise ainsi quelques échanges de part et d'autres de la faille.
- A l'état initial, les nappes sont en équilibre entre elles. Cette hypothèse permet les extrapolations des données vers le Sud à partir des courbes établies sur le secteur d'Imouraren.
- Après la mise en exploitation, l'écoulement de l'eau se fait des zones d'affleurements vers l'intérieur de la zone d'étude notamment les Zones industrielles.

3.3.2. Interprétation des cartes piézométriques et hydrographes

L'interprétation des hydrographes a consisté à ressortir les différentes phases de rabattement du niveau d'eau dans les ouvrages et de déterminer l'influence de l'exploitation (mines, AEP, AEI) sur le rabattement de la nappe.

L'étude des cartes est basée sur l'analyse morphologique de la surface piézométrique et l'étude de la structure de l'aquifère (distribution spatiale des paramètres hydrodynamiques).

Il s'agit de mettre en évidence le sens d'écoulement des eaux de leur état initial jusqu'à l'actuel, des zones sèches des aquifères, des dômes et dépressions résultant de l'exploitation et de calculer les gradients hydrauliques.

3.4. CARTOGRAPHIE HYDROCHIMIQUE

L'interprétation des analyses de l'eau se fait grâce à diverses méthodes que sont les diagrammes et les représentations d'évolution spatiotemporelles des éléments chimiques (Projet Aman, Juillet 2010).

3.4.1. Méthode de la détermination des faciès des eaux

Plusieurs types de graphiques existent pour la représentation des faciès des eaux, cependant les diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff restent de loin les plus simples et les plus utilisés (KOUASSY KALELJE, 2010), (NOFAL, 2009), (Projet Aman, 2010).

- **Le diagramme de Schoeller-Berkaloff**

Ce diagramme donne la minéralisation (l'évolution globale des éléments majeurs), en se basant sur des axes verticaux gradués selon une échelle logarithmique. 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

- **Le diagramme de Piper :**

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. Il donne une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total des ions.

3.4.2. Méthode de la représentation spatiale de la chimie

Les courbes de concentration ont été tracées par la méthode de Kriging interpolation sur Surfer8 puis réinterprétées sur Arcgis10. Il s'agit par la distribution spatiale de la chimie de déterminer les gradients de concentration des éléments et d'identifier les zones de marquage par rapport aux normes de potabilité.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. PIEZOMETRIE ET HYDRODYNAMIQUE DU GUEZOUMAN

4.1.1. Ecoulement de la nappe du Guezouman avant l'activité minière

La carte piézométrique réalisée en 1970 traduit l'écoulement initial de la nappe. Les eaux s'écoulaient régulièrement selon une direction SE-NW de l'isopièze 425 à l'isopièze 385 avec un gradient général de l'ordre de 0.1 % (figure6). L'on note un resserrement des courbes le long de la flexure faille d'Arlit qui joue un rôle d'écran semi perméable.

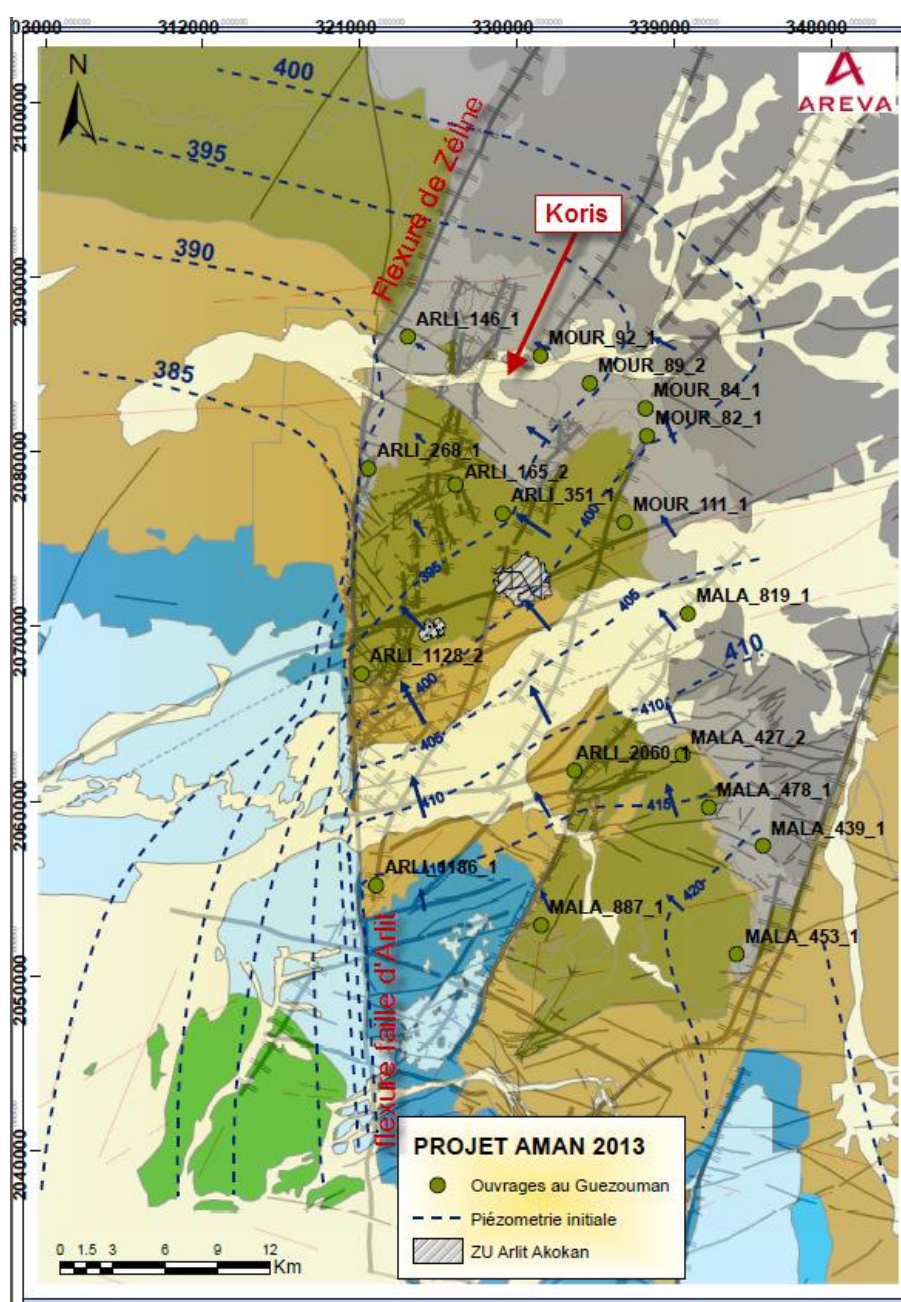


Figure 6: Niveau piézométrique initial de la nappe du Guezouman

- La zone de Koris au Nord
- le Tarat avec lequel le Guezouman pourrait être en communication dans la zone de la flexure faille d'Arlit (figure7).

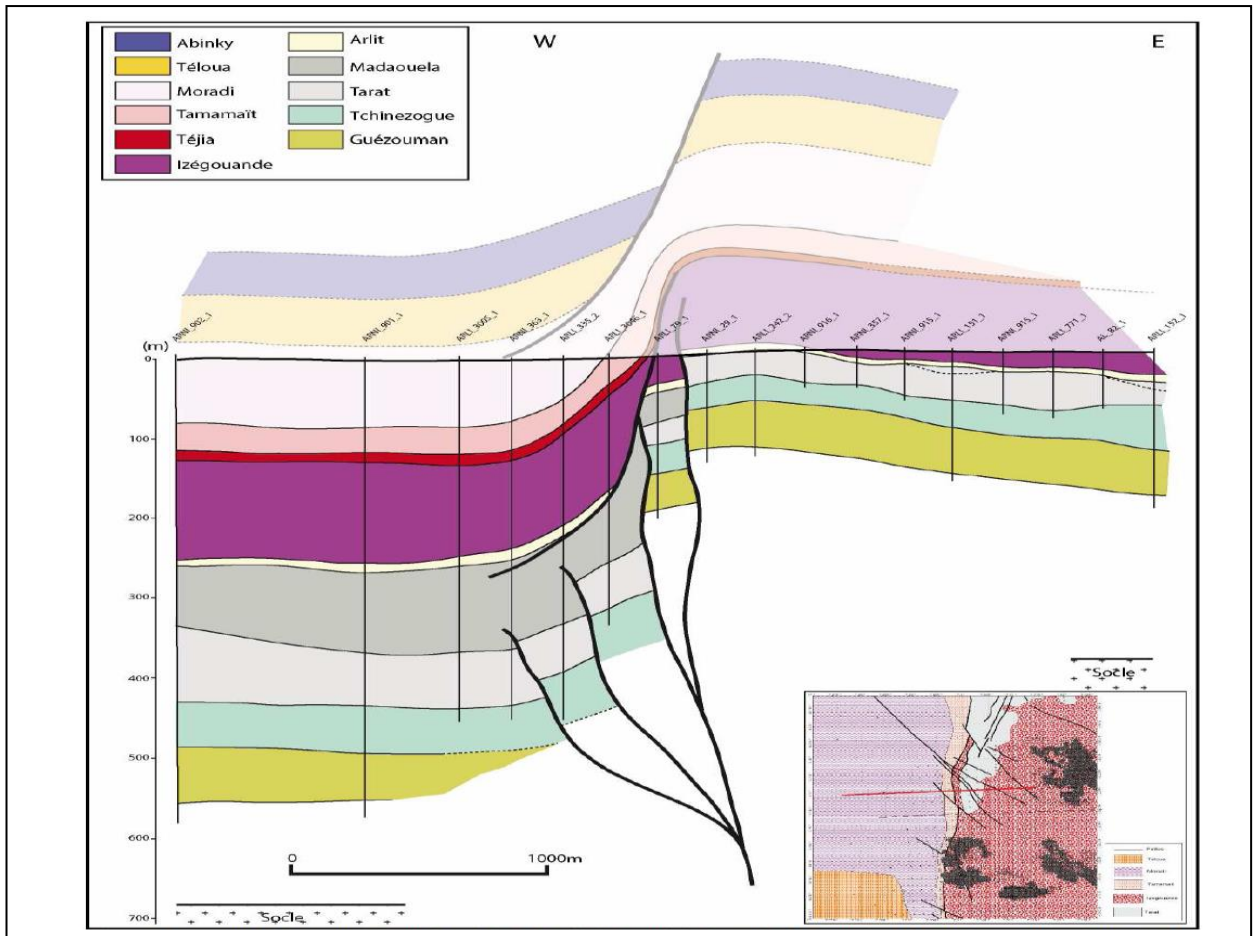


Figure 7 : Coupe W/E au travers de l'accident d'Arlit à partir de données de sondages et des données de surface. (Richard. 2005). Exagération verticale X5

L'écoulement NE-SW de l'isopièze 400 vers l'isopièze 385 sur la bordure Nord semble indiquer la présence d'une zone de recharge dans les zones d'affleurement de l'aquifère. Ce qui paraît inconséquent au vu des pluviométries extrêmement faible (49 mm par an en moyenne) de la région.

De plus, la pseudo stabilité de la nappe observée au niveau des piézomètres situés dans le secteur du Madaouela (figure8) traduit de l'équilibre du Guezouman avant l'exploitation minière.

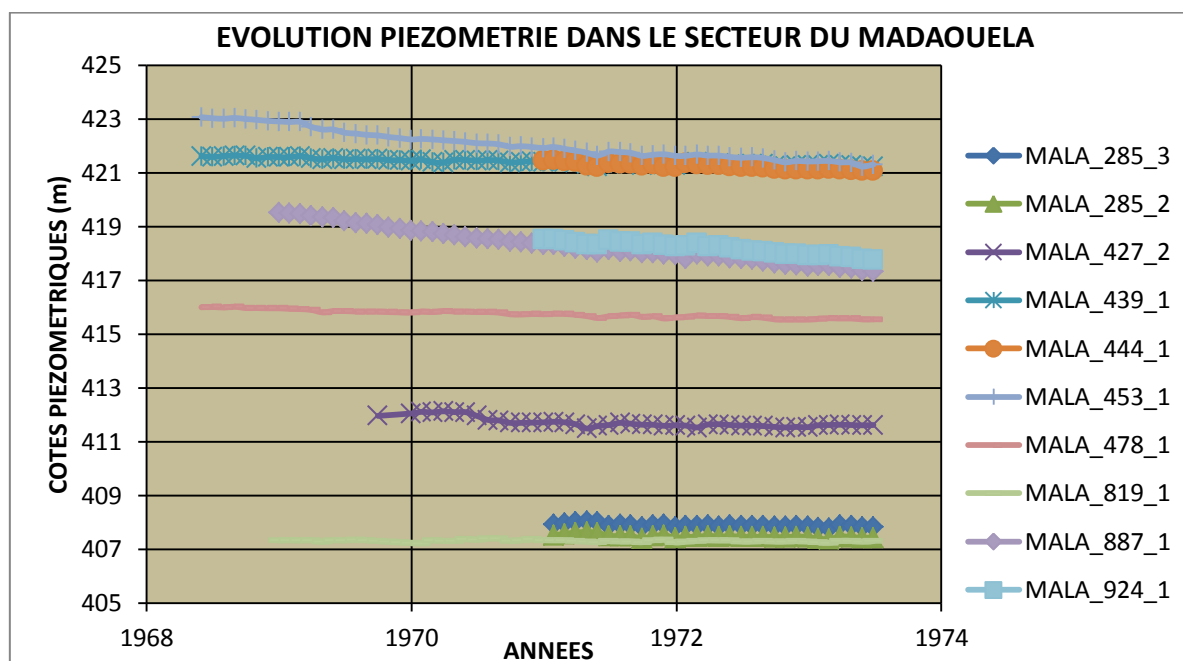


Figure 8: Évolution de la piézométrie avant exploitation minière dans le secteur Sud d'Arlit

4.1.2. Caractéristiques hydrodynamiques du Guezouman

Différents types d'essais de pompage (essais de pompage avec pompe, essais à l'air lift ...) ont été réalisés sur des ouvrages captant la nappe pour calculer la transmissivité, la perméabilité et le coefficient d'emmagasinement (Annexe2 tableau1).

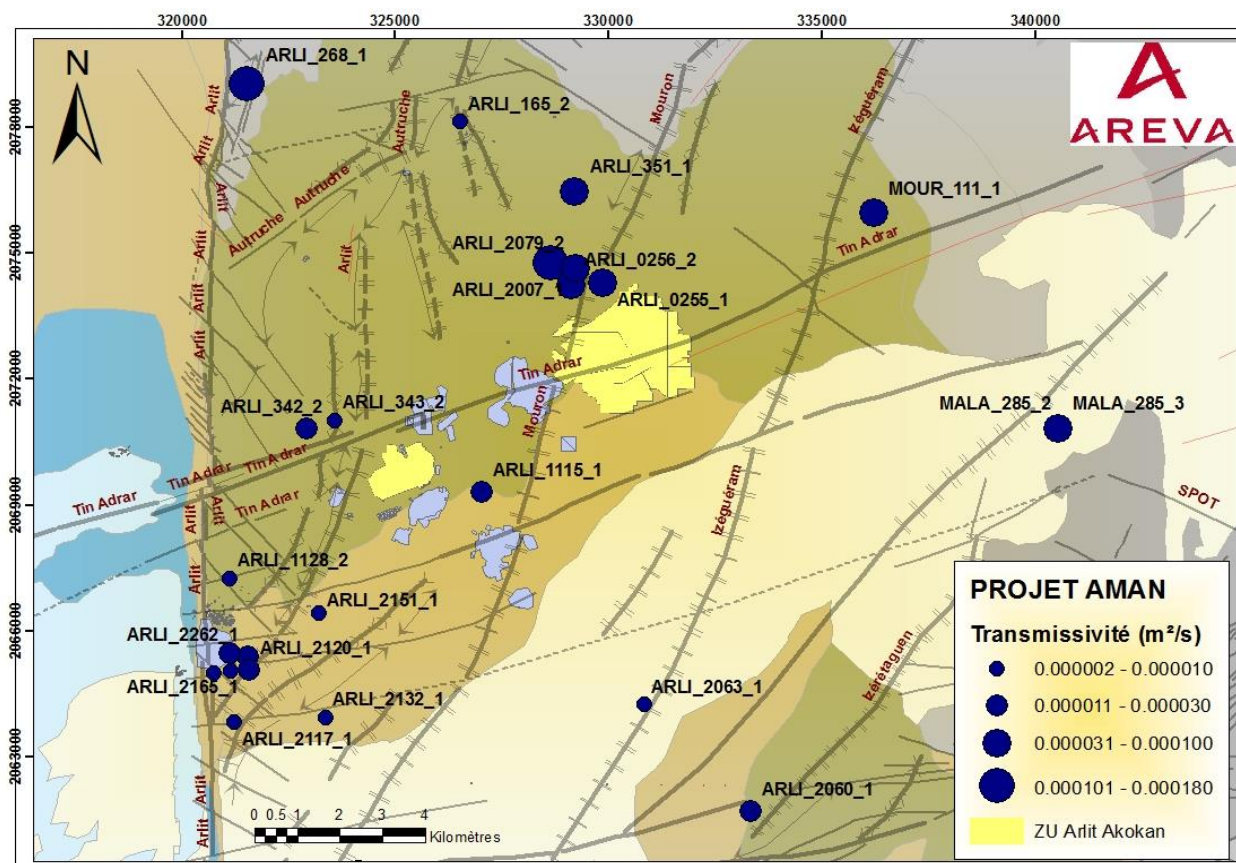


Figure 9: Carte des transmissivités du Guezouman (source des données: avant 1984)

Les transmissivités sont faibles et comprises entre $1,5 \cdot 10^{-6}$ et $1,8 \cdot 10^{-4}$ m²/s avec en moyenne $4,1 \cdot 10^{-5}$ m²/s. L'examen détaillé des transmissivités (figure9) met en évidence trois plages de valeurs analogues :

- Secteur Cominak, Akokan au sud et la zone Amidar plus au Nord (ARLI_165_2) avec des transmissivités de $1,5 \cdot 10^{-6}$ à $3 \cdot 10^{-5}$ m²/s.
- Secteur Somaïr, Mouron, et Nord Madaouela dans la partie Nord : $5,4 \cdot 10^{-5}$ à 10^{-4} m²/s
- Au Nord, à proximité de la faille d'Arlit (ARLI_268) avec une transmissivité de $1,8 \cdot 10^{-4}$ m²/s

Les meilleures transmissivités au Guezouman sont estimées dans les ouvrages situés à proximité des limites d'extensions de la formation à l'Est (Secteur de Madaouela et Mouron) et au Nord. Les plus faibles valeurs se trouve au Sud, dans la zone où l'aquifère est le plus profond. Cependant, on remarque la présence d'un chenal de transmissivité intermédiaire (Cominak-Akokan : 10^{-5} à $3 \cdot 10^{-5}$ m²/s) dans la zone de faibles valeurs. (SCET AGRI, Juillet 1985).

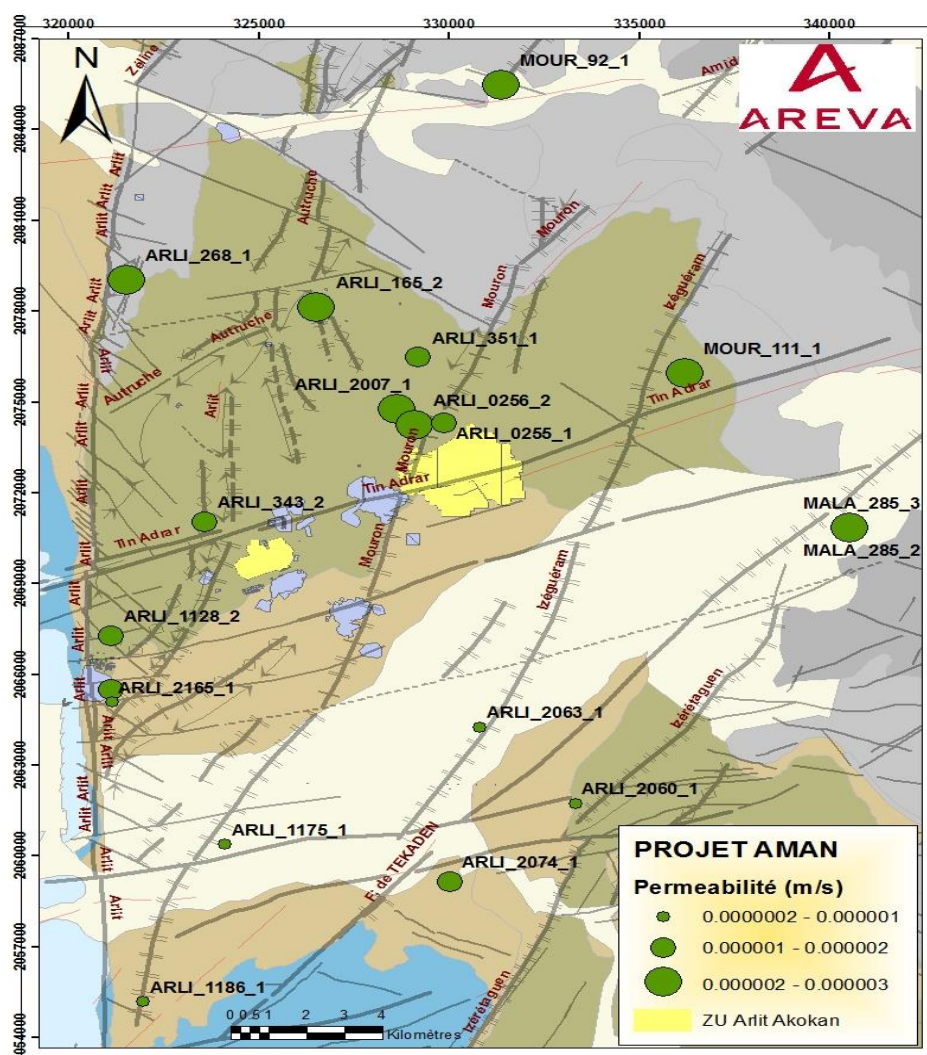


Figure 10: Carte des perméabilités au Guezouman

Les perméabilités comprises dans la plage de $1,3 \cdot 10^{-7}$ à $3,0 \cdot 10^{-6}$ m/s sont très faibles.

Les débits spécifiques sont aussi très faibles. Ils varient de $4,24 \cdot 10^{-6}$ à $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ avec une moyenne d'environ $0,12 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ (figure11).

La répartition spatiale de la perméabilité ainsi que des débits spécifiques est semblable à celle des transmissivités. Les valeurs les plus grandes sont localisées dans la zone Nord (Somaïr, proximité de l'accident d'Arlit) et à l'Est (Madaouela, Mouron) tandis que les plus faibles sont estimés dans le Sud (Akokan, Cominak).

Les coefficients d'emmagasinement sont des valeurs homogènes autour de $4,5 \cdot 10^{-5}$.

Ces valeurs sont assez faibles et caractérisent un aquifère aux propriétés hydrodynamiques relativement médiocres pour l'exploitation.

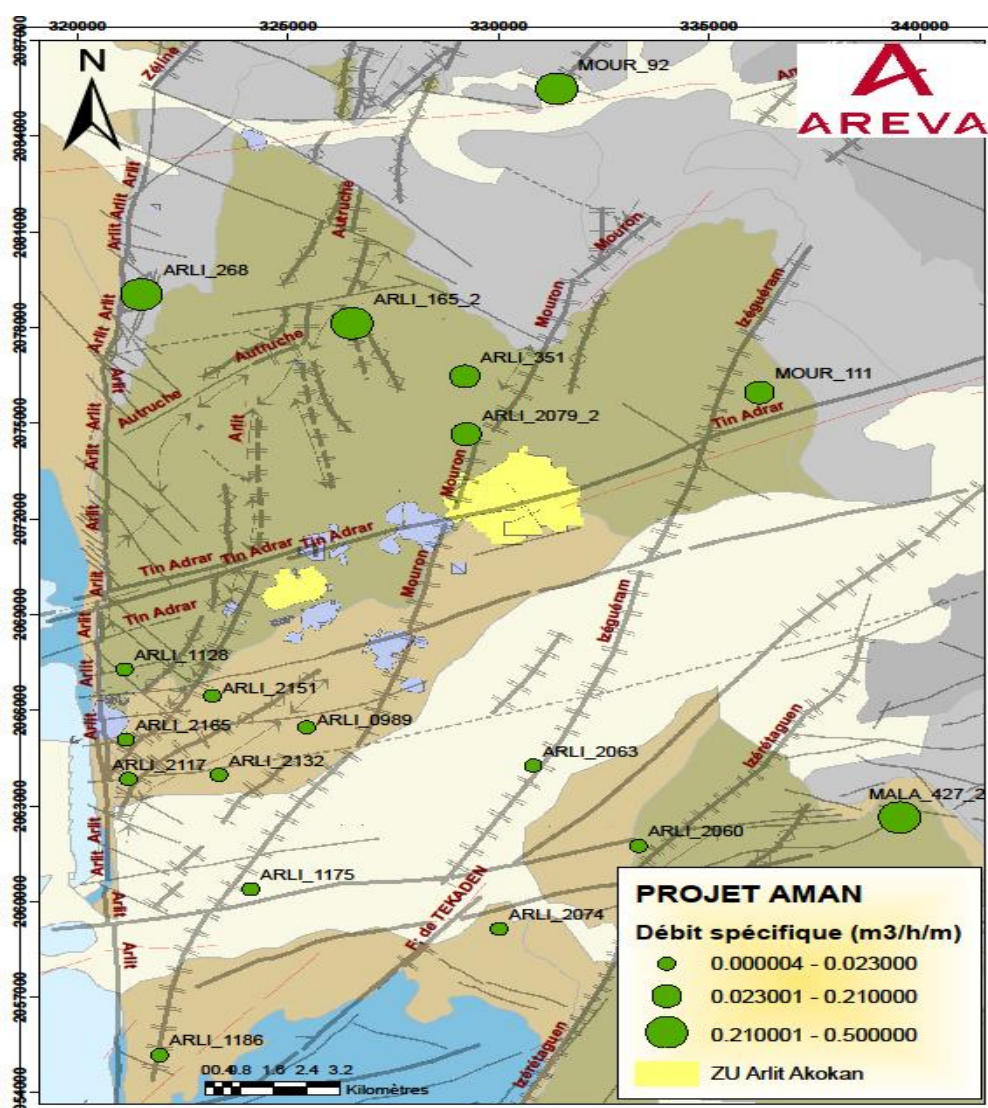


Figure 11: Carte des débits spécifiques du Guezouman

4.1.3. Evolution piézométrique de la Nappe à partir de l'exploitation minière

4.1.3.1. Ecoulements régionaux

Un an après sa mise en exploitation en 1978, le sens de l'écoulement du Guezouman a complètement été modifié et toutes les eaux convergent vers la mine (Cf. figure12). Les cartes piézométriques réalisées à partir de 1979 (Annexe1 figure 5, 6 et 7) présentent toutes un important cône de dépression méridional centré sur la mine souterraine de Cominak et limité à l'ouest par la faille flexure d'Arlit. Il est provoqué par l'exhaure effectué dans la mine. Le débit exhauré provenant de la nappe du Guezouman est inconnu, mais l'on peut l'estimer à environ 10% du débit total qui comprend l'eau des autres aquifères que sont l'Izégouande et le Tarat. Ce qui correspond à un débit moyen d'environ 25m³/h depuis le début des dénoyages.

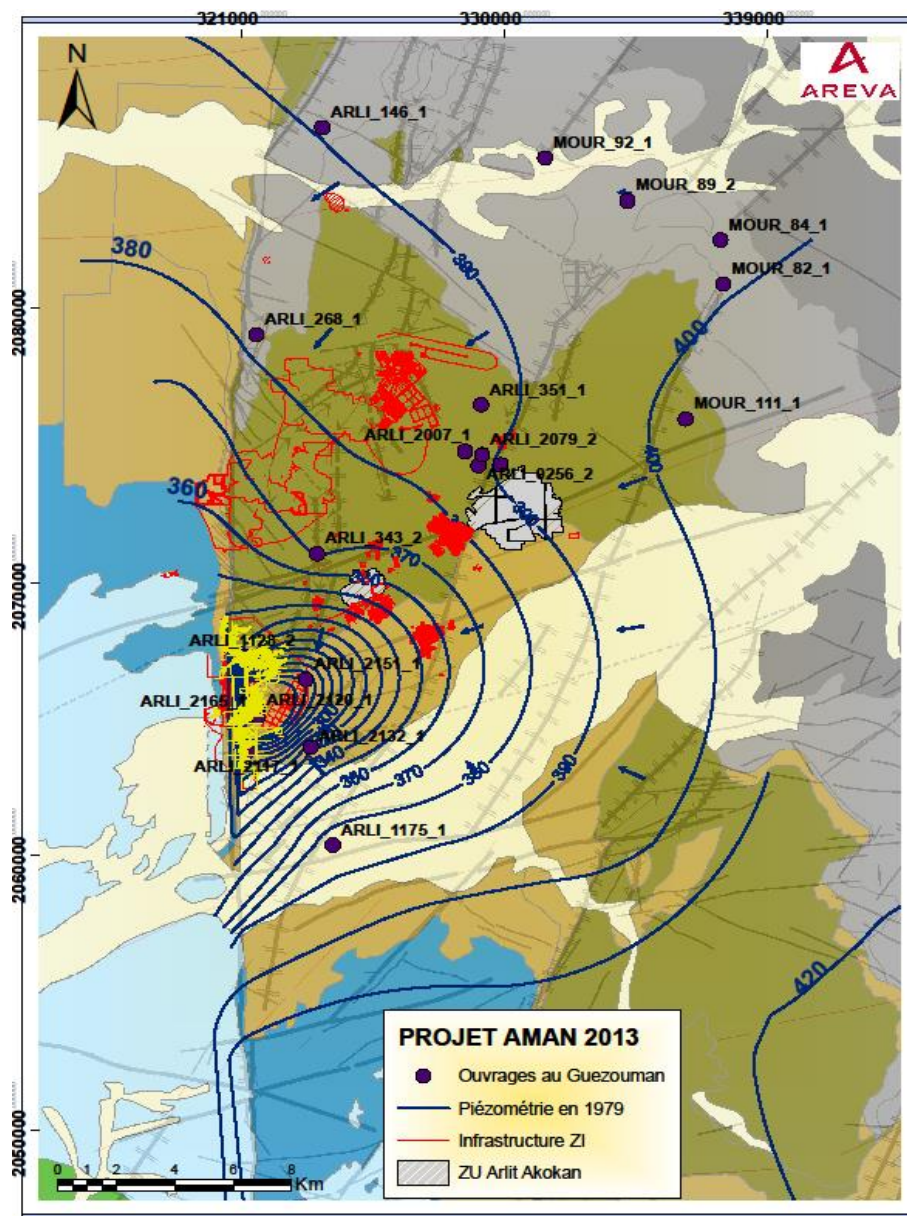


Figure 12: Cartographie de la piézométrie du Guezouman (Décembre 1979)

Le cône de dépression est orienté SW-NE jusqu'aux années 1996. Son tracé semble conditionné par la flexure de Mouron qui constituerait une frontière semi imperméable et par le chenal de transmissivités Cominak-Akokan.

Bien que le cône de dépression soit fortement marqué en 1979 et 1984, il se relâche à partir de 1996. Le gradient hydraulique général estimé à 1% varie très peu, de la mise en exploitation des galeries minières jusqu'à maintenant. Cela pourrait s'expliquer par les qualités physiques médiocres de l'aquifère.

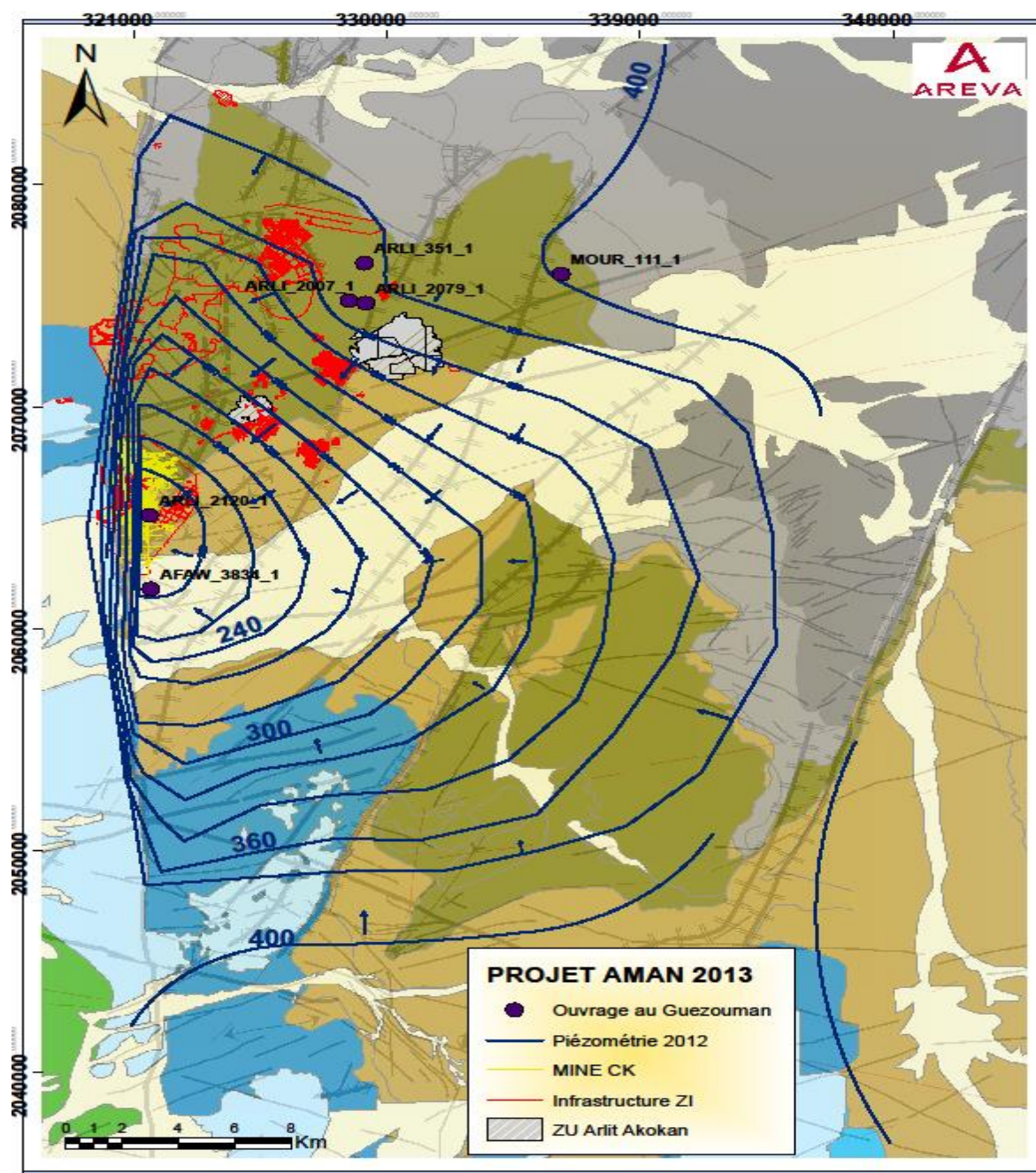


Figure 13: Cartographie de la piézométrie actuelle du Guezouman (Juillet- Septembre 2012)

Cependant il est à souligner la précision très variable des cartes, selon les zones. Elle dépend de la densité des piézomètres d'observation qui est plus grande dans les zones initialement exploitées (Cominak, Amidar, Madaouela). De plus, avec le temps, la plupart des piézomètres ont été soit bouchés et/ou abandonnés, soit complètement détruits. Les piézomètres actifs et viables répertoriés au cours de la campagne de Mars 2013 sont le MOUR_111, l'ARLI_351 et l'ARLI_2079.

De ce fait la carte établie pour observer la piézométrie actuelle du Guezouman a été réalisée à partir des données de la campagne 2012 (cf. figure13). Les niveaux de la nappe ont largement été rabattus avec un écoulement convergent vers la mine de l'isopièze 420 vers l'isopièze 200. Le gradient hydraulique général est de 1%. La nappe est complètement asséchée sur le secteur de la mine de Cominak.

4.1.3.2. Ecoulements dans le secteur de Cominak

Le secteur de la zone industrielle dispose de la majorité des piézomètres présents dans la nappe du Guezouman. Cependant seuls quelques-uns sont actuellement viables et dont le suivi est effectué trimestriellement. Ce sont notamment les piézomètres AFAW_3834 et ARLI_2121 qui sont quasiment asséchés. (figure14).

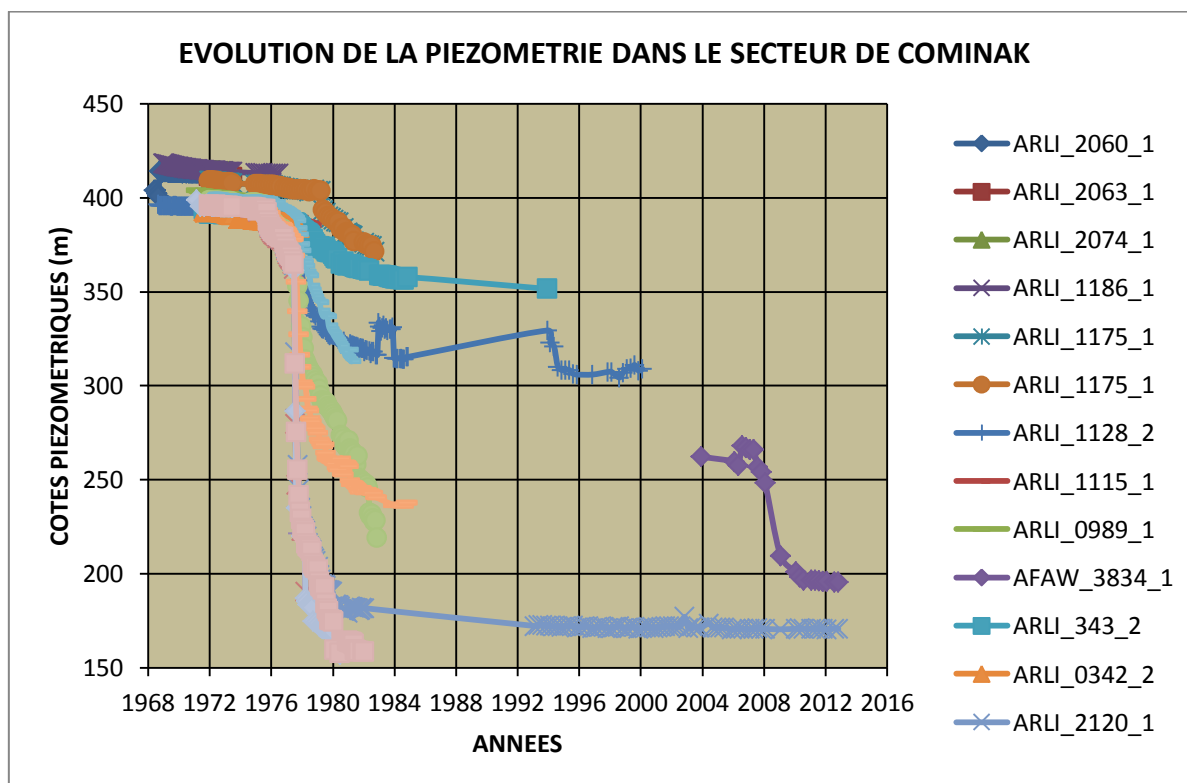


Figure 14: Chronique piézométrique du Guezouman Secteur Cominak

Ce secteur est sous l'influence directe des pompages d'exhaure de la mine. Les hydrographes ont tous des allures similaires avec trois niveaux d'évolution :

- Le premier de 1968 à 1976, avec une pente douce, ce qui correspondrait à la mise en chantier de la mine (SCET AGRI, Juillet 1985).
- Le deuxième de 1976 à 1981, avec une pente subverticale du fait de la baisse importante du niveau d'eau (de 50 à 200 mètres environ).
- Le troisième, à partir de 1981 ; avec une pente quasiment horizontale qui traduit l'assèchement de la nappe au niveau de la mine.

L'influence de ces exhaures s'étend beaucoup plus loin, étant donné que les ouvrages très éloignés, dans le secteur de la Somaïr présentent le même type d'hydrographes.

L'étude de cette influence sur le rabattement de la nappe montre que le cône de dépression créé au niveau de la mine évolue selon la droite d'équation $R = -0,0084D + 151,61$ avec un coefficient de corrélation $r = 0,77$. Le rayon d'influence de l'exhaure de la mine de Cominak s'étend donc jusqu'à 18 Km environ, dans le secteur du Sud Mouron (cf.figure15).

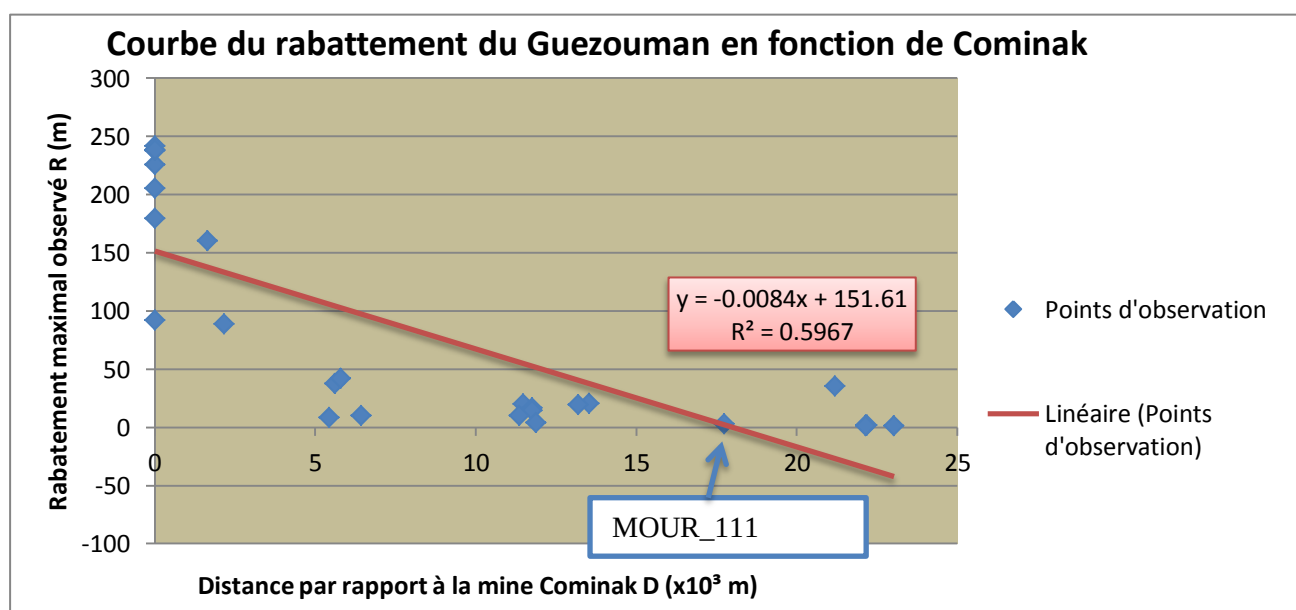


Figure 15: Droite du rabattement de la nappe du Guezouman en fonction de la mine de Cominak

4.1.3.3. Ecoulements dans le secteur de Somaïr et Amidar

Quatre ouvrages ont régulièrement été suivis sur le secteur Somaïr – ZU Arlit : ARLI_268, ARLI_351, ARLI_2007, ARLI_2079. Le rabattement observé est d'environ 15 à 20 mètres. Toutes les courbes présentent la même allure et sont subdivisables en 03 grandes parties (figure 16) :

- **De 1968 à 1984** : Les hydrographes décrivent des variations diverses dont la tendance générale est une baisse de 15 mètres du niveau piézométrique.
 - De 1968 à 1972 : pseudo stabilité
 - De 1972 à 1974 : baisse rapide de la charge piézométrique
 - De 1974 à 1978 : baisse lente de la piézométrie
 - De 1978 à 1984 : baisse moyenne de la piézométrie

Ces différentes variations peuvent s'expliquer par l'influence des zones exploitées que sont la ferme d'Amidar et la mise en chantier puis en exploitation de la mine de Cominak.

- **De 1984 à 1996** : Aucune mesure n'est relevée dans cette période. Cependant on observe une phase de pseudo stabilité sur les hydrographes avec une quasi égalité entre les deux mesures de Décembre 1984 et Janvier 1996.
- **De 1996 à 2012** : On a une baisse moyenne des côtes piézométriques avec une phase de pseudo stabilité dans la période allant de l'année 2000 à 2003.

Cette baisse de la piézométrie dans la zone urbaine où la nappe n'est pas sollicitée pourrait trouver sa raison dans l'influence de l'exhaure continue dans la mine de Cominak. En effet le rayon d'influence de la mine s'étend au-delà de la zone urbaine jusqu'au Sud Mouron (cf. figure 15). Elle pourrait aussi provenir du réajustement des pressions d'eau entre l'aquifère du Guezouman et celui du Tarat (présence des puits AEP à la ZU) qui ne seraient alors pas indépendants. Cela est en convenance avec le rapport « Hydrogéologie » de la mission d'Agades 1972 qui suggère que le Guezouman soit localement raviné en partie par le Tarat.

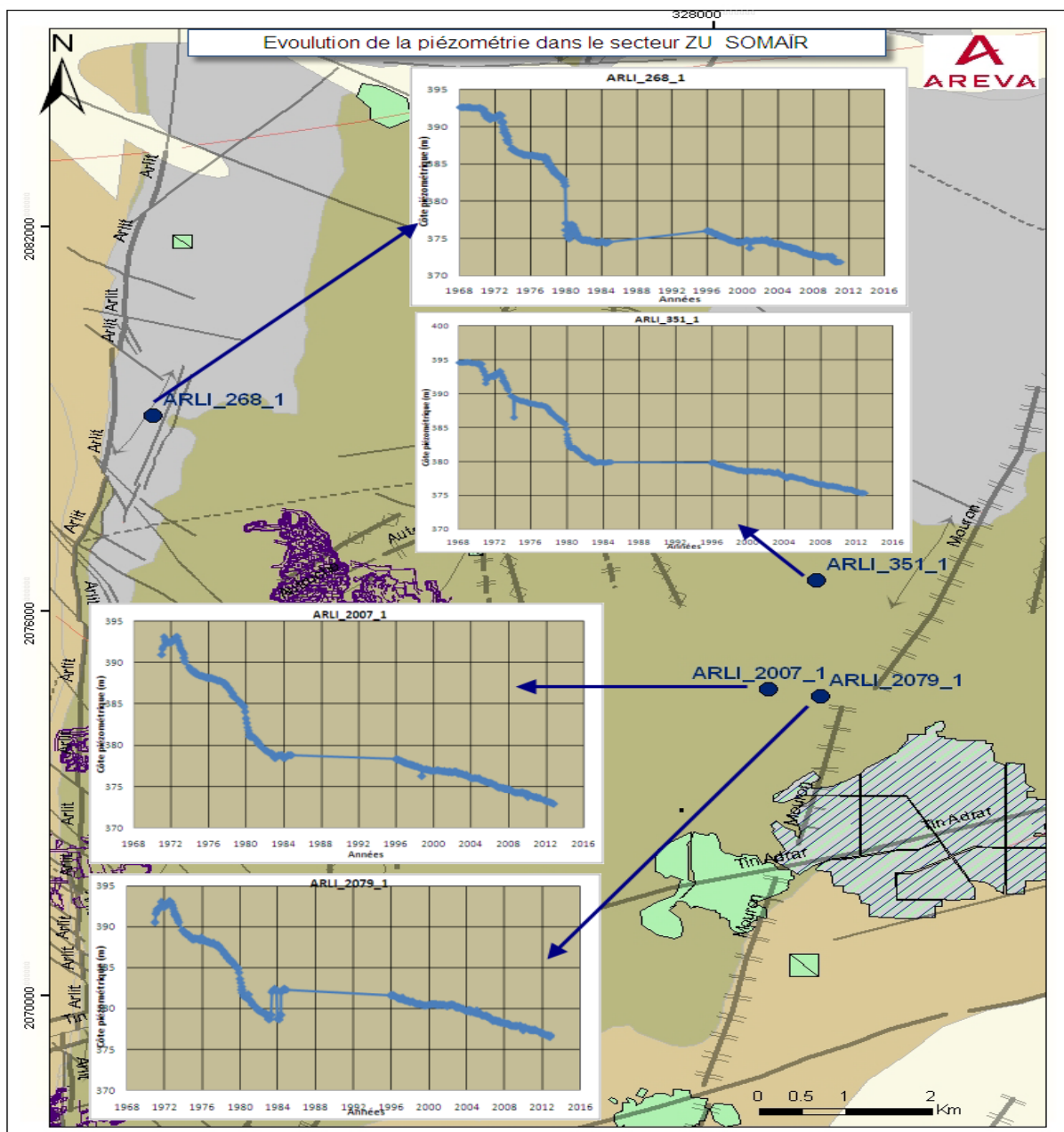


Figure 16: Hydrographes des ouvrages du secteur Somaïr - ZU Arlit

Deux forages captent le Guezouman dans le secteur d'Amidar : ARLI_146 et ARLI_276_2.

- L'ouvrage ARLI_276_2, de type captage à sa mise en service en 1980 a été reconverti en piézomètre à partir de 1996. Durant cette exploitation dans le périmètre de la ferme d'Amidar, il a induit un rabattement du niveau piézométrique d'environ 40 à 50 mètres (figure17).
- Le piézomètre ARLI_146, situé au nord du périmètre agricole, stable de 1968 à 1970 a réagi ensuite aux sollicitations régionales avec une baisse lente puis à celle de la ferme avec une baisse brusque de la charge hydraulique. Cette réaction brusque de la nappe peut se justifier par les mauvaises propriétés physiques de l'aquifère dans ce secteur.

Cependant, on remarque que le niveau d'eau remonte rapidement dans le piézomètre ARLI_146 après l'arrêt d'exploitation de la ferme en 1984, ainsi que dans le nouveau piézomètre ARLI_276_2 où la remontée est moins rapide.

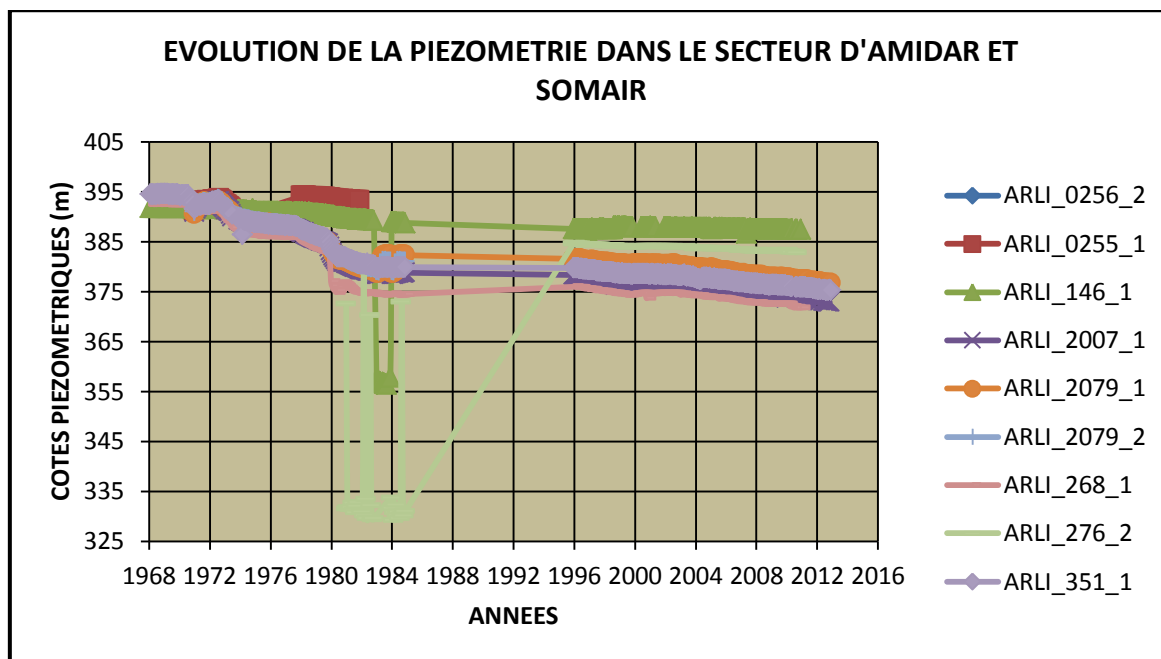


Figure 17: Evolution de la piézométrie dans le secteur de Somair – Amidar

Bien que le secteur d'Amidar se trouve dans la zone des plus faibles paramètres hydrodynamiques du Guezouman, notamment les transmissivités, la nappe retrouve un état de pseudo-équilibre après l'arrêt de l'exploitation. En effet on observe une stabilité de la piézométrie depuis 1996 avec une perte d'environ trois mètres d'eau par rapport à l'état initial ; le secteur d'Amidar n'étant pas atteint par le rayon d'influence de la mine.

4.1.3.4. Ecoulements dans le secteur du Mouron

Cinq ouvrages sont régulièrement suivis dans cette zone. Ils sont situés sur la bordure Nord-est de l'aquifère du Guezouman et représentent la limite d'extension du rayon d'influence de la mine de Cominak notamment l'ouvrage MOUR_111.

Les baisses du niveau piézométrique enregistrées sont de l'ordre de 1,5 à 03 mètres. Les résultats des essais de pompage inventoriés avaient mis en évidence le rôle joué par la flexure de Mouron. En effet cette flexure divise le secteur en deux compartiments de perméabilité différente. A l'ouest la perméabilité est plus forte tandis qu'elle est faible à l'est, entraînant ainsi une propagation plus lente des rabattements. Ce résultat semble être confirmé par la baisse des niveaux piézométriques dans les ouvrages.

Les piézomètres MOUR_92 et MOUR_84 situés à l'ouest de la flexure du Mouron enregistrent une baisse significative seulement à partir de 1978 alors que le niveau d'eau des MOUR_111, MOUR_82, et MOUR_89_2 baisse déjà en 1974 (SCET AGRI, Juillet 1985).

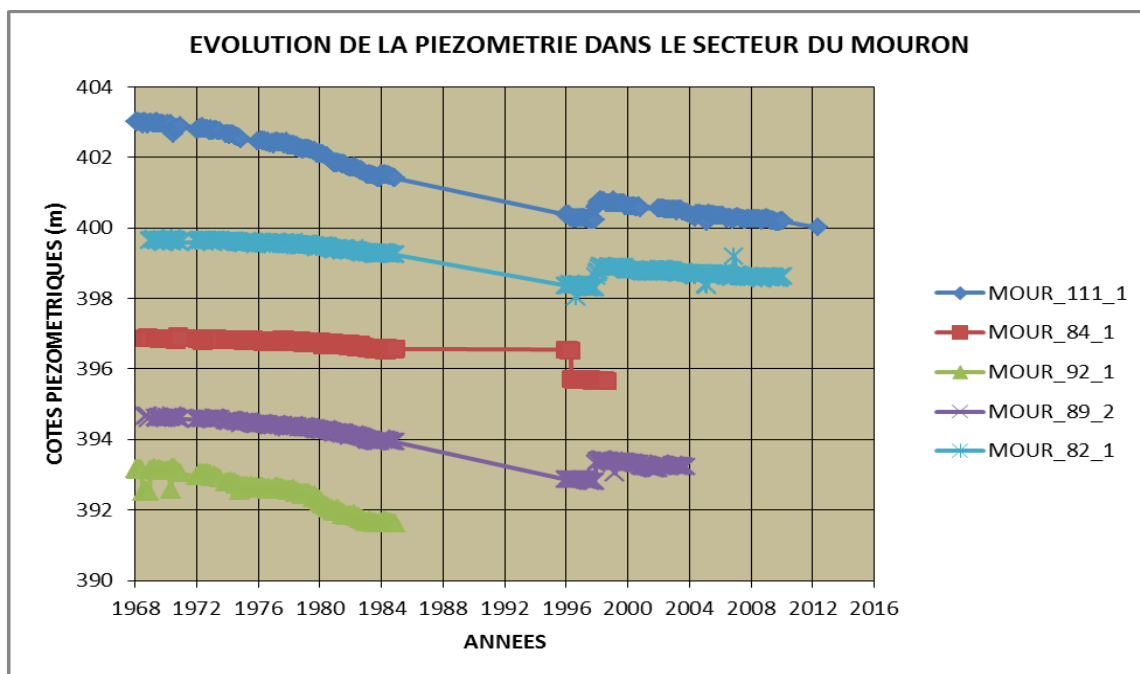


Figure 18: Hydrographes du secteur du Mouron

4.2. HYDROCHIME DU GUEZOUMAN

4.2.1. Contexte hydrochimique initial

La qualité chimique des eaux du Guezouman est surtout connue dans le secteur du Madaouela à partir des résultats d'analyses effectués dans les forages d'exploration dans les années 1965 à 1970 (cf. Annexe2 tableau4).

Tableau 1: statistiques descriptives des eaux du Guezouman

PARAMETRES	conductivité (μS/cm)	pH	CO3H (ppm)	SO4 (ppm)	Cl (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	R.S (ppm)	NO3 (ppm)	SiO2 (ppm)
MOYENNE	889.4	8.3	334.6	233.1	31.0	16.9	9.4	207.7	7.4	832.8	8.9	10.0
ECART TYPE	133.6	0.3	61.5	151.2	7.7	9.8	17.2	37.5	4.2	211.4	15.8	6.4
MEDIANE	925.9	8.3	335.4	226.0	28.8	13.0	5.0	204.0	6.0	825.0	1.6	10.9
MAXIMUM	1123.6	8.8	614.0	1075	57.0	50.6	103.1	330.0	21.0	1880.0	32.5	16.0
MINIMUM	632.9	7.6	197.6	87.0	18.1	7.0	0.9	135.0	2.0	494.0	0.1	2.2

4.2.1.1. Hydrofaciès du Guezouman

La représentation des éléments chimiques sur le diagramme de Piper (figure19) montre que les eaux du Guezouman sont de type sodique et peuvent se subdiviser en deux pôles conformément aux études de (SCET AGRI, Juillet 1985).

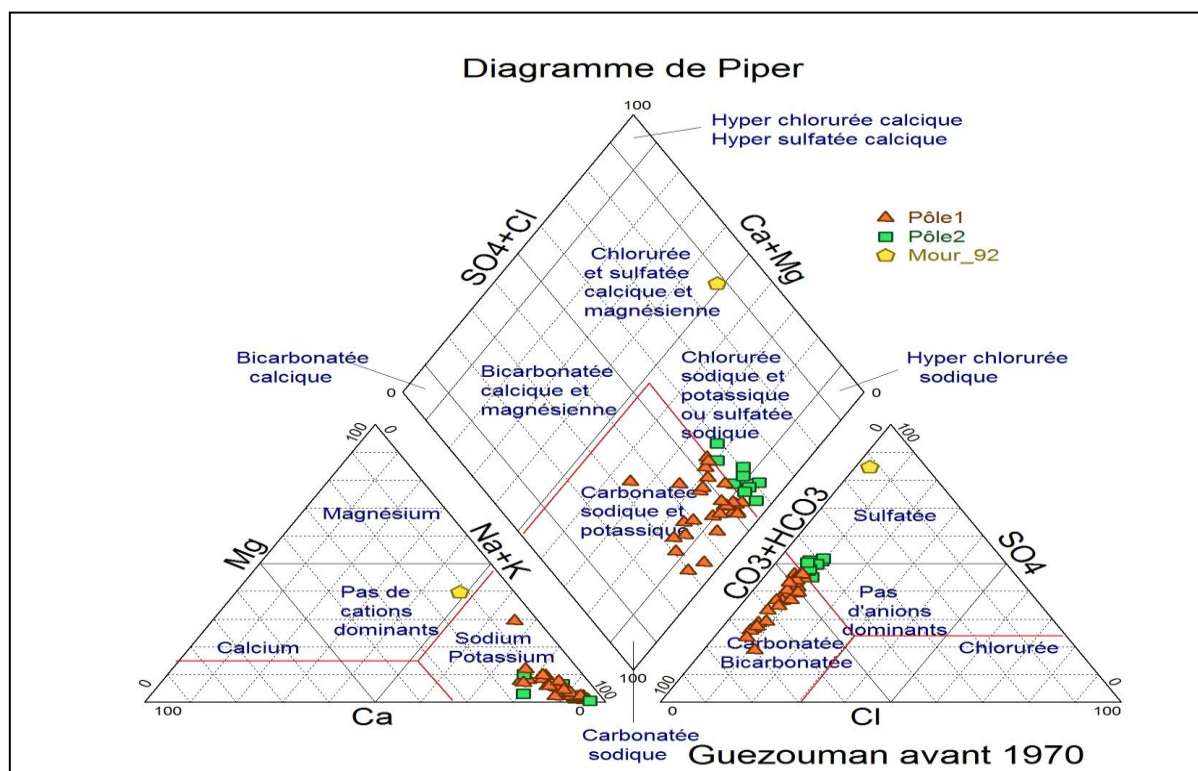


Figure 19: Diagramme de Piper des eaux du Guezouman

- Le pôle1 caractérisant le faciès bicarbonaté sodique et potassique. Ce pôle regroupe environ 75% des échantillons correspondant aux ouvrages situés dans la zone urbaine et à Est Madaouela. Ce sont les ouvrages les plus éloignés des zones d'affleurement.
- Le pôle2 à faciès sulfaté sodique. Il regroupe des ouvrages qui sont proches de la faille de Madaouela et l'ouvrage MOUR_111 à l'ouest de la flexure faille du Mouron.

Ces faciès pourraient s'expliquer par la nature des roches du Guezouman qui sont des grès feldspathiques à ciment siliceux. En effet ces différents pôles montrent que les grès quartzitiques du Guezouman sont constitués d'un mélange de feldspaths sodi-potassiques et de feldspaths sodi-calciques.

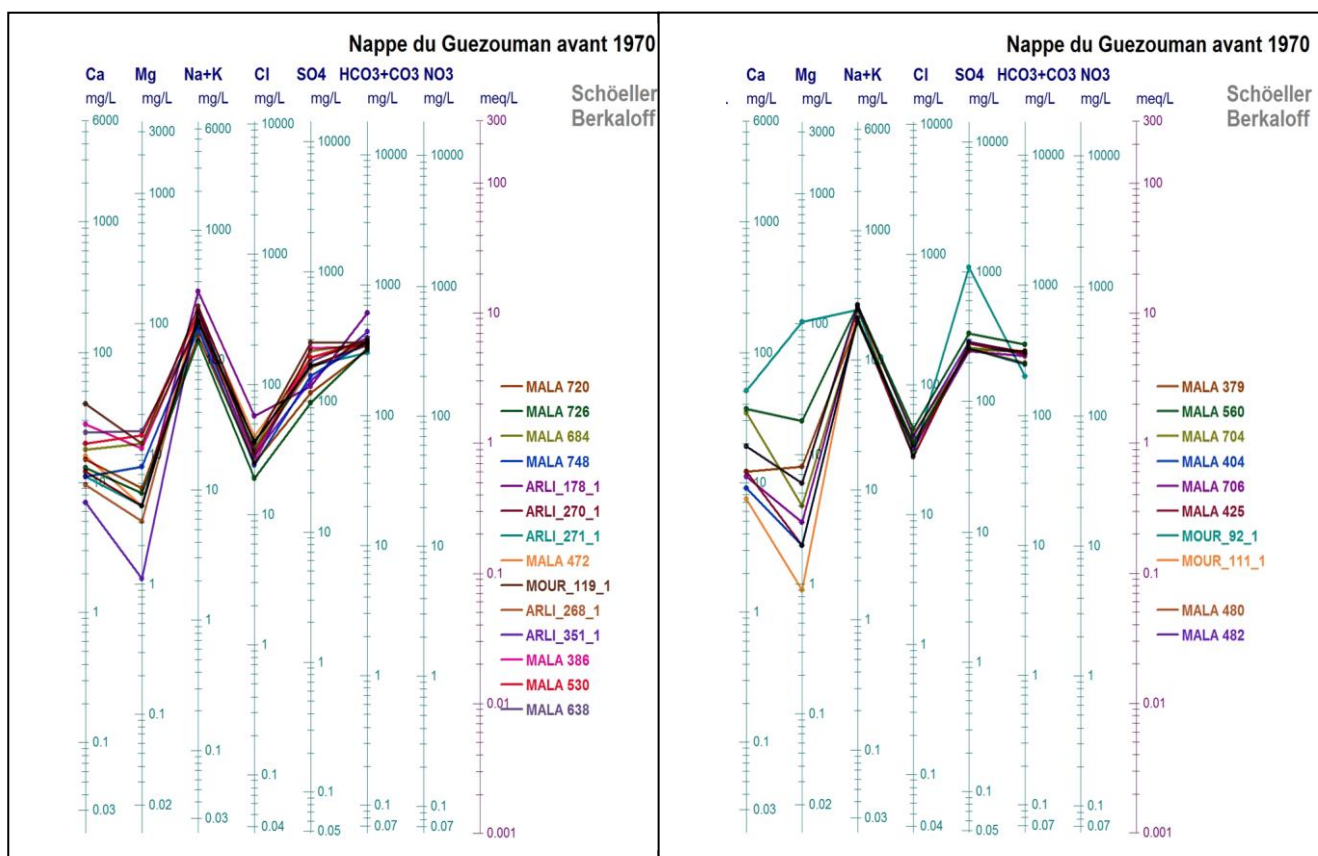


Figure 20: Diagrammes de Schoeller-Berkaloff montrant les deux pôles d'eau dans la nappe du Guezouman. Pôle1 à gauche. Pôle2 à droite

L'échantillon de l'ouvrage MOUR_92, situé à l'intersection du Koris au Nord de la zone d'étude et de la faille d'Autriche montre un signal différent. Il met en évidence un caractère magnésique sulfaté très marqué pouvant provenir du fait que la nappe est à surface libre dans ce secteur. Elle serait donc dans ce secteur vulnérable aux facteurs naturels et anthropiques.

4.2.1.2. Caractéristiques physiques des eaux du Guezouman

Le pH des eaux du Guezouman est compris entre 7,6 et 8,8, caractérisant ainsi des eaux basiques qui s'inscrivent dans la plage tolérable de la norme nigérienne (Annexe3). Cela pourrait s'expliquer par l'hydrolyse des silicates qui consomme l'acidité et fait ainsi augmenté le pH pour les milieux comme les aquifères très profonds (*Bourrié, 1976*). L'écart type du pH qui est de 0,3 entre les différentes analyses montre qu'il n'y a pas de grande variation au niveau régional (voir la distribution spatiale du pH à l'Annexe1 figure8).

La conductivité qui varie de 633 à 1124 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ dénote d'une eau de haute salinité selon la classification proposée par les United States Department of Agriculture (USDA), (Cf. Annexe3). De plus, la salinité globale traduite par les résidus secs (RS) oscille de 494 à 1880 mg.L^{-1} autour d'une moyenne de 833 mg.L^{-1} (la valeur maximale admissible des résidus secs dans une eau étant de 1500 mg.L^{-1}).

Il ressort de ces valeurs que les eaux du Guezouman sont des eaux très minéralisées. Ce qui pourrait s'expliquer par la présence des niveaux argileux de l'aquifère.

4.2.1.3. Distribution spatiale des éléments chimiques

Le fond géochimique en sodium de l'aquifère du Guezouman est très marqué avec des concentrations en majorité supérieur à la directive de l'OMS (200 mg.L^{-1}). Les plus grandes concentrations (supérieures à 207 mg.L^{-1}) se retrouvent dans les zones où l'aquifère est le plus profond. Exception faite des eaux particulières du piézomètre Mour_92, la teneur en sulfate quant à elle varie peu et est inférieure à la limite tolérable recommandée par la norme de potabilité nigérienne qui est de 400 mg.L^{-1} .

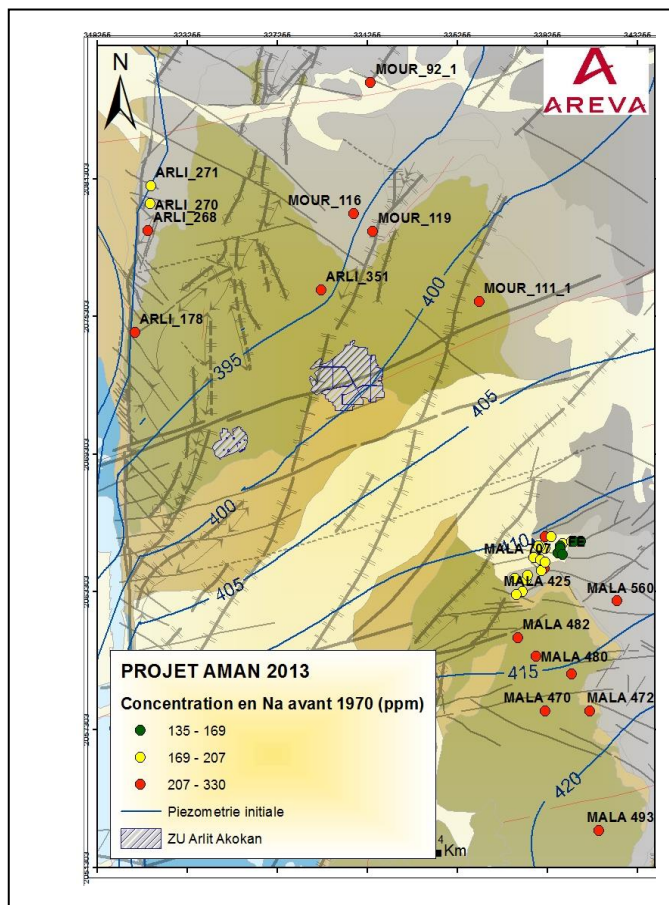


Figure 21: Teneur en sodium dans la nappe du Guezouman

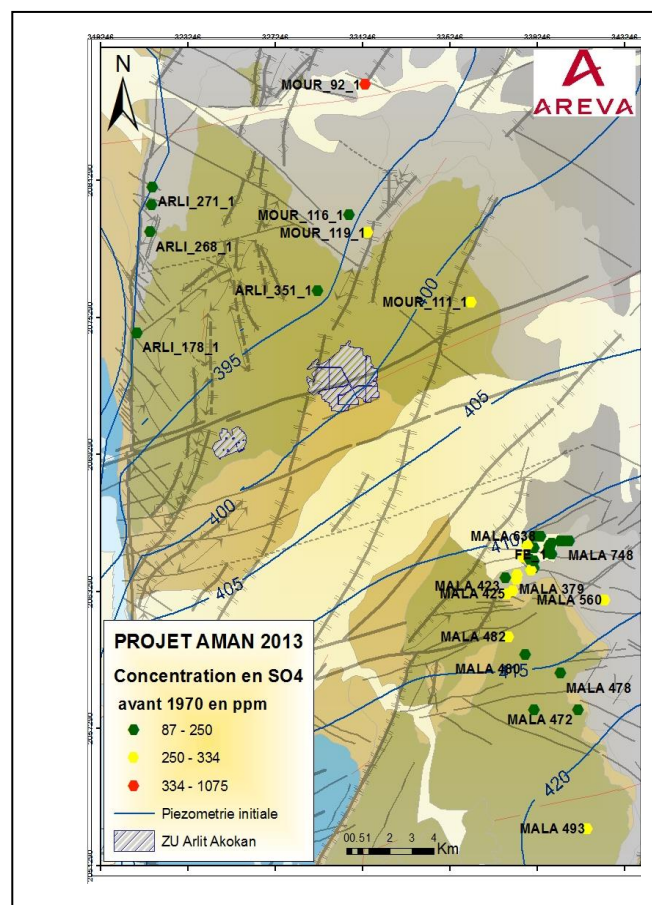


Figure 22: Teneur en sulfate dans la nappe du Guezouman

4.2.2. Qualité hydrochimique actuelle de la nappe

L'analyse du tableau2 ci-dessous montre que les eaux du Guezouman respectent les normes de potabilité dans le secteur Nord de la zone d'étude (zone urbaine, Mouron), tant sur le plan radiologique que chimique.

Par comparaison avec le fond géochimique établi avec les analyses d'avant 1970, on déduit que l'exploitation de la mine n'a pas eu d'influence sur la qualité de l'eau. Cependant, cette conclusion est limitée, étant donné que le secteur de Cominak qui est directement influencé par la mine n'est pas suivi.

Tableau 2: Synthèse des analyses des eaux du Guezouman, Secteur ZU Arlit – Mouron, 2011

PARAMETRES MESURES		ARLI_2007	ARLI_351	MOUR_111	MOYENNE	Normes
<i>cordonnées de l'ouvrage</i>						Nigériennes ou OMS
<i>cations majeurs</i>	X_WGS84	328645.000	329205.000	336202.890		
	Y_WGS84	2074769.000	2076469.000	2075958.990		
	Ca (ppm)	4.070	5.000	-	4.535	200.000
	Mg (ppm)	0.850	1.000	-	0.925	50- 150
<i>anions majeurs</i>	Na (ppm)	234.000	253.000	-	243.500	200.000
	K (ppm)	4.370	3.700	-	4.035	-
<i>substances indésirables</i>	Cl (ppm)	48.000	31.367	-	39.683	250 - 600
	CO3 (ppm)	217.000	0.000	-	108.500	-
<i>substances toxiques (métaux lourds)</i>	NO3 (ppm)	0.100	0.197	-	0.148	50.000
	SiO2 (ppm)	13.300	9.885	-	11.593	-
	NO2 (ppm)	0.050	0.075	-	0.063	0.2 - 3
	NH4 (ppm)	-	1.008	-	1.008	1.5 - 35
	F (ppm)	1.800	1.310	-	1.555	1.500
	Mn (ppm)	0.024	0.009	0.014	0.016	0.1 - 0.5
<i>substances toxiques (métaux lourds)</i>	Al (ppm)	0.029	0.013	0.024	0.022	0.1 - 0.9
	Cb (ppm)	0.001	0.001	0.001	0.001	-
	Cu (ppm)	0.005	0.005	0.005	0.005	2.000
	Pb (ppm)	0.005	0.005	0.005	0.005	0.050
	Zn ppm)	0.010	0.010	0.010	0.010	5 - 15
	Fe (ppm)	0.050	0.050	-	0.050	0.3 - 1
	Hg (ppm)	0.001	0.001	-	0.001	0.006
	Ni (ppm)	0.005	0.005	0.005	0.005	0.070
	Mo (ppm)	0.180	0.560	-	0.370	0.070
	As (ppm)	0.016	0.005	0.005	0.009	0.010
	Se (ppm)	0.005	0.005	0.005	0.005	0.040
	Ba (ppm)	0.089	0.048	0.048	0.062	0.700
	Cd (ppm)	0.001	0.001	-	0.001	0.005
	V ppm)	0.005	0.005	0.005	0.005	-
	U (ppm)	0.004	0.005	0.001	0.003	0.030
<i>radiologie</i>	Cn (ppm)	0.010	0.010	-	0.010	0.050
	Beta total (Bq/l)	0.270	0.550	0.190	0.337	1.000
	Alpha total (Bq/l)	0.440	0.675	0.240	0.452	0.500
	Ra (Bq/l)	0.095	0.500	0.200	0.265	-

4.3. CONCLUSION PARTIELLE POUR L'AQUIFERE DU GUEZOUUMAN

- Les propriétés hydrodynamiques médiocres (transmissivités de l'ordre de 10^{-6} et 10^{-4} m²/s) et la profondeur (250 m) font du Guezouman un aquifère aux possibilités d'exploitation limitées.
- La nappe s'écoulait initialement du Sud-est vers le Nord-ouest de l'isopièze 425 à 385 avec un gradient hydraulique général de 0,1%.
- Depuis la mise en exploitation de la mine Cominak, le niveau de la nappe s'est rabattu d'environ 200 mètres avec une convergence de l'écoulement vers la mine.
- Les baisses de la cote piézométrique observées sur les hydrographes du secteur de la zone urbaine Somaïr suggèrent une drainance de la nappe par celle du Tarat. Par ailleurs, le rayon d'influence maximale de l'exhaure effectué dans la mine s'estime à près de 18 km (le secteur du Mouron).
- De façon locale, sur le secteur Amidar, l'analyse de la chronique piézométrique a révélé un temps de réaction rapide de l'aquifère : tant pour le rabattement que la remontée. En dépit des très mauvaises propriétés hydrodynamiques enregistrées sur ce secteur, la nappe a repris un pseudo-équilibre rapidement après l'abandon de la ferme.
- Cependant, l'éloignement de la zone par rapport à la mine et le rabattement observé relativement faible par rapport à celui induit par la mine ne permet pas de conclure sur l'équilibre régional après mine.
- En outre le gradient hydraulique, après la mise en exploitation de la mine tourne autour de la valeur homogène de 1% et ne varie pas de 1979 à aujourd'hui.
- Au plan hydrochimique, la qualité des eaux de Guezouman n'a pas subi de variation sur le secteur de la zone urbaine. Ce sont des eaux basiques de type sodique avec comme sels dominants le sulfate de sodium et l'hydrogénocarbonate de sodium. Elles ne présentent pas de teneur anormale en substances indésirables, toxiques ou radiologiques.
- Les ouvrages de surveillance régionale de la nappe sont aujourd'hui presque tous bouchés ou détruits. Les piézomètres viables sont localisés dans la zone urbaine (03) et le mouron (01).

4.4. PIEZOMETRIE ET HYDRODYNAMIQUE DE LA NAPPE DU TARAT

4.4.1. Ecoulement de la nappe du Tarat avant l'activité minière

Depuis 1972 jusqu'en 2012, plusieurs interprétations de la piézométrie initiale de la nappe du Tarat ont respectivement été proposés par la Mission d'Agadez, Scet Agri 1985, Aman 2004 et Aman 2012. En dépit des différentes hypothèses émises pour établir ces interprétations, elles conduisent à la conclusion d'un écoulement général de direction SE-NW (figure23).

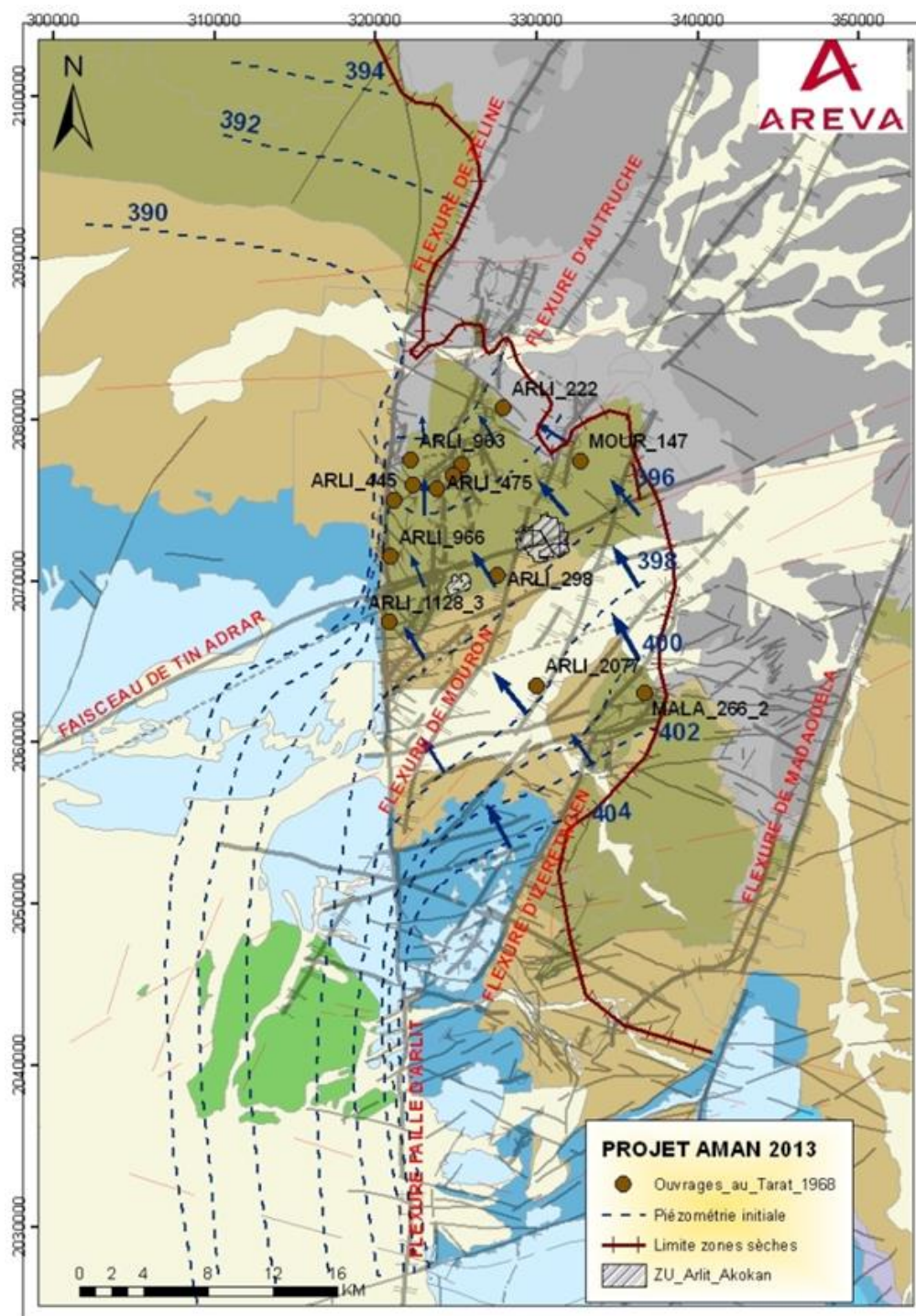


Figure 23: Piézométrie initiale de la nappe du Tarat

La carte piézométrique réalisée à partir des mesures de l'année 1968 montre que les eaux s'écoulaient régulièrement selon un gradient général de l'ordre de 6‰.

Les courbes sont plus resserrées au Sud qu'au Nord où la flexure d'Izérétagen semble diriger l'écoulement.

La nappe du Tarat comme celle du Guezouman pourrait être considérée comme une nappe fossile dont les eaux convergeaient et débordaient vers une zone d'évaporation au Nord de la zone d'étude, dans les Koris (SCET AGRI, 1985). Cependant, sur la bordure Nord de la zone d'étude, dans les zones d'affleurement de l'aquifère, on note un écoulement NE-SW de l'isopièze 394 à 390 qui semble indiquer une zone de recharge de la nappe. Selon Aman 2012, il est probable qu'au Nord, le kori soit une zone d'alimentation préférentielle de la nappe en période de pluie.

4.4.2. Caractéristiques hydrodynamiques du Tarat

De nombreux essais de différents types (pompage, air lift, choc hydraulique) ont été réalisés sur les ouvrages captant le Tarat depuis la mise en place des sociétés minières. Les statistiques du tableau 3 sont calculées à partir des résultats des essais consignés dans l'Annexe 2 tableau 5.

Tableau 3: Statistiques descriptives des caractéristiques hydrodynamiques au Tarat

NOM_OUVRAGE	Débit spécifique Qs (m³/h/m)	Transmissivité T (m²/s)	Perméabilité P (m/s)	Emmagasinement S
MOYENNE	2.79	1.07E-03	2.77E-05	2.74E-03
ECART TYPE	4.23	1.85E-03	5.61E-05	1.45E-02
MEDIANE	1.64	4.31E-04	1.55E-05	7.00E-05
MINIMUM	4.16E-04	4.30E-06	1.95E-07	1.00E-05
MAXIMUM	26.6	1.08E-02	4.50E-04	8.50E-02

Les perméabilités sont comprises entre $1,95.10^{-7}$ m/s et $4,5.10^{-4}$ m/s avec une majorité des valeurs qui sont dans l'intervalle 10^{-5} à 5.10^{-5} m/s avec une forte variabilité spatiale (figure 24). On note qu'en Est flexure, à proximité de la faille d'Arlit, les ouvrages COMI 2 et ARNI_114, se retrouvent dans la plage des bonnes perméabilités au Tarat avec respectivement 6.10^{-5} m/s et $5,4.10^{-5}$ m/s. Ce qui démontre que la faille d'Arlit ne serait pas complètement imperméable.

La perméabilité moyenne des grès du Tarat qui est de $2,77.10^{-5}$ m/s permet de les classer parmi les roches assez perméables.

Les transmissivités varient de $4,3.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ à $1,08.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ avec une moyenne de $1,1.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. L'analyse de la carte des transmissivités (figure 25) permet de ressortir quatre zones homogènes mais qui sont marquées par plusieurs singularités. Selon (SCET AGRI, 1985) et (Projet Aman, Juin 2004), cela serait due à la structure lenticulaire des dépôts du Tarat et à la position des sondages par rapport aux grands axes structuraux de la région.

- Le secteur d'Amidar, où la nappe est libre et les grès du Tarat sont plus grossiers, présente les meilleures transmissivités comprises entre $6.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et $1,1.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.
- La zone située au Nord du faisceau de Tin Adrar et à l'Ouest de la flexure du Mouron : $1,1.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et $5,4.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$;
- La zone au Sud du faisceau de Tin Adrar avec des transmissivités comprises entre $1,2.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ et $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ représente la majeure partie de la zone d'étude. Le secteur d'Akouta représente un chenal allant de la mine Cominak vers Arlit. Cela se traduit dans les résultats des essais de pompages qui donnent deux valeurs de transmissivités. La première correspond à la zone proche du puits (dans le chenal) est toujours supérieure à la deuxième qui se rapporte au terrain encaissant de perméabilité moindre (SCET AGRI, 1985).
- La zone de la flexure faille d'Arlit qui enregistre les plus mauvaises transmissivités. Cependant, au niveau du secteur ARNI, on note de bonnes transmissivités de l'ordre de $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. En plus on constate qu'en Ouest flexure, la transmissivité s'améliore avec l'éloignement de la faille d'Arlit. Ce qui suggère des transmissivités moyennes en Ouest flexure.

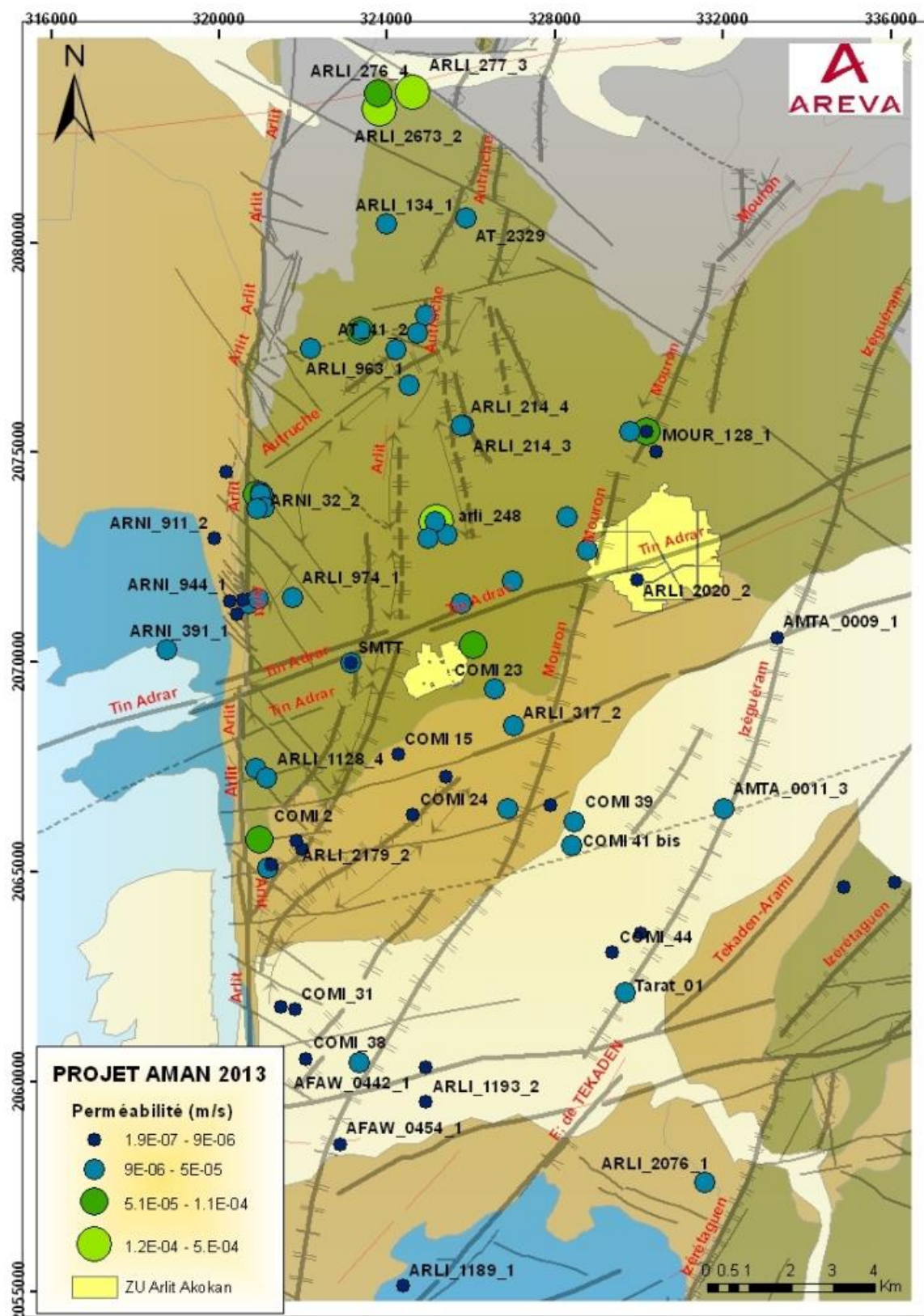


Figure 24: Cartographie des perméabilités au Tarat

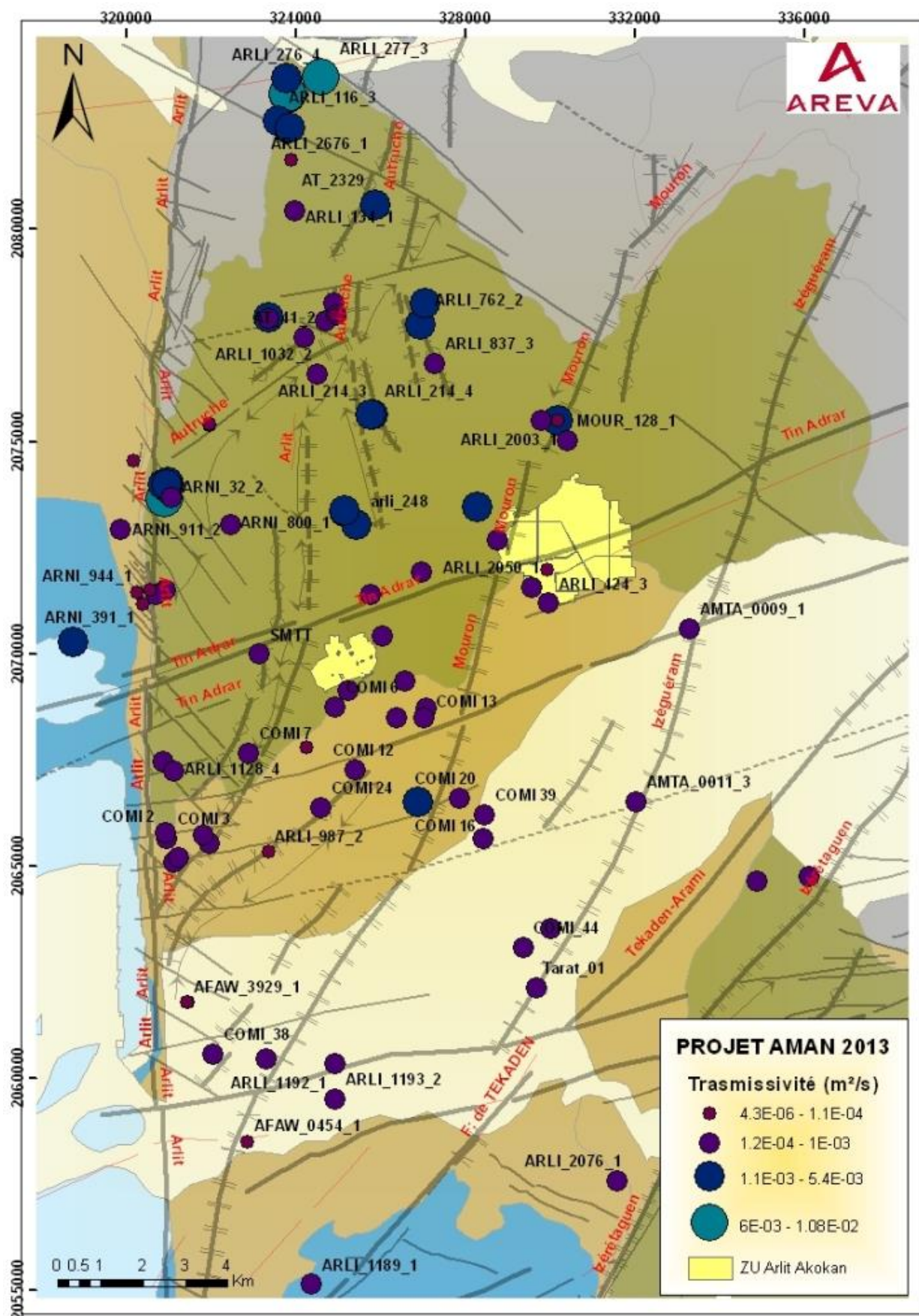


Figure 25: Cartographie des transmissivités au Tarat

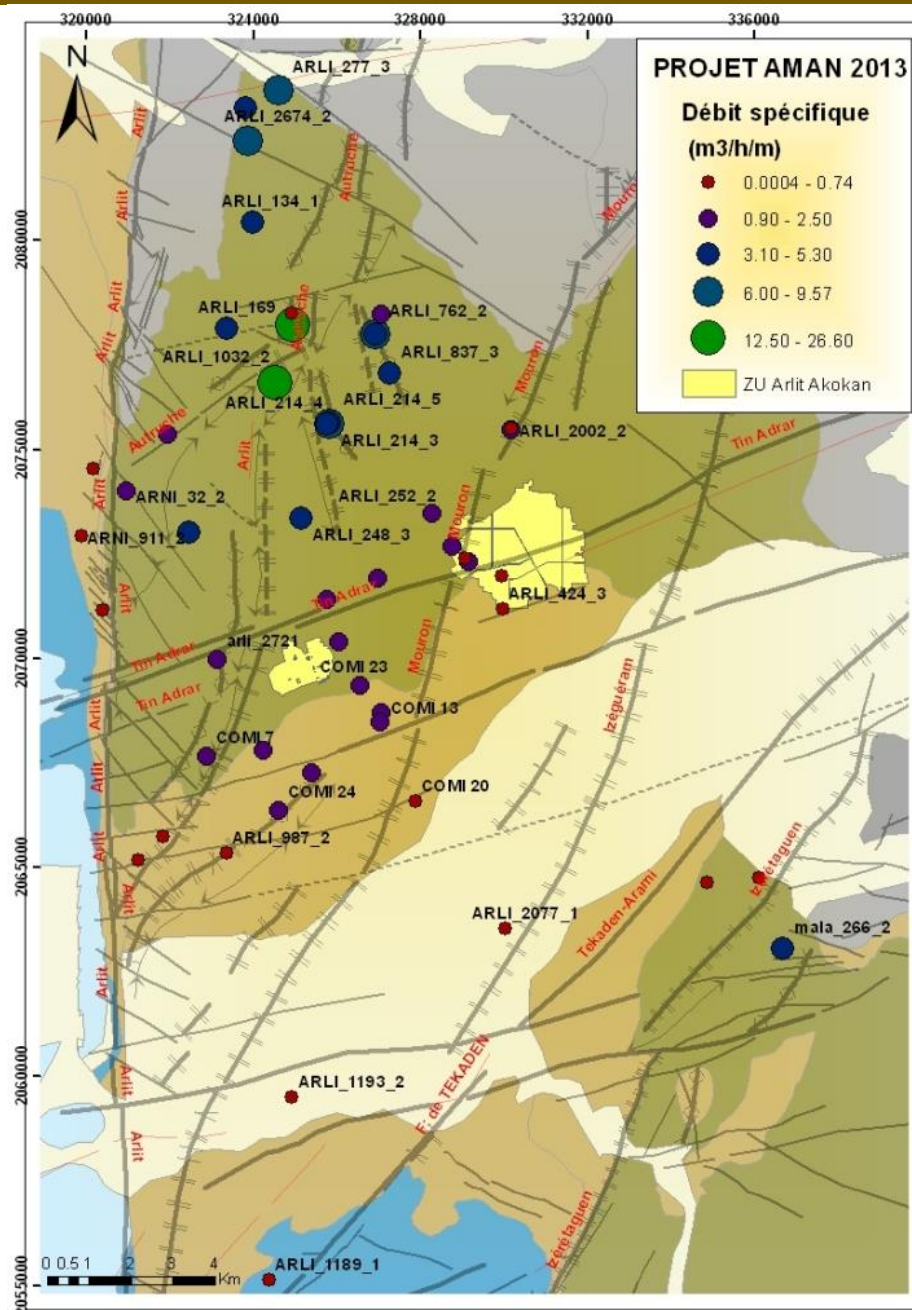


Figure 26: Cartographie des débits spécifiques au Tarat

Les débits spécifiques au Tarat sont très variables avec une plage de valeurs de 4.10^{-4} à $26 \text{ m}^3/\text{h/m}$. Les meilleures valeurs, comprises entre 6 et $26 \text{ m}^3/\text{h/m}$ ont été calculées dans la zone au Nord du Faisceau de Tin Adrar et au Sud-est avec l'ouvrage MALA_266_2. Selon la classification proposée par (Şen, 1995), ces valeurs correspondent à des débits spécifiques moyens. Les débits spécifiques les plus faibles (de $0,0004$ à $0,74 \text{ m}^3/\text{h/m}$) sont déterminées le long de la faille d'Arlit, et dans le secteur situé entre la flexure du Mouron et celle d'Izéretagen.

<u>Classification des débits spécifiques (Sen 1995)</u>	négligeable	très faible	faible	moyen	élevé
Qs (l/min/m)	$Q_s < 0.3$	$0.3 < Q_s < 3$	$3 < Q_s < 30$	$30 < Q_s < 300$	$Q_s > 300$

4.4.3. Impact de l'exploitation sur la piézométrie du Tarat

4.4.3.1. L'évolution de la piézométrie

L'analyse de la cartographie piézométrique en 1980 (figure 27) montre que quelques années après sa mise en exploitation, la nappe du Tarat est déprimée sur presque toute la zone d'étude. Cela est la conséquence du fait que le Tarat est la nappe la plus exploitée de la zone d'étude. Elle est sollicitée de façon conjuguée pour l'AEP, l'AEI, et les exploitations (dénoyages et exhaures) des mines à ciel ouvert SR et souterraine CK.

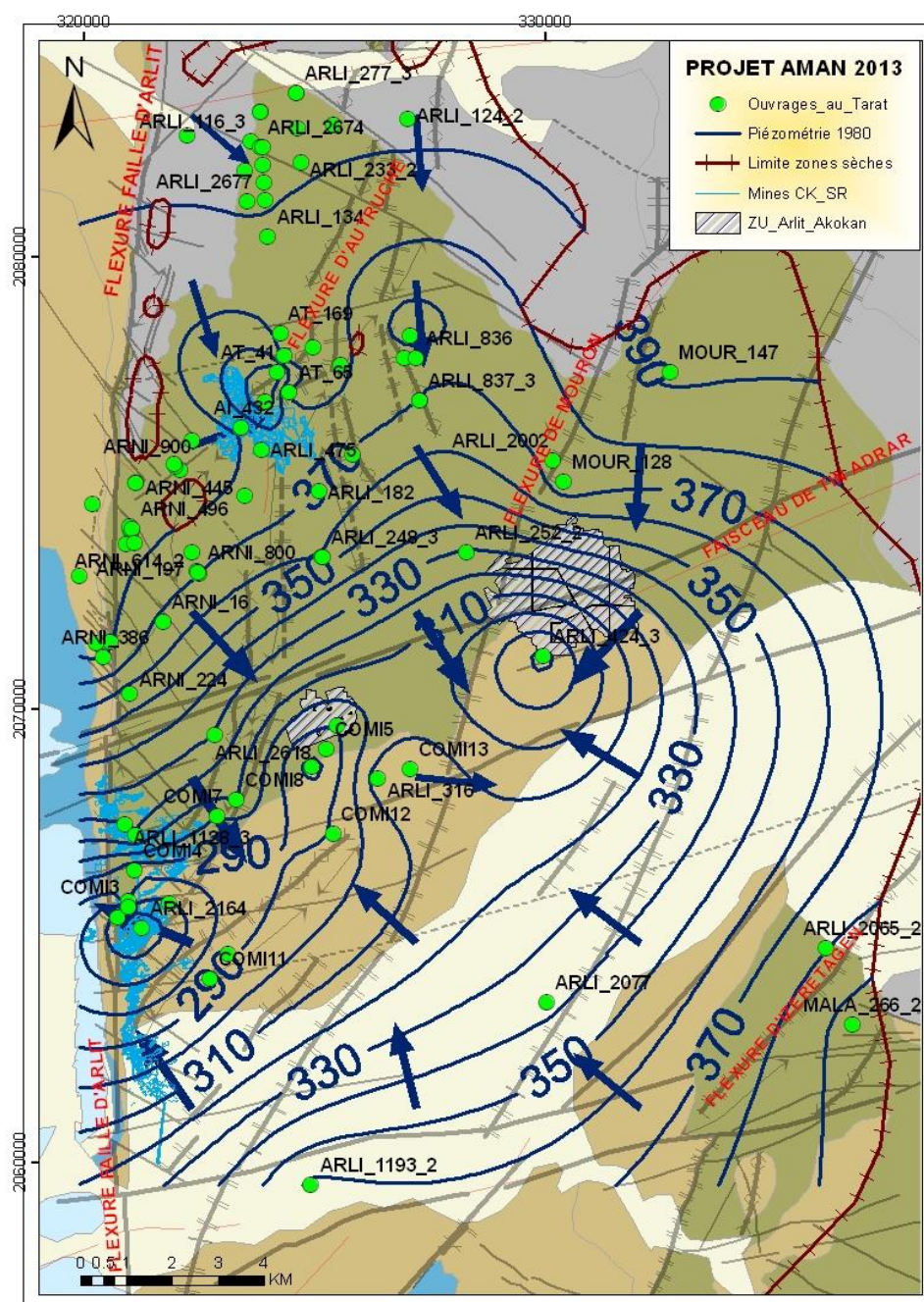


Figure 27: Piézométrie de la nappe du Tarat en Décembre 1980

De façon générale, les eaux convergent vers l'axe de drainage constitué par la mine Cominak avec un gradient hydraulique de l'ordre de 0,8 %. L'écoulement est alors dominé par le cône de dépression compris entre les isopièzes 390 suivant la direction du chenal de transmissivité allant de Cominak vers Arlit (axe SW-NE). On note un resserrement des courbes à proximité du faisceau de Tin Adrar qui semble aussi orienter l'écoulement.

Cependant, au niveau du secteur d'Amidar, au nord de la zone d'étude, l'influence de l'exploitation de la nappe est négligeable. Cela peut s'expliquer par le fait qu'Amidar se localise dans la zone des meilleurs paramètres hydrodynamiques de la nappe. Le piézomètre ARLI_277_2 situé à proximité de l'ancien captage ARLI_2676_2 représente bien les variations de la piézométrie de ce secteur.

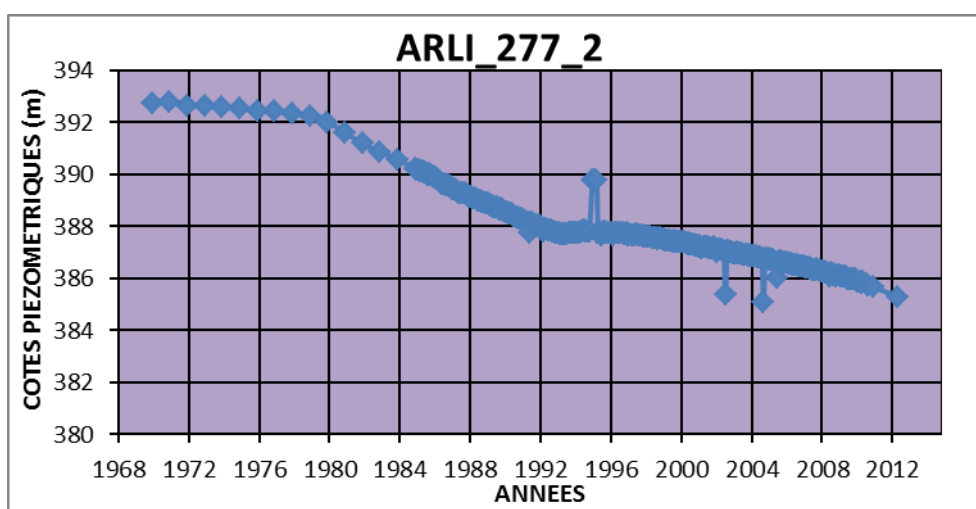


Figure 28: Evolution piézométrique sur le secteur d'Amidar (piézomètre ARLI_277_2, Tarat)

- De 1980 à 1992, l'hydrographe de la figure 28 présente une légère baisse du niveau d'eau (environ 4 mètres) due à l'influence combinée des pompages dans la ferme d'Amidar et les carrières de la Somaïr.
- A partir de 1992, après l'arrêt des captages d'eau potable de la ferme, on observe une diminution beaucoup plus lente de la nappe de l'ordre de 0,1 m/an à 0,2 m/an.

Les variations de la piézométrie observées sur le secteur d'Amidar semblent être principalement liées aux captages d'eau potable situé à proximité de la zone. Ainsi, les prélèvements (dénoyage et pompage AEI) effectués sur les MCO de Somaïr paraissent avoir un impact négligeable sur le comportement de la nappe dans ce secteur (SCET AGRI, 1985).

A l'intérieur du cône de dépression général observé sur la figure 27, les différents forages destinés à l'alimentation en eau des zones urbaines ont créé deux cônes de dépression secondaires à la cote 280 mètres au niveau d'Arlit et d'Akokan. En effet le Tarat est la principale nappe exploitée pour l'AEP (près de 6 millions m³ d'eau pompés au cours de l'année 1980).

- Une première dépression qui est centrée sur le captage COMI_6 localisé à proximité de la cité Akokan suit l'axe de la dépression générale de la nappe.
- La deuxième dépression, située près de la ville d'Arlit, est centrée sur le captage ARLI_424_3 (figure 29) qui enregistre près de 80 mètres de rabattement de la nappe. Cependant, il est à noter que ces mesures effectuées pendant les campagnes d'arrêt de puits (48 h de non fonctionnement de l'ouvrage) ne sont pas précises et ne reflètent pas forcément l'état statique de la nappe.

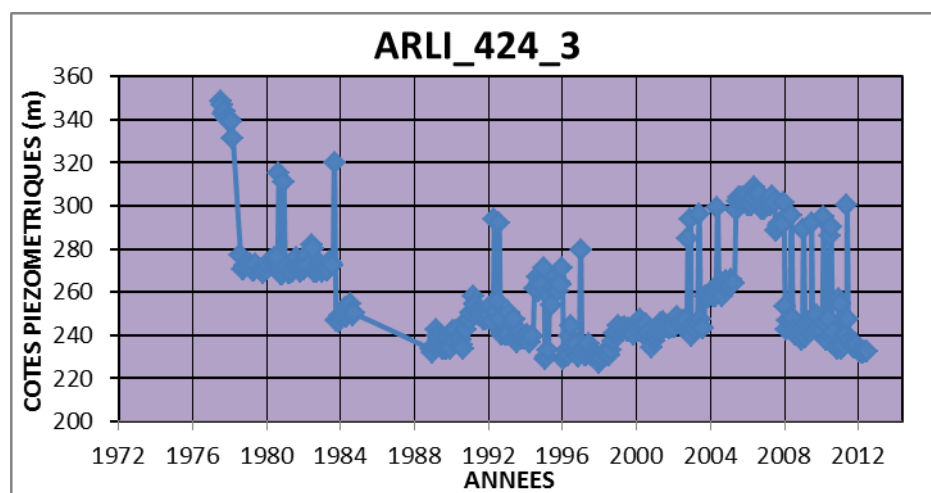


Figure 29: Hydrographes du captage ARLI_424_3 (ZU_Arlit, Tarat)

Au sud de la zone d'étude où la nappe est moins sollicitée, on observe un relâchement des isopièzes. Les hydrographes des piézomètres de ce secteur situé entre le sud de la ZU Arlit-CK et la flexure du Madaouela ont un aspect identique (figure 30):

- Chute brutale de la piézométrie (environ 40 à 50 m) à partir de 1975 : ce qui correspond à la mise en exploitation de la mine de Cominak. Les ouvrages ARLI_2065_2 et MALA_266_2 qui sont à proximité de la flexure d'Izérétagen se distinguent avec une baisse plus douce débutant en 1976. Le piézomètre ARLI_2065_2 situé à l'ouest de la faille présente une baisse plus marquée (5 m/an) que celle observée dans le piézomètre MALA_266_2. (2,5 m/an). Ces singularités s'expliquent par l'éloignement des ouvrages les uns des autres et par leur position par rapport à la structurale du secteur. On note que malgré l'éloignement par rapport à la mine de Cominak, tous les ouvrages ont réagi aux sollicitations de celle-ci.

- Baisse plus lente à partir de 1984 pour tous les ouvrages : ce qui correspond à un rabattement d'environ 2 m/an sur tous les ouvrages. Le Tarat est très épais (jusqu'à 80 m) et très profond (son toit est à 223 m environ) sur ce secteur (Projet Aman, Juin 2004).

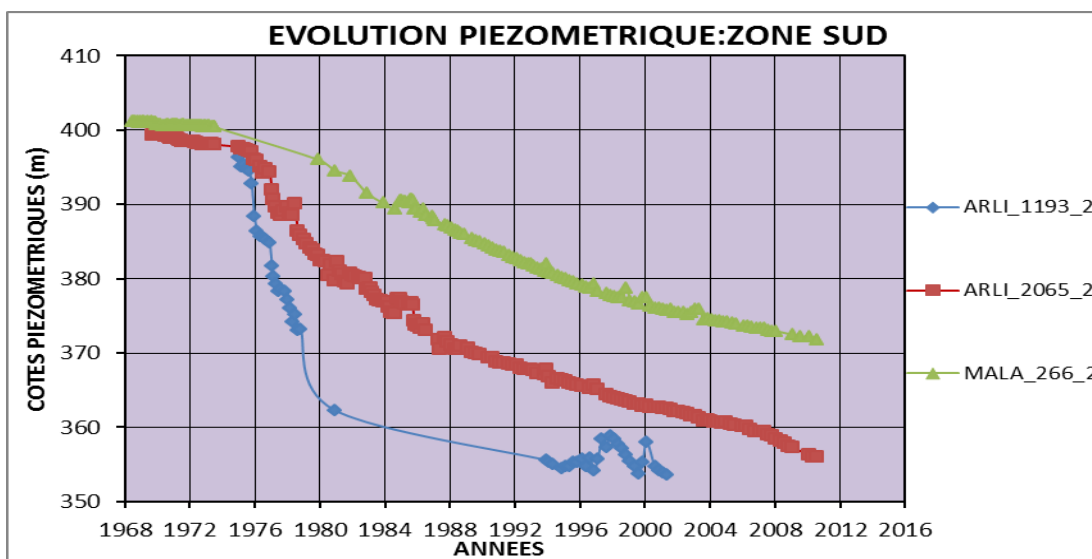


Figure 30: Evolution piézométriques au secteur Sud (Tarat)

La surface piézométrique considérée à l'année 2000 (figure 31) montre que la nappe du Tarat est complètement asséchée sur le secteur de la Somaïr. En effet, selon la chronique de la production d'eau de Somaïr, plus de 37 895 766 m³ d'eau ont été prélevés de la nappe depuis le début des pompages pour le dénoyage des différentes fosses uranifères de la société. La recharge y est donc impossible.

Les zones sèches sur la ZI de Somaïr se sont développées à partir des années 1990 (Annexe1figure13) et ont évolué en s'élargissant le long de la faille d'Arlit et de l'anticlinal d'Autruche. Les écoulements, bloqués dans les anticlinaux notamment au niveau de celui d'Autruche ont provoqué le passage de la nappe, de son état captif à un état à surface libre ou totalement asséchée. De ce fait, il résulte un dénoyage de la flexure d'Autruche qui serait devenu imperméable à partir des années 1990 à 2000.

De même, sur le secteur de la mine de Cominak, la nappe est rabattue jusqu'à son mur avec une baisse de la piézométrie d'environ 160 mètres (figure32) pour les besoins d'extraction de l'uranium situé dans le Guezouman. Selon les hypothèses émises par (Farook, 2009) les eaux du Tarat représentent 84% de l'ensemble des exhaures effectuées dans la mine. Le Tarat est aussi exploité sur ce secteur pour l'AEP et l'AEI par le réseau de captage COMI.

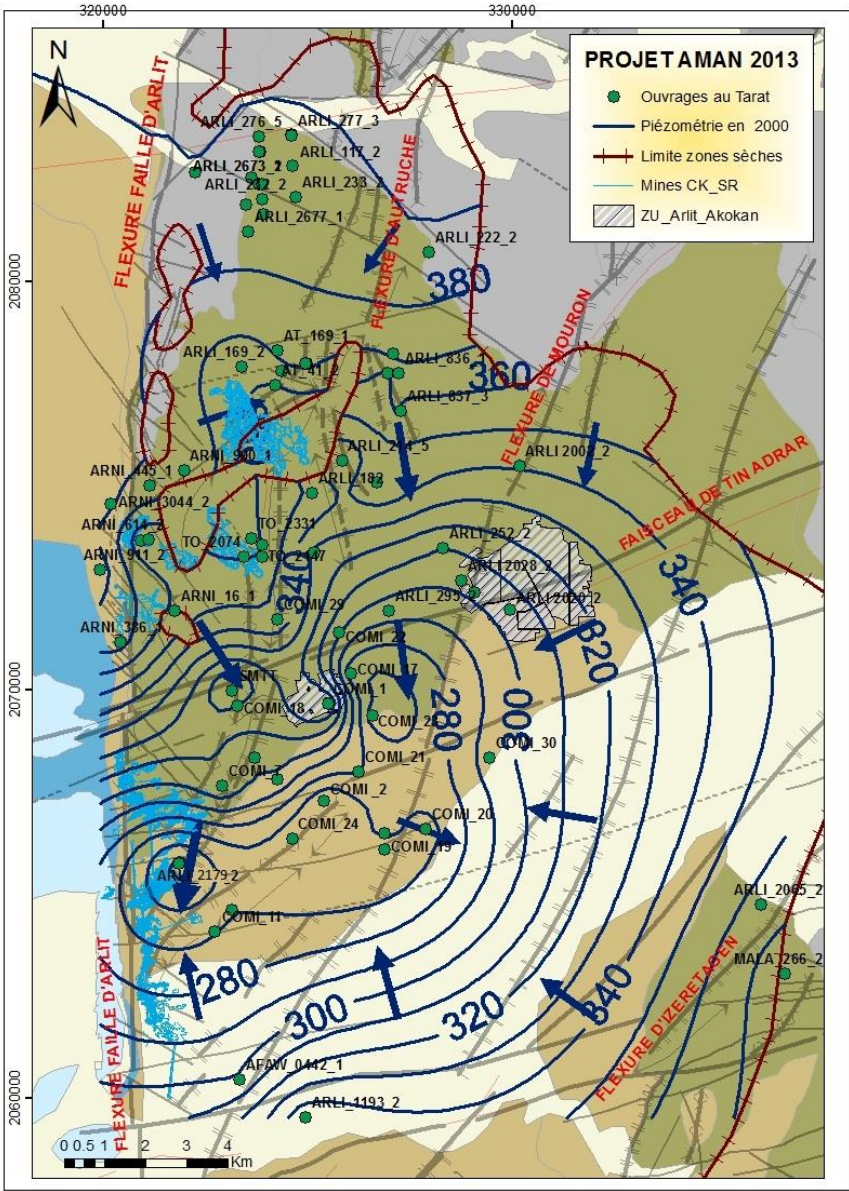


Figure 31: Cartographie de la piézométrie du Tarat en 2000

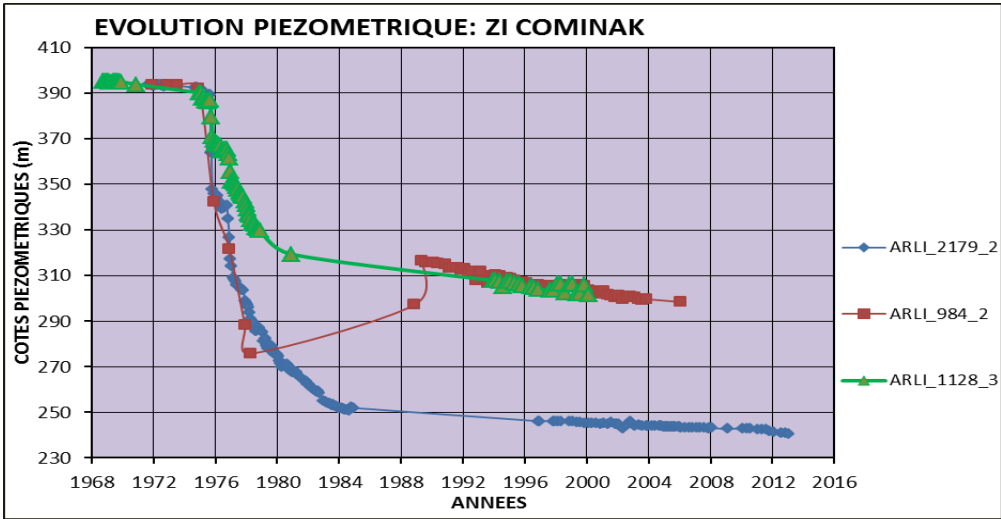


Figure 32: Evolution piézométrique sur la ZI CK (Tarat)

Sur les hydrographes des ouvrages ARLI_984_2 et ARLI_987_2 de la zone industrielle de Cominak, on constate une remontée anormale de la piézométrie respectivement à partir de 1990 et 1994. Cette remontée de la charge hydraulique est improbable car elle entraine la présence de dômes piézométriques localisés dans l'écoulement de la nappe en 2000 (Annexe figure14)

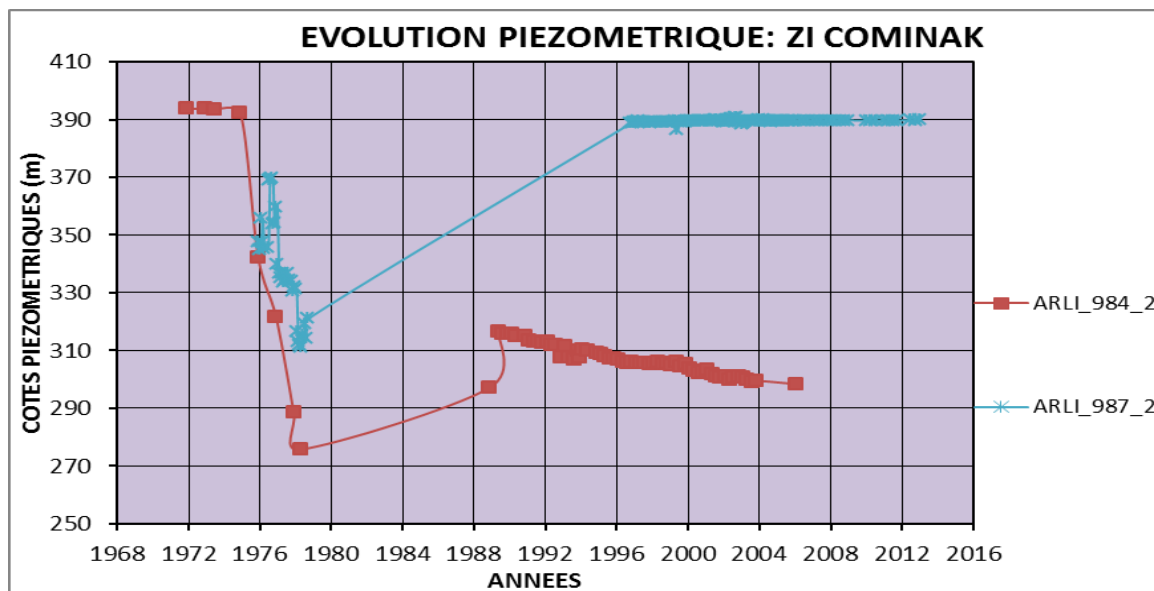
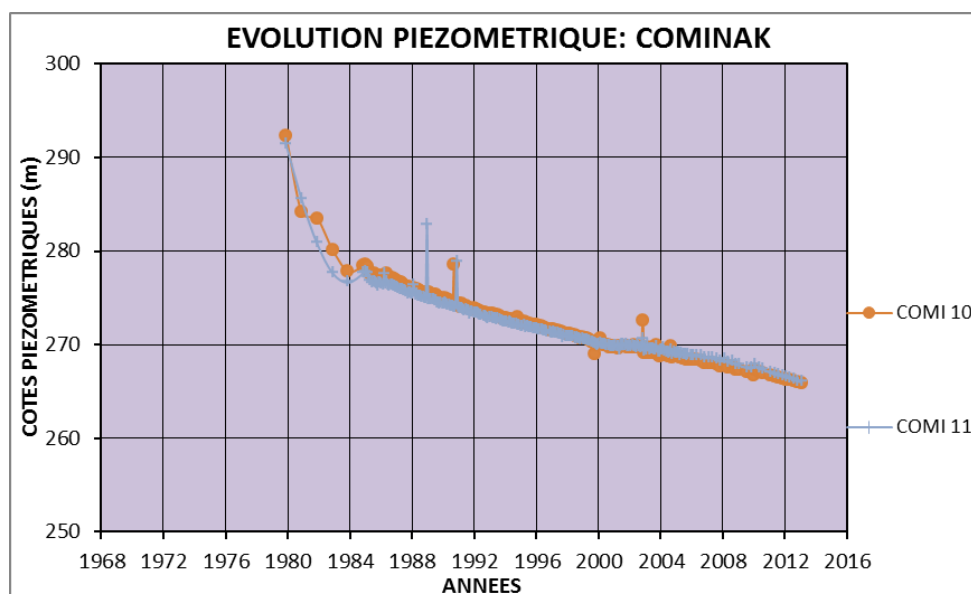
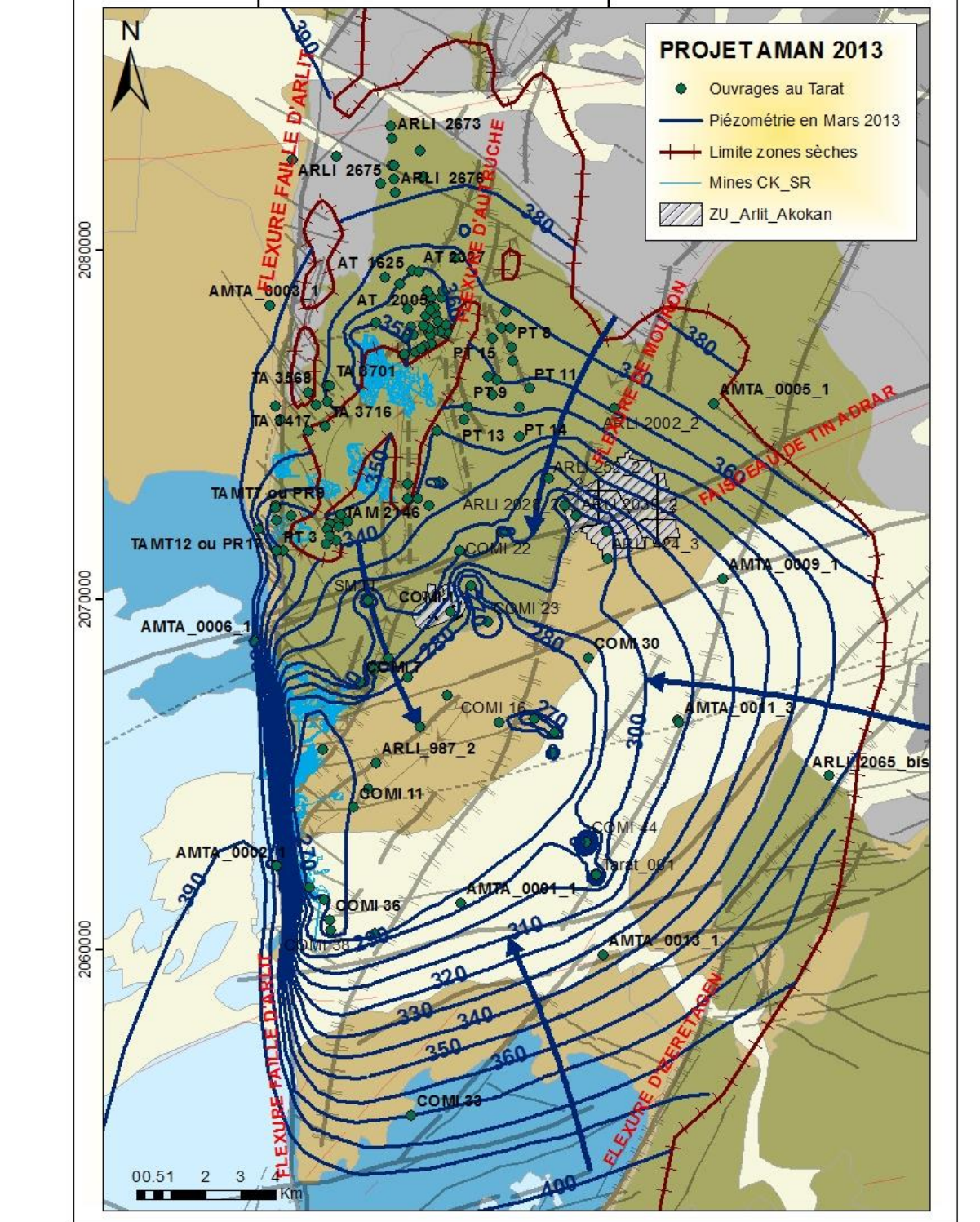


Figure 33: Chromique piézométrique des ouvrages présentant des anomalies (secteur ZI CK, Tarat)

Cependant, il est à noter que l'influence de la mine de Cominak s'étend sur le réseau de captage AEP AEI des ouvrages COMI. L'allure des hydrographes des forages COMI_10 et COMI_11, situés à 1,5 Km des travaux d'akouta et qui a un caractère représentatif des autres hydrographes présentent une tendance générale de baisse de la piézométrie. Cette diminution d'environ 20 m (de 1980 à 2012) se fait par palier selon l'état d'avancement des travaux miniers.





Les isopièzes forment un important cône de dépression refermé sur la mine de Cominak (figure 34) où on relève un rabattement de 170 m du niveau de la nappe depuis le début de l'activité minière.

De nombreux cônes de rabattement singuliers sont observés autour des ouvrages de captage pour l'AEP ou l'AEI. Ces prélèvements participent ainsi à la diminution régionale du niveau de la nappe.

Par ailleurs, les zones de captivités de la nappe ont évolué avec une nette diminution de leur étendue :

- Le long de la flexure d'Izérétagen, proches des zones d'affleurement du Tarat, la limite d'extension de la nappe a connu une régression avec l'abaissement du niveau de la nappe d'environ 40 mètres.
- A la ZI Somair, de larges zones ont été asséchées le long de l'anticlinal d'Autruche. L'évolution de ces zones a entraîné la séparation de l'écoulement des flux d'eau en deux parties. Une partie des eaux s'écoule vers les bassins d'effluent et l'autre, vers les fosses d'Artois et d'Ariège (Projet Aman, Septembre 2012). Les zones non sèches sur ce secteur semblent être alimentées soit par le Nord de la zone d'étude, soit par des venues d'eau à travers la faille d'Arlit.

4.5. PROPOSITION DE FUTURES ZONES D'EXPLORATION

4.5.1. Proposition de zones de surveillance de la nappe du Guezouman

La surveillance régionale de l'aquifère du Guezouman, tant sur le plan piézométrique que hydrochimique est effectuée actuellement à partir de quatre ouvrages. Ce sont les piézomètres ARLI_351, ARLI_2079, ARLI_2007 localisés dans la zone urbaine et le piézomètre MOUR_111 dans le secteur du Mouron.

Il s'agit donc d'implanter un nouveau réseau de surveillance sur toute la zone d'étude afin de pouvoir continuer à suivre l'évolution de la nappe et la qualité des eaux du Guezouman :

- Réhabilitation des ouvrages du secteur d'Amidar, ARLI_268 et ARLI_146, qui se sont révélés bouchés lors de la campagne piézométrique 2013 ;
- Réalisation des nouveaux ouvrages d'observation sur les secteurs de Cominak (au droit de la mine, et sur la ZI), zone sud, Madaouela, et du Mouron (de part et d'autres de la flexure), et de la zone urbaine, zone de la faille d'Arlit (de part et d'autres de la faille).

4.5.2. Proposition de zones d'exploitation de la nappe du Tarat

La nappe du Tarat qui constitue la principale source d'eau potable dans la région d'Arlit est essentiellement exploitée dans les environs de la zone urbaine d'Arlit-Akokan. En effet l'aquifère montre des propriétés hydrodynamiques acceptables. En outre, l'étude de la piézométrie actuelle de la nappe montre que l'influence des pompages de la mine de Cominak sur ce secteur est amoindrie.

Cependant, l'analyse des paramètres hydrodynamiques révèle que le secteur d'Amidar représente la meilleure zone d'exploitation de la nappe du Tarat. Les débits spécifiques sont compris entre 6 m³/h/m et 9 m³/h/m et les transmissivités varient de 6.10⁻³ m²/s et 1,1.10⁻² m²/s. De plus l'aquifère est à l'affleurement sur ce secteur.

Le secteur du Nord Madaouela, proche de la flexure d'Izérétagen pourrait aussi être une zone exploitable. Les transmissivités sont passables et l'épaisseur de la nappe d'environ 60 mètres. Néanmoins, il est à relever que les débits spécifiques y sont relativement faibles (varie autour de 0,3 m³/h/m) et que la nappe y est profonde.

De même, la zone située au Nord du faisceau de Tin Adrar et à l'Ouest de la flexure du Mouron présente de bonnes caractéristiques hydrodynamiques. Toutefois ce secteur est actuellement inexploitable en raison du développement des zones sèches induites par le dénoyage des fosses de la Somaïr.

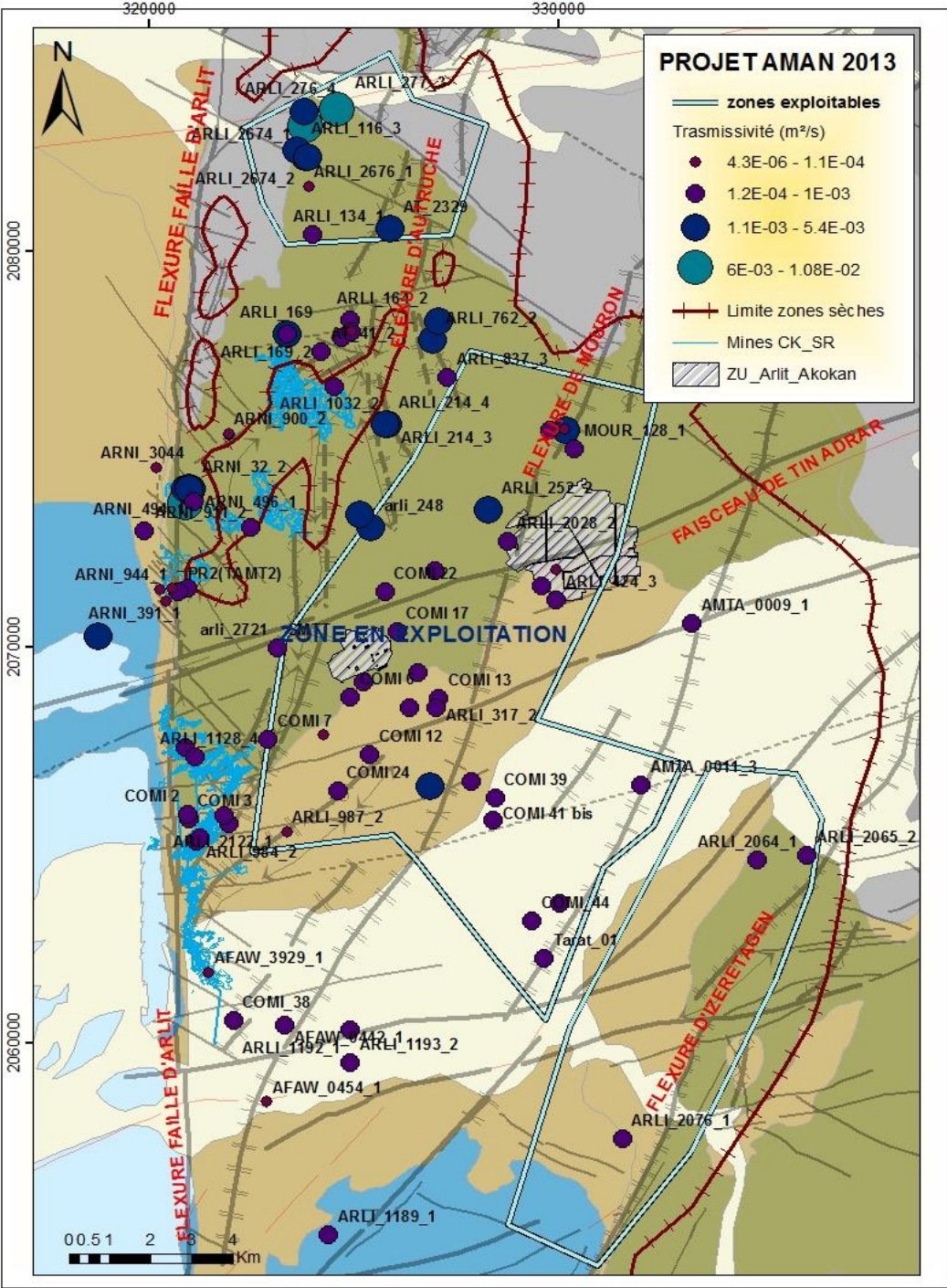


Figure 35: Proposition de zones d'exploitation future du Tarat

5. CONCLUSION

La synthèse cartographique des aquifères de la région d'Arlit a permis d'améliorer l'état de connaissance des nappes du Tarat et du Guezouman. Elle a abouti aux conclusions suivantes :

Hydrodynamique des nappes

L'analyse des paramètres hydrodynamiques des nappes et de leur répartition spatiale a montré que la nappe du Guezouman présente des possibilités d'exploitation limitées du fait de ses mauvaises propriétés hydrodynamiques. La nappe du Tarat par contre enregistre de bonnes caractéristiques hydrodynamiques dont les meilleures plages de valeurs sont observées au Nord de la zone d'étude, sur les secteurs d'Amidar Somaïr et la zone au-dessus du faisceau de Tin Adrar.

Piézométrie et écoulement des nappes

De l'interprétation de la piézométrie et son évolution spatiotemporelle, il ressort que les écoulements dans les nappes dites fossiles de la région d'Arlit, ont été complètement modifiés. Les eaux du Tarat et du Guezouman qui s'écoulaient initialement d'une zone d'alimentation ancienne au Sud-est vers le Nord-ouest, convergent actuellement sur la mine de Cominak. Toutes les cartes piézométriques établis après le début de l'exploitation minière présentent un important cône de dépression centré sur la mine de Cominak. En effet, les pompages d'exhaures qui sont effectués depuis la mise en place de la mine ont induit au droit de celle-ci un rabattement d'environ 200 m du niveau de la nappe du Guezouman et 170 m de celle du Tarat. La cartographie de la piézométrie a montré que l'assèchement de la nappe du Guezouman a débuté depuis 1979 après l'exploitation des premières galeries (Akola Nord). De même sur le secteur de la Somaïr, pour l'aquifère du Tarat, le dénoyage des fosses a entraîné le développement de zones sèches le long de l'anticlinal de l'Autruche. D'où la diminution considérable des limites de captivité de la nappe.

Communications entre nappes

La variation de la piézométrie observée sur les hydrographes des piézomètres du Guezouman au niveau de la zone urbaine d'Arlit ont conduit à l'hypothèse d'une drainance de la nappe par celle de Tarat. Les deux nappes ne seraient alors pas indépendantes. De plus la direction de l'écoulement initial dans le Tarat implique la possibilité de la communication entre les deux aquifères : le Tarat pourrait être en Ouest flexure l'exutoire des eaux du Guezouman.

Hydrochimie du Guezouman

Par ailleurs, la détermination du faciès hydrochimique a permis de classer les eaux basiques du Guezouman dans le type sulfaté sodique et carbonaté sodique. Selon les dernières analyses de 2011, la qualité chimique de ces eaux n'a pas subi de variations majeures du fait de l'exploitation minière. Les eaux du Guezouman peuvent donc être considérées comme des eaux potables.

RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Dans le cadre de l'amélioration du suivi régional piézométrique des différentes nappes du système aquifères de la zone d'Arlit, nous proposons :

- Une campagne de levé au GPS différentiel afin de pouvoir harmoniser les coordonnées diverses des ouvrages et aussi de connaître les cotes tubages des différents ouvrages suivis ;
- Une actualisation et/ou réinitialisation de la base de données Badge concernant les caractéristiques des ouvrages et leurs coordonnées ; aussi une réorganisation des tables d'enregistrement de mesures ;
- Une campagne de vérification et de recherche des anciens ouvrages du réseau de surveillance de la nappe du Guezouman. Ceci, dans le but de récupérer et réhabiliter les ouvrages qui sont bouchés et/ou abandonnés afin de les réintégrer dans le programme de suivi des nappes.
- Des tournées piézométriques de surveillance à fréquence trimestrielle en raison de la variation piézométriques mensuelle minimale dans les ouvrages (quelques centimètres). De même que sur les ouvrages au droit des mines CK-SR, une surveillance trimestrielle est préconisée car du fait du quasi assèchement des nappes, les variations piézométriques sont devenues minimales.

Nous recommandons la réalisation d'ouvrages d'observation au droit de la faille d'Arlit afin de confirmer l'hypothèse de sa semi-perméabilité sur toute sa longueur. De même, nous conseillons la réalisation d'ouvrages plus éloignés en Ouest flexure pour confirmer la conclusion selon laquelle les paramètres hydrodynamiques semblent s'améliorer suivant l'éloignement d'avec la faille d'Arlit.

Cette étude n'a pas pu être menée de façon adéquate selon le principe proposé par (Castany, 1982) qui consiste en la synthèse des ressources hydrauliques dont l'expression est la cartographie piézométrique, puis de la vérification par de ces paramètres sur le terrain. Elle aurait donc été complète avec des essais de pompages, afin d'actualiser les données disponibles sur les paramètres hydrodynamiques de certains secteurs de la nappe.

Mais aussi il s'agira dans les futures études de développer les modèles mathématiques unicouches des aquifères du Tarat et du Guezouman ou multicouches du système. Aussi nous proposons une campagne d'investigations hydrogéologiques le long des limites identifiées pour le modèle conceptuel du système aquifère multicouche. L'objectif principal de ces investigations serait de déterminer la nature des limites et ainsi de ressortir le type de conditions aux limites à appliquer pour le modèle à concevoir.

BIBLIOGRAPHIE

- Antea Direction Internationale** (Décembre 2008), Site d'Arlit - Coninak - Somaïr (Niger) Etude de la présence des nitrates dans les eaux souterraines, [Rapport].
- AREVA NC NIGER** (Mars 2009), Stratigraphie succincte, description des électrofaciès des formations sédimentaires du secteur d'Arlit. - Akokan.
- BAMBARA Appoline** (2012), Caractérisation hydrogéologique et hydrochimique d'un aquifère en milieu de socle fracturé: cas de la zone du projet minier d'Essakane, région du sahel (Burkina Faso), [Mémoire de master, 2ie].
- C.E.A. - G.A.M.** (Mars 1972) Hydrogéologie, Mission d'Agades [Rapport].
- Castany Gilbert** (1982), Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Paris : Dunod Université, [Ouvrage].
- Dodo Abdelkader** (1992), Etude des circulations profondes dans le grand bassin sédimentaire du Niger: Identification des aquifères et compréhension de leur fonctionnement. [Thèse de doctorat, Université de Neuchâtel].
- Farook Assalack** (2009), Etat du réseau de production d'eau potable de la zone d'Arlit-Akokan, études des essais de pompage et géochimiques [mémoire de master, 2ie].
- KOUASSY KALELJE Sainclair Paulin** (2010), Etudes piézométrique et caractérisation hydrochimique des eaux souterraines du bassin de la Bibakala (Nord Ouest de Ngaoundere). [Mémoire de DEA, 2ie]
- LE BEUX Anthony** (Mars 2013), Suivi des travaux hydrogéologiques SOMAIR sur 2012-2013. [Rapport, AREVA].
- N. Flotté** (Janvier 2005), Analyse Structurale de la concession minière [Rapport, COGEMA].
- NOFAL Salah** (2009), Etude hydrogéologique à la confluence Rhône-Durance (Secteur d'Avignon). [mémoire de master, université d'Avignon et des pays de Vaucluse]
- OCDE** (2008), Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2030 [Rapport, OCDE].
- Projet Aman.** (Juillet 2010), Etat des lieux de la qualité des nappes, synthèse des analyses chimiques et radiométriques disponible à Décembre 2009. [Rapport, AREVA Mines Niger].
- Projet Aman** (2010), Note sur la chimie régionale des nappes, Campagne 2010, Secteur Arlit-Cominak - Somaïr. [Rapport, AREVA Mines Niger].
- Projet Aman** (Juin 2004), Synthèse hydrogéologique [Rapport, COGEMA NIGER].
- Projet Aman** (Septembre 2012) Synthèse hydrogéologique à la ZI de Somaïr, Etat des lieux Avril 2012 [Rapport, AREVA Mines Niger].

SCET AGRI (Juillet 1985), Nappes aquifères de la région d'Arlit, nappe du Guezouman, synthèse hydrogéologique [Rapport, AREVA].

SCET AGRI (Juillet 1985), Nappes aquifères de la région d'Arlit, nappe du Tarat, synthèse hydrogéologique. [Rapport, AREVA].

Şen Zekâi (1995), APPLIED HYDROGEOLOGIE for Scientist and Engineers, CRC LEWIS, 1995. [Ouvrage].

Site internet :

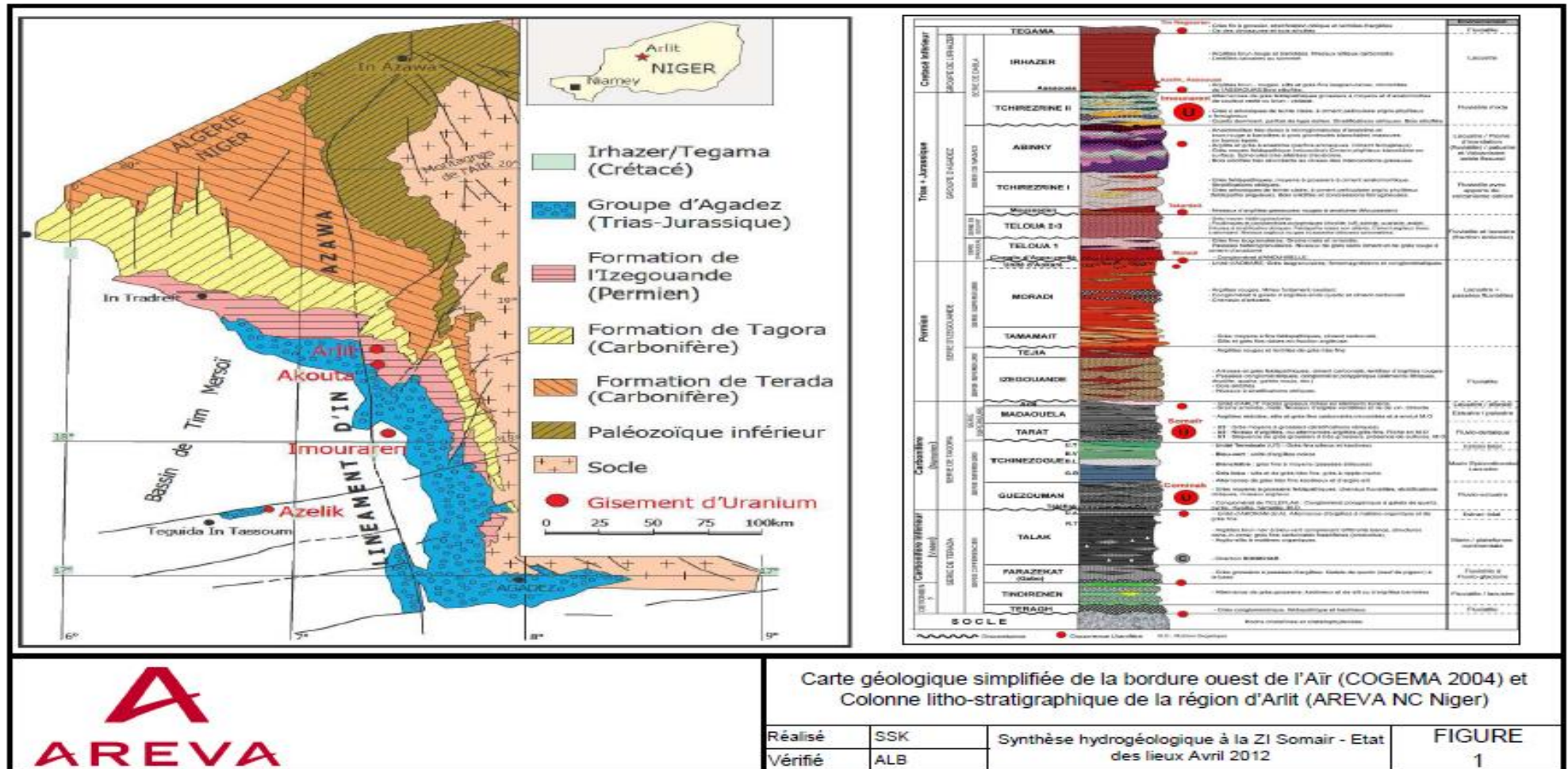
<http://www.memoireonline.com>

<http://www.wikipedia.com>

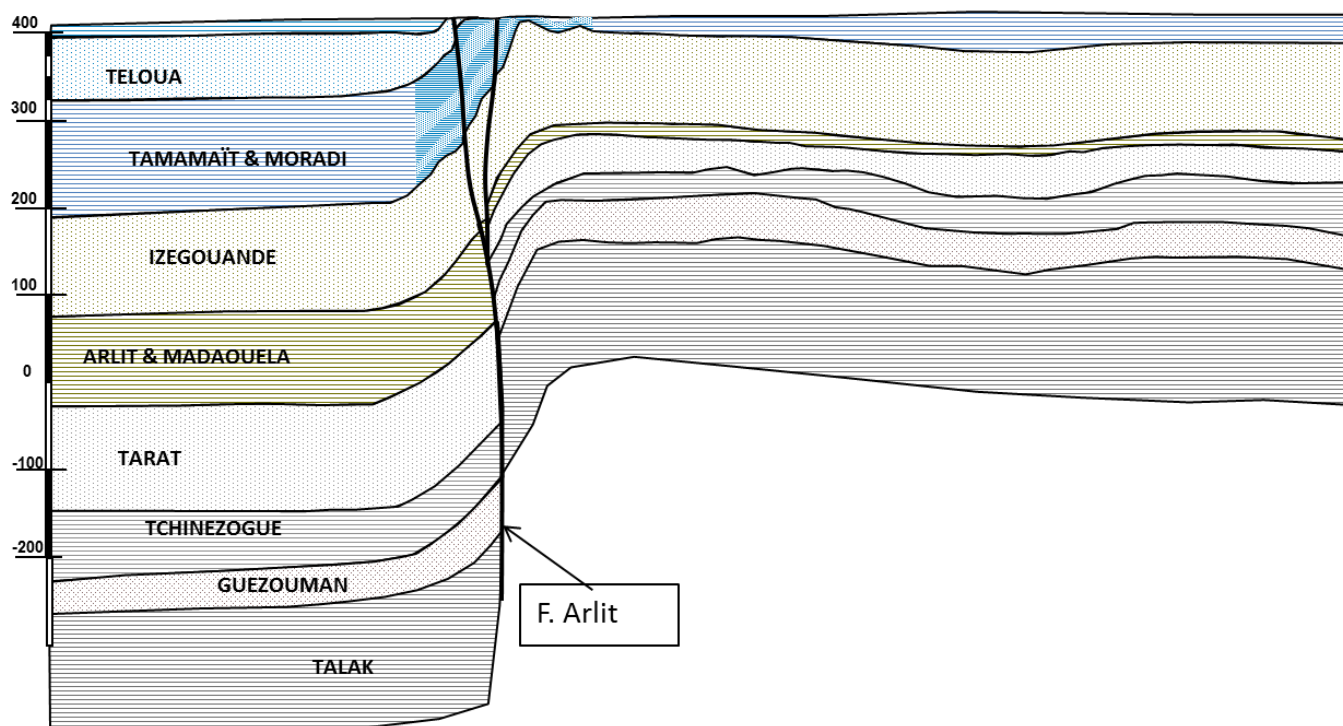
ANNEXES

ANNEXE 1 : FIGURES

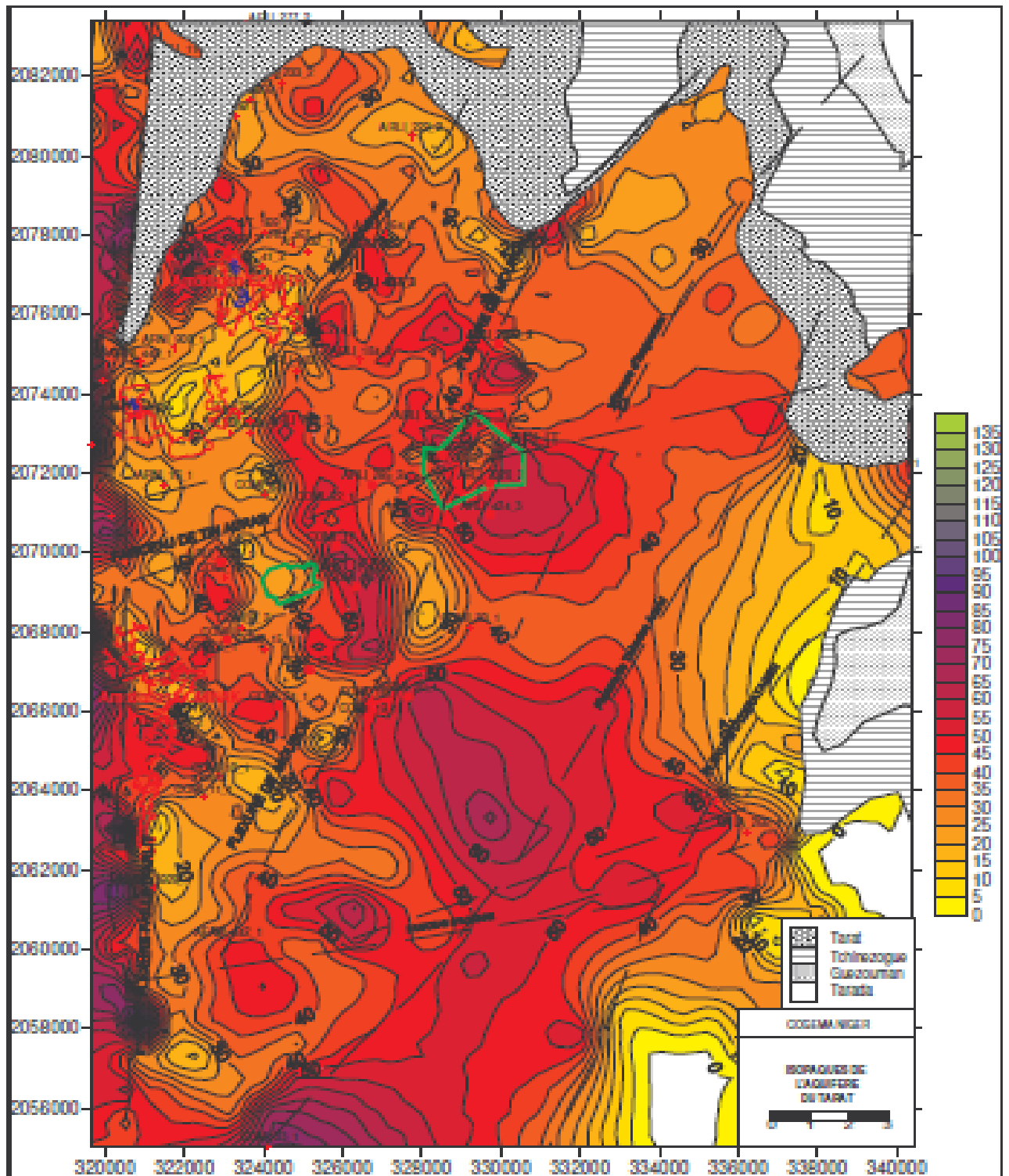
A. Cadre géologique et stratigraphique de la zone d'étude



ANNEXE1 Figure 1: Carte géologique simplifiée de la partie orientale du bassin de Tim Mersoï et coupe stratigraphique de la région d'Arlit

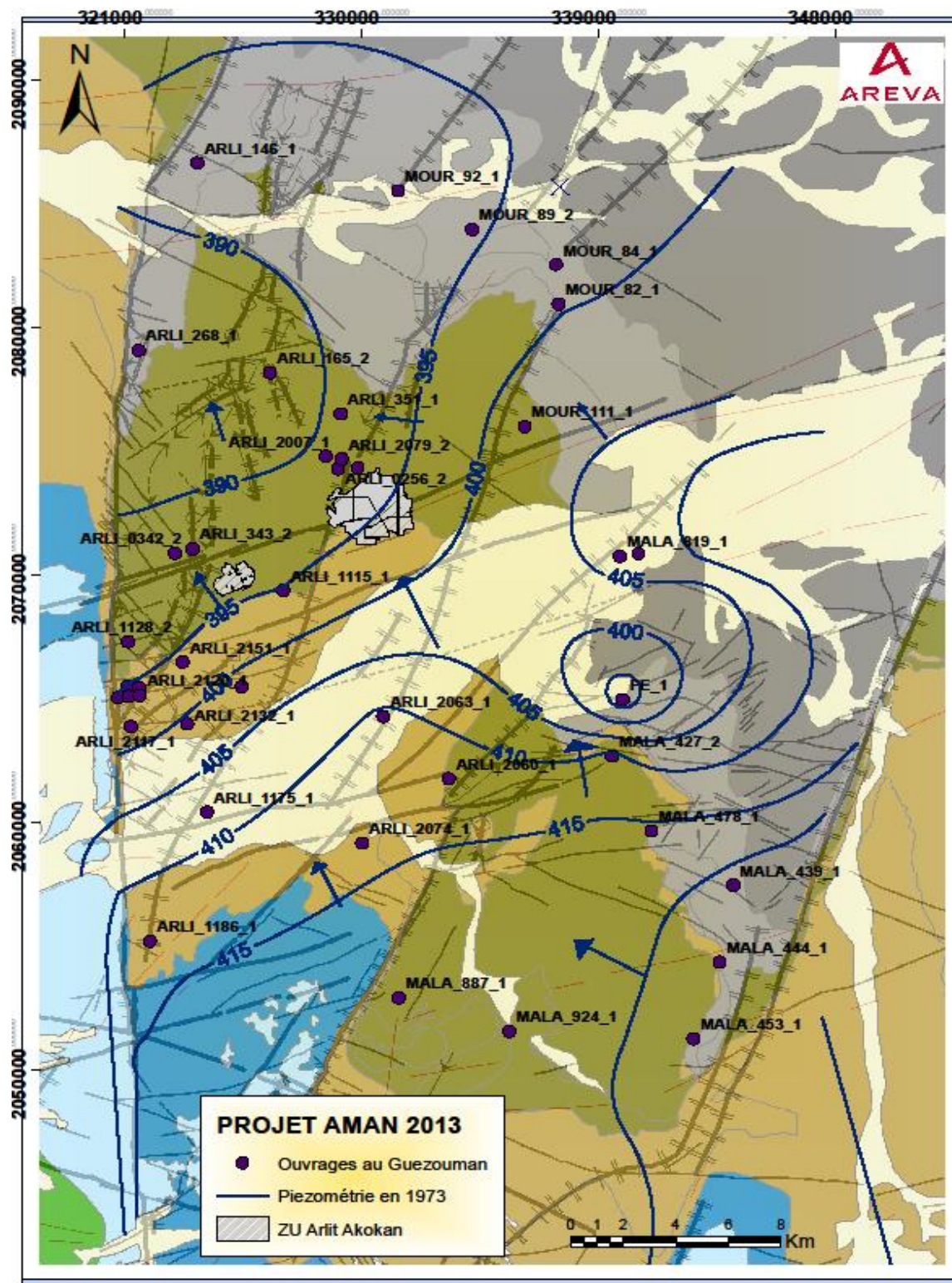


ANNEXE1 Figure 2: système aquifère multicouche de la région d'Arlit

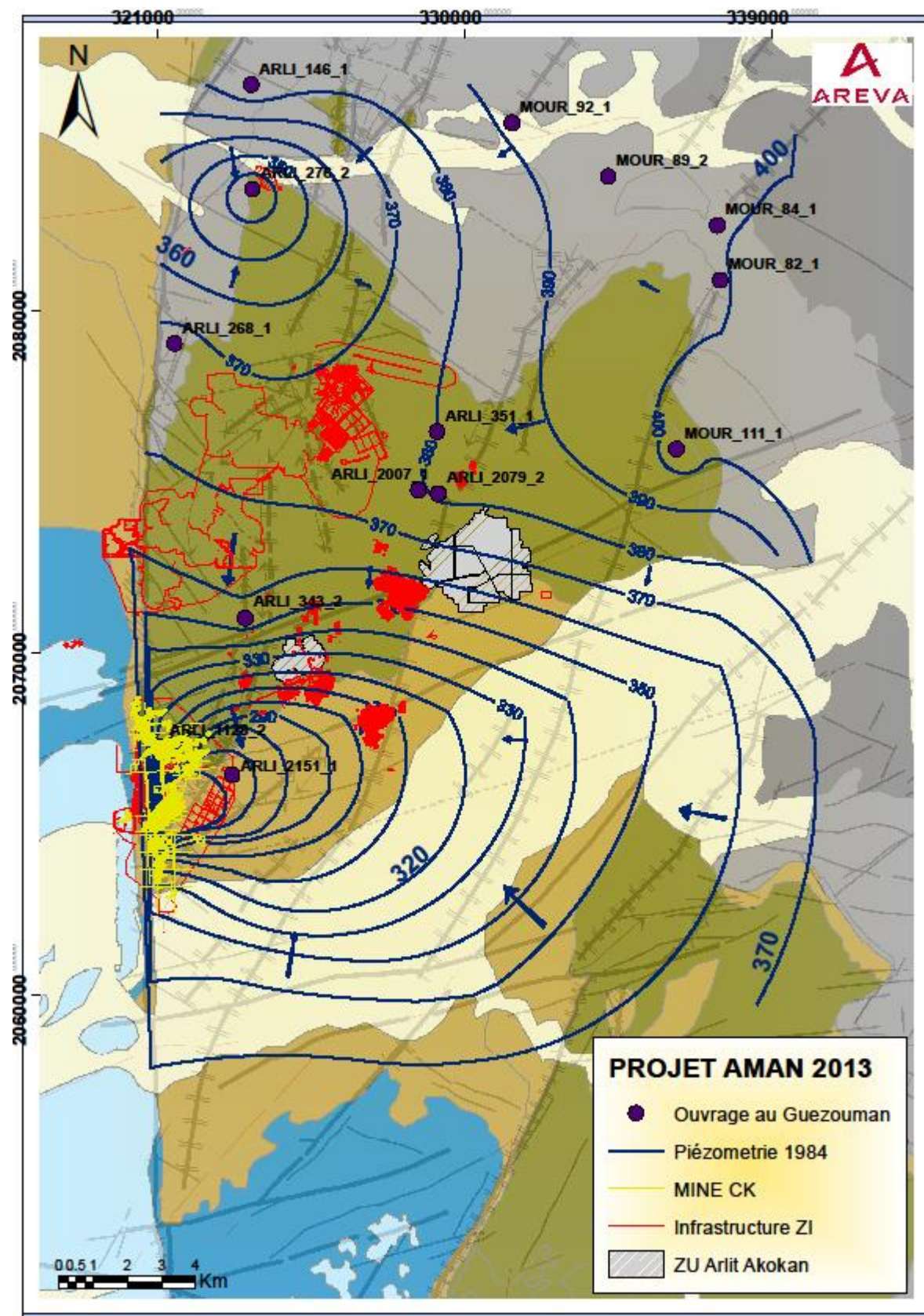


ANNEXE1 Figure 3: Isopaches du Tarat (Aman 2004)

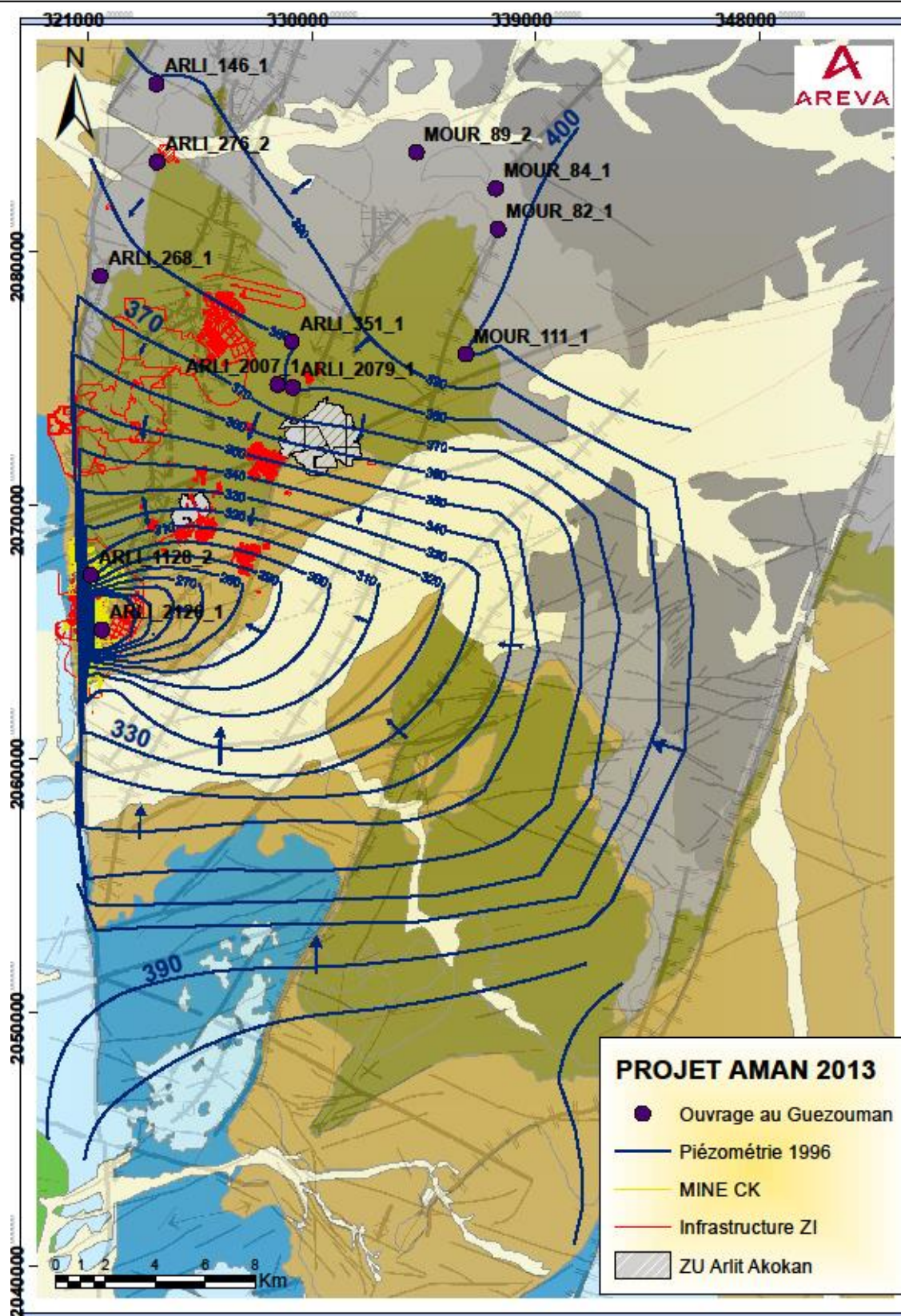
B. Evolution piézométrique de la nappe du Guezouman



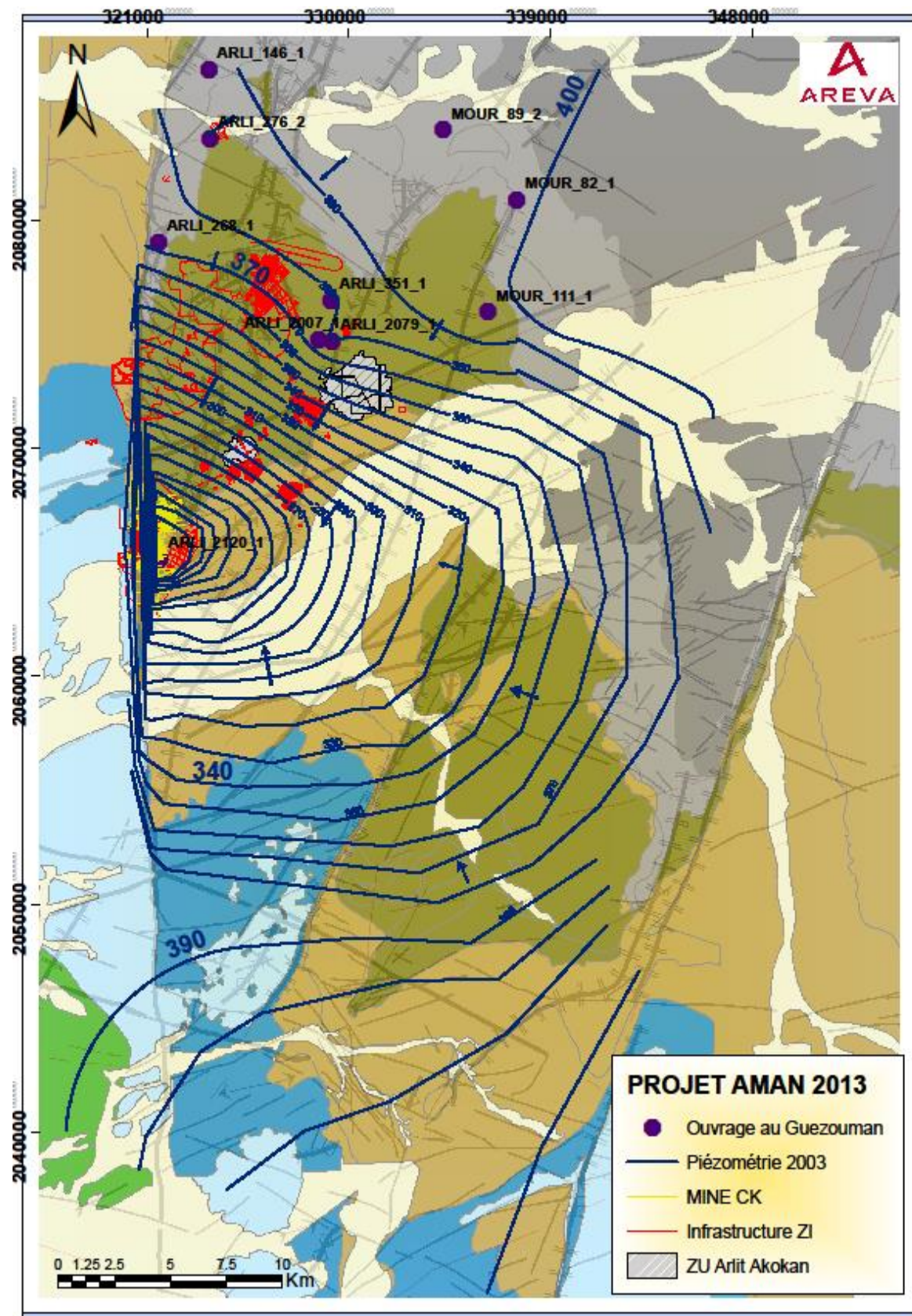
ANNEXE1 Figure 4: Cartographie de la piézométrie du Guezouman (Juin 1973)



ANNEXE1 Figure 5: Cartographie de la piézométrie du Guezouman (Juillet 1984)

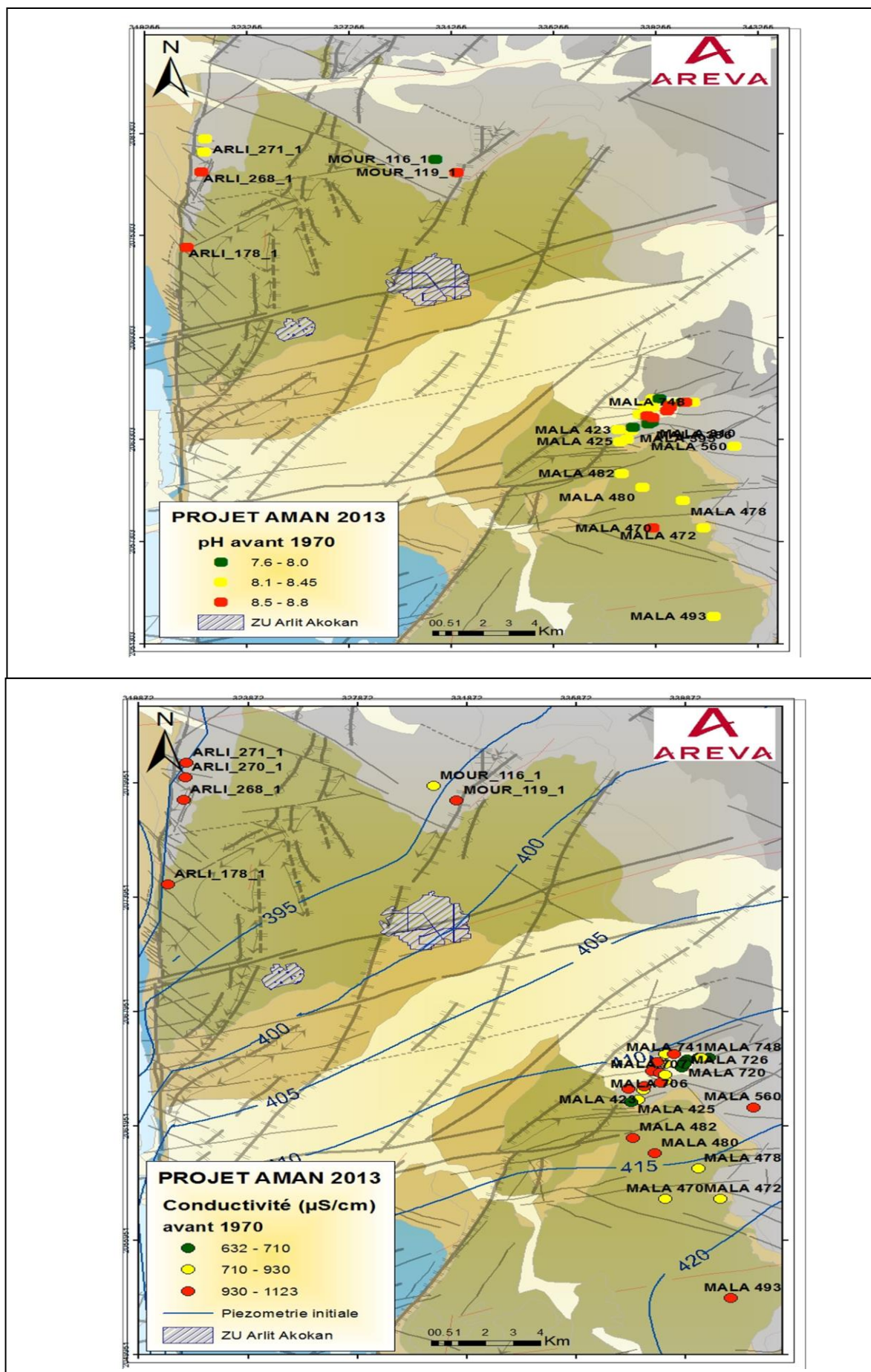


ANNEXE1 Figure 6: Cartographie de la piézométrie du Guezouman (Décembre 1996)

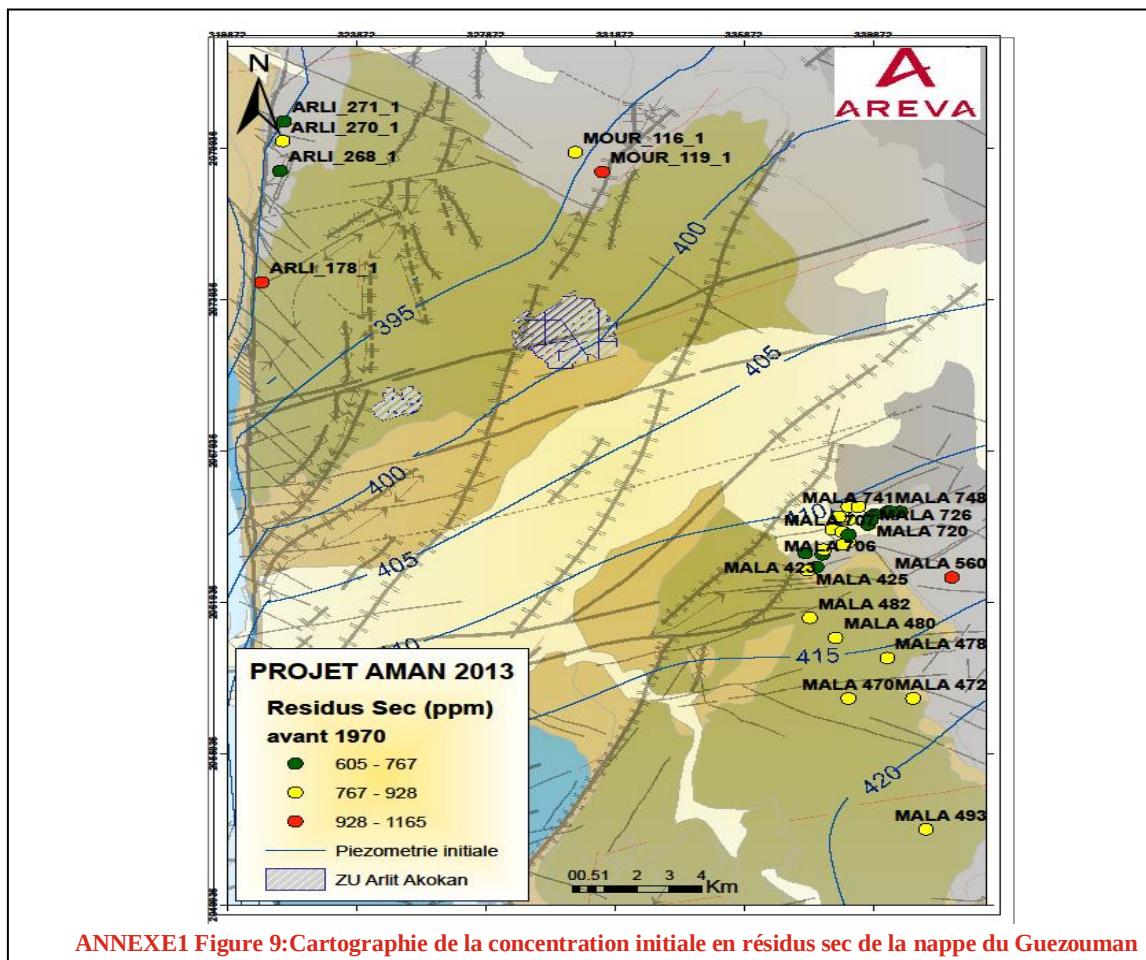


ANNEXE1 Figure 7: Cartographie de la piézométrie du Guezouman (Septembre 2003)

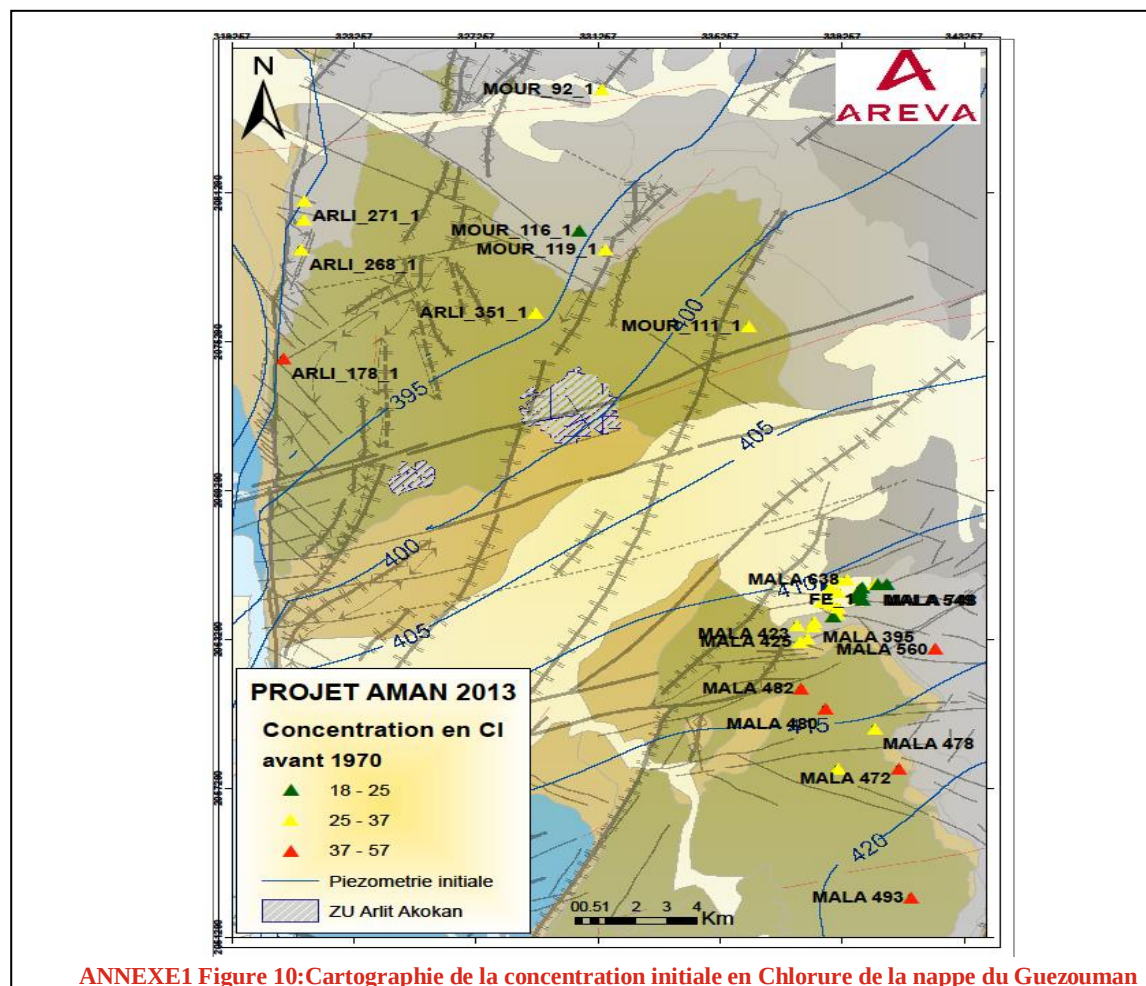
C. Cartographie hydrochimique de la nappe du Guezouman



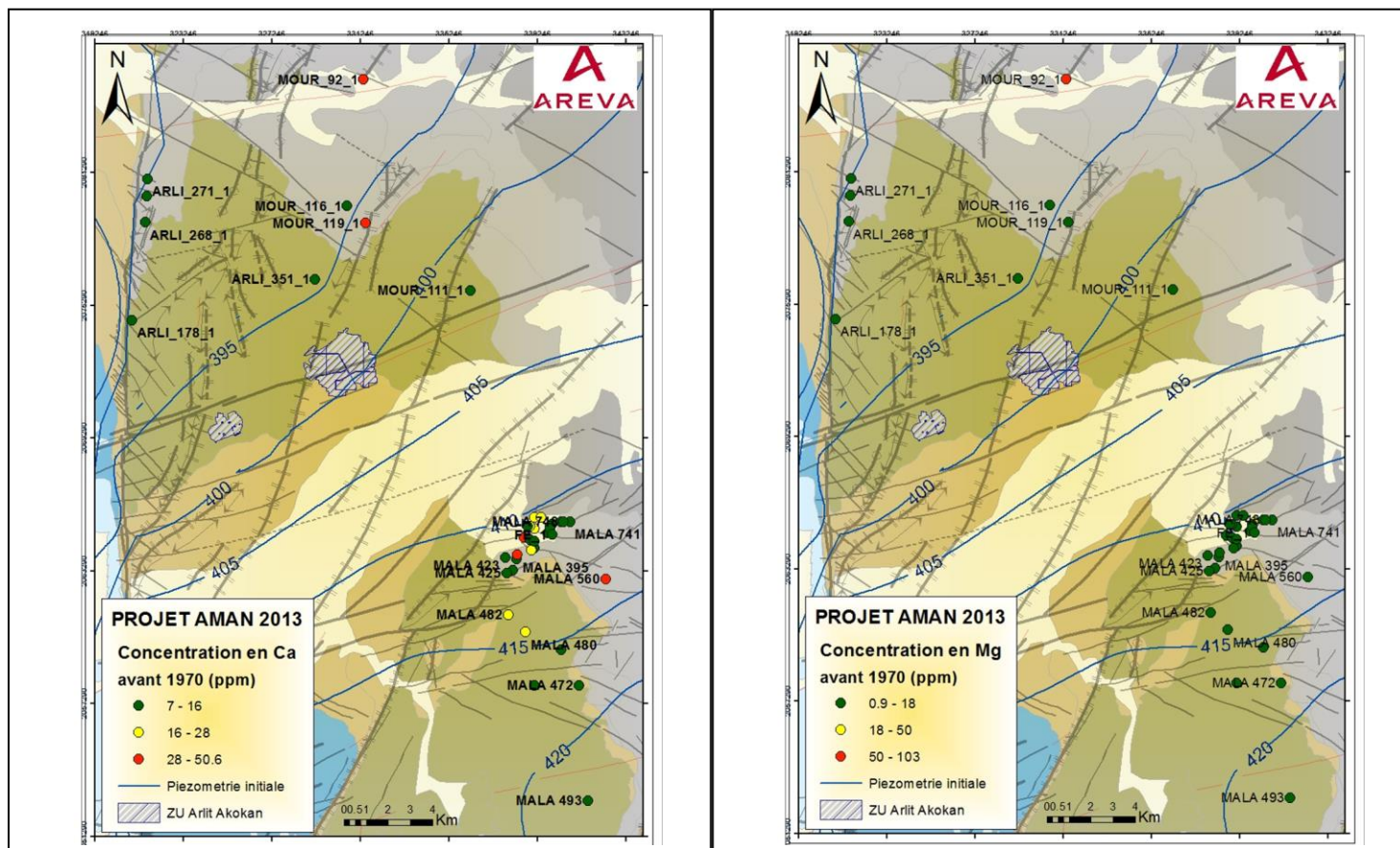
ANNEXE1 Figure 8: Cartographie des paramètres physiques initiaux des eaux de la nappe du Guezouman



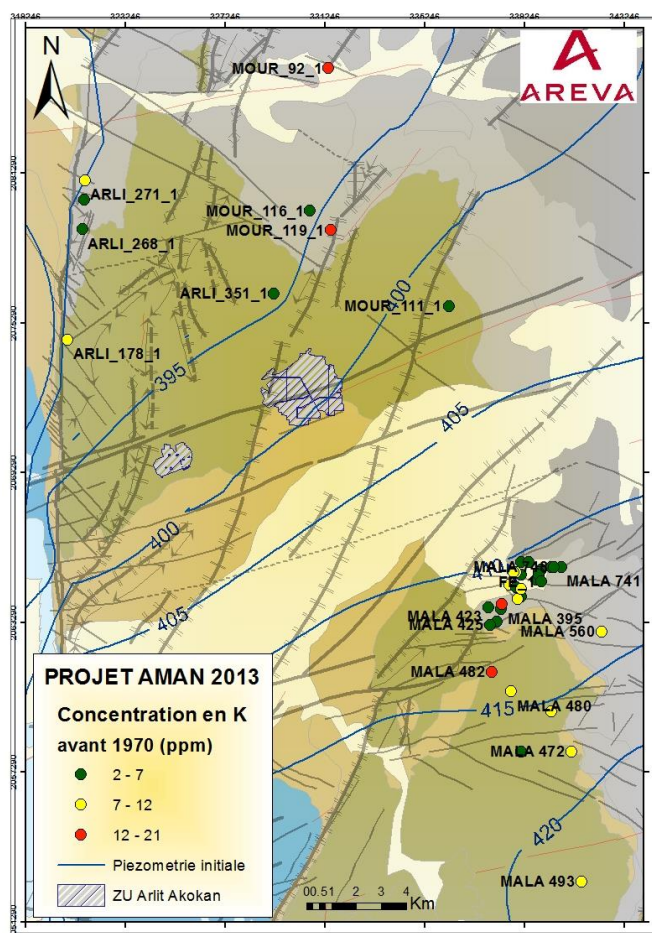
ANNEXE1 Figure 9: Cartographie de la concentration initiale en résidus sec de la nappe du Guezouman



ANNEXE1 Figure 10: Cartographie de la concentration initiale en Chlorure de la nappe du Guezouman

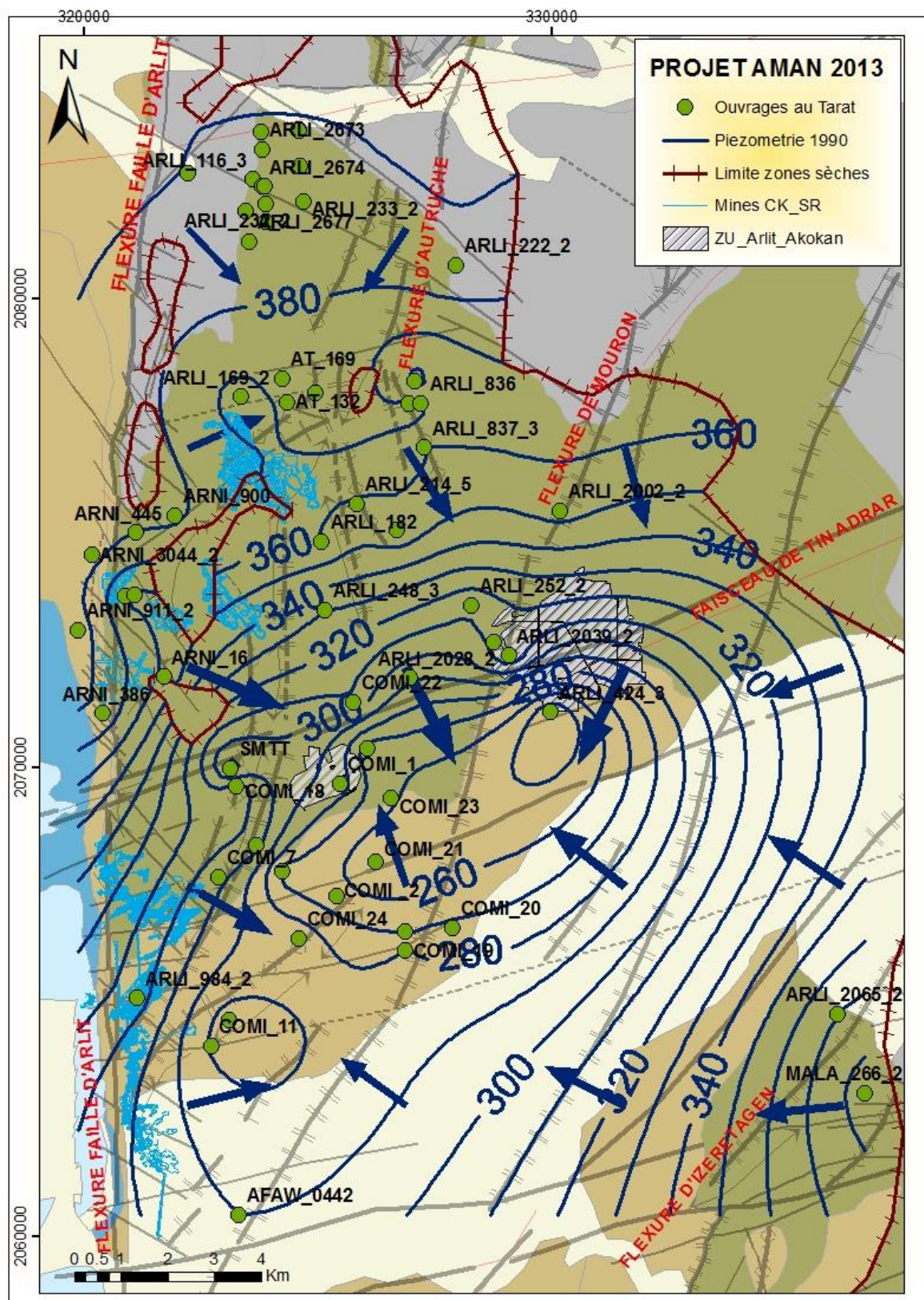


ANNEXE1 Figure 11:Cartographie de la concentration initiale en calcium et magnésium de la nappe du Guezouman

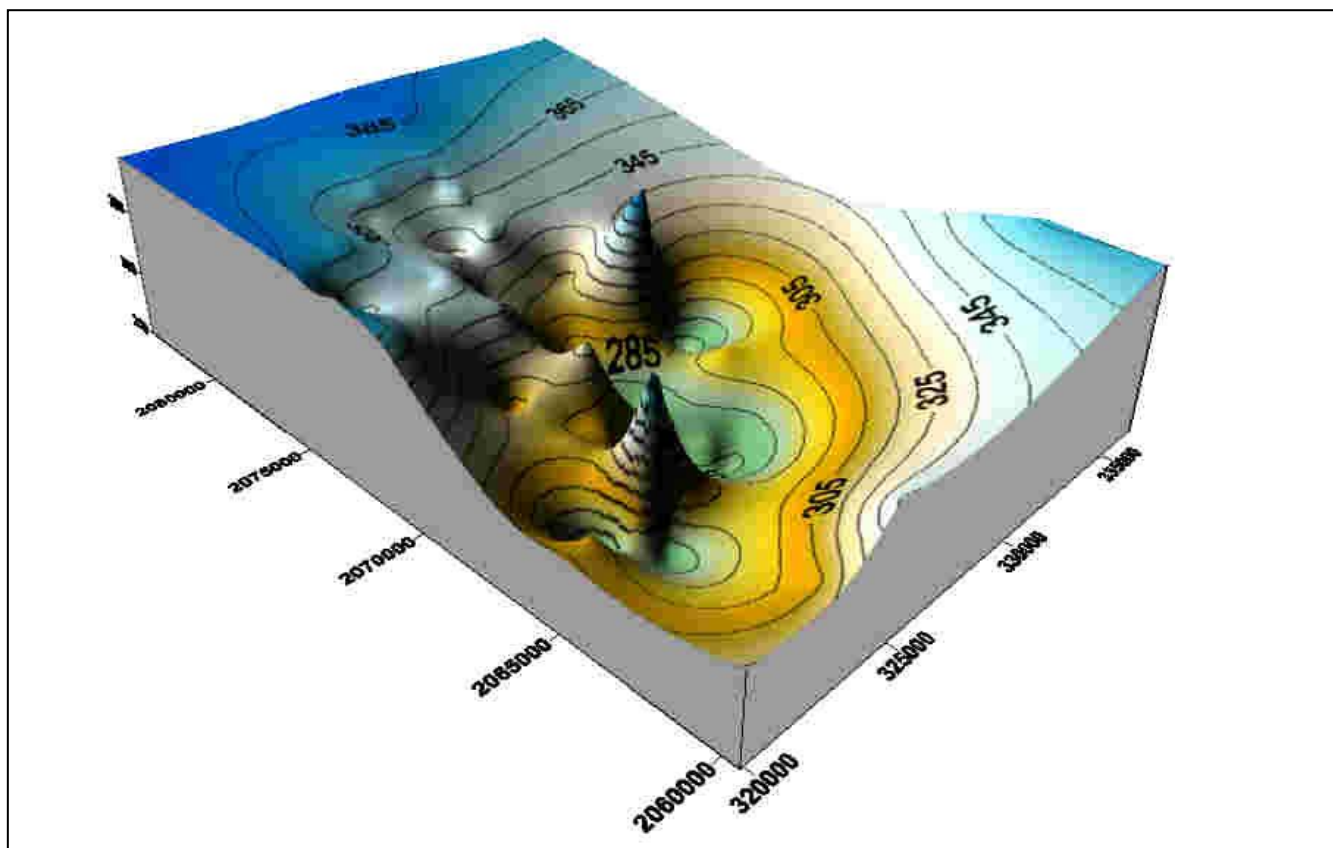


ANNEXE1 Figure 12:Cartographie de la concentration initiale en potassium de la nappe du Guezouman

D. Evolution piézométrique de la nappe du Tarat



ANNEXE1 Figure 13: Cartographie de la piézométrie du Tarat (Décembre 1990)



ANNEXE1 Figure 14: Cartographie 3D de la piézométrie du Tarat (Décembre 2000), mise en évidence des anomalies de mesures au niveau des piézomètres Arli_987_2, Arli_984_2

ANNEXE 2 : TABLEAUX

Annexe2 Tableau 1: Caractéristiques hydrodynamiques du Guezouman (avant 1984)

NOM_OUVRAGE	X_WGS84	Y_WGS84	Débit spécifique Qs (m3/h/m)	transmissivité T (m²/s)	Perméabilité P (m/s)	emmagasinement S
ARLI_0255_1	329863.14	2074289.98		7.85E-05	1.40E-06	5.10E-05
ARLI_0989_1	325449.65	2065453.01	4.24E-06			
ARLI_1115_1	327024.82	2069328.43		1.90E-05		
ARLI_1175_1	324124.5	2060377.46	1.00E-02	5.20E-06	1.50E-07	
ARLI_1186_1	321964.27	2055166.89	7.70E-03	6.00E-06	3.00E-07	
ARLI_165_2	326524.77	2078129.4	3.50E-01	1.50E-06	2.90E-06	4.40E-05
ARLI_2007_1	328645	2074769		1.40E-04	2.80E-06	5.10E-05
ARLI_2060_1	333325.51	2061727.6	8.20E-03	1.20E-05	3.20E-07	
ARLI_2063_1	330825.24	2064252.88	5.00E-03	4.40E-06	1.30E-07	
ARLI_2074_1	330025.15	2059127.32	9.30E-03	1.70E-05	5.30E-07	
ARLI_2079_2	329233.67	2074652.02	1.27E-01	8.60E-05	1.60E-06	
ARLI_2109_1	320750.44	2065010.96		9.70E-06		5.20E-05
ARLI_2117_1	321217.09	2063831.83	2.80E-03	1.80E-06		
ARLI_2121_1	321125.88	2065478.02		1.20E-05	8.00E-05	
ARLI_2132_1	323368.93	2063958.86	2.60E-03	2.30E-06		
ARLI_2151_1	323210.41	2066438.12	2.60E-03	2.30E-06		
ARLI_2165_1	321152.09	2065065.97	2.30E-02	1.00E-05	2.50E-07	
ARLI_2262_1	321551.43	2065400.01		3.00E-05		
ARLI_268_1	321520.00	2079040.00	4.00E-01	1.80E-04	2.60E-06	
ARLI_276_2	323800.00	2083551.00		1.40E-05		
ARLI_351_1	329205.00	2076469.00	2.10E-01	6.00E-05	1.00E-06	6.50E-05
MALA_285_2	340526.29	2070828.6		5.40E-05	1.50E-06	
MALA_285_3	340526.29	2070828.6		6.50E-05	1.80E-06	
MALA_427_2	339526.19	2062627.7	5.00E-01			
MOUR_111_1	336202.89	2075958.99	2.10E-01	1.00E-04	2.30E-06	2.50E-05
MOUR_92_1	331385.31	2085490.2	3.20E-01	1.40E-04	3.00E-06	4.20E-05
ARLI_2120_1	321569	2065093		1.30E-05		
ARLI_342_2	322910.30	2070838.00		1.80E-05		
ARLI_343_2	323584.40	2071025.00		3.80E-06	8.00E-07	
ARLI_1128_2	321124.19	2067268.21	9.30E-03	5.30E-06	7.20E-07	
ARLI_0256_2	329109.06	2074251.97		9.70E-05	1.90E-06	3.00E-05
MOYENNE			1.22E-01	4.10E-05	1.34E-06	4.50E-05
ECART TYPE			1.67E-01	4.98E-05	9.84E-07	1.29E-05
MEDIANE			9.65E-03	1.40E-05	1.20E-06	4.75E-05
MINIMUM			4.24E-06	1.50E-06	1.30E-07	2.50E-05
MAXIMUM			5.00E-01	1.80E-04	3.00E-06	6.50E-05

Annexe2 Tableau 2: Côtes piézométriques au Guezouman (Juillet 1970)

NOM_OUVRAGE	X_WGS84 (m)	Y_WGS84 (m)	Zpiezo (m)
ARLI_1128_2	321124.19	2067268.21	395.67
ARLI_1186_1	321964.27	2055166.89	415.86
ARLI_146_1	323764.00	2086610.00	391.83
ARLI_165_2	326524.77	2078129.4	393.32
ARLI_2060_1	333325.51	2061727.6	413.44
ARLI_268_1	321520.00	2079040.00	392.35
ARLI_351_1	329205.00	2076469.00	394.33
MALA_427_2	339526.19	2062627.7	411.96
MALA_439_1	344126.69	2057427.13	421.45
MALA_453_1	342626.52	2051226.45	422.10
MALA_478_1	341026.35	2059627.37	415.82
MALA_819_1	339826.22	2070728.59	407.35
MALA_887_1	331425.31	2052876.63	418.57
MOUR_111_1	336202.89	2075958.99	402.66
MOUR_84_1	337396.00	2082500.00	396.87
MOUR_89_2	334206.00	2083930.00	394.66
MOUR_92_1	331385.31	2085490.2	393.13

Annexe2 Tableau 3: Côtes piézométriques au Guezouman (Juillet_Septembre 2012)

NOM_OUVRAGE	X_WGS84 (m)	Y_WGS84 (m)	Zpiezo (m)
AFAW_3834_1	321611.00	2061782.00	195.68
ARLI_2007_1	328645.00	2074769.00	373.08
ARLI_2079_1	329244.00	2074660.00	376.73
ARLI_351_1	329205.00	2076469.00	375.32
MOUR_111_1	336202.89	2075958.99	400.01
MOUR_82_1	337486.00	2080900.00	421.27
ARLI_2120_1	321569.00	2065093.00	170.84

Annexe2 Tableau 4: Côtes piézométriques au Guezouman (1973, 1979)

OUVRAGES	X_WGS84 (m)	Y_WGS84 (m)	Zpiezo Juin 1973 (m)
ARLI_0255_1	329863.14	2074289.98	391.68
ARLI_0256_2	329109.06	2074251.97	390.92
ARLI_0989_1	325449.65	2065453.01	401.88
ARLI_1115_1	327024.82	2069328.43	395.17
ARLI_1128_2	321124.19	2067268.21	393.19
ARLI_1175_1	324124.5	2060377.46	407.95
ARLI_1186_1	321964.27	2055166.89	413.91
ARLI_146_1	323764.00	2086610.00	391.55
ARLI_165_2	326524.77	2078129.4	387.91
ARLI_2007	328645.00	2074769.00	390.57
ARLI_2060_1	333325.51	2061727.6	412.71
ARLI_2063_1	330825.24	2064252.88	411.00
ARLI_2074_1	330025.15	2059127.32	413.92
ARLI_2079_1	329244.00	2074660.00	390.83
ARLI_2079_2	329233.67	2074652.02	391.28
ARLI_2109	320750.44	2065010.96	395.13
ARLI_2117_1	321217.09	2063831.83	397.92
ARLI_2121_1	321125.88	2065478.02	395.17
ARLI_2132_1	323368.93	2063958.86	400.85
ARLI_2151_1	323210.41	2066438.12	395.76
ARLI_2165_1	321152.09	2065065.97	395.07
ARLI_2262_1	321551.43	2065400.01	395.37
ARLI_268_1	321520.00	2079040.00	388.20
ARLI_351_1	329205.00	2076469.00	390.80
FE_1	339926.23	2064927.95	392.06
MALA_285_2	340526.29	2070828.6	407.43
MALA_285_3	340526.29	2070828.6	407.84
MALA_427_2	339526.19	2062627.7	411.61
MALA_439_1	344126.69	2057427.13	421.24
MALA_444_1	343626.63	2054326.79	421.07
MALA_453_1	342626.52	2051226.45	421.23
MALA_478_1	341026.35	2059627.37	415.55
MALA_819_1	339826.22	2070728.59	407.28
MALA_887_1	331425.31	2052876.63	417.36
MALA_924_1	335625.76	2051526.49	417.78
MOUR_111	336202.89	2075958.99	402.76
MOUR_84_1	337396.00	2082500.00	396.85
MOUR_89_2	334206.00	2083930.00	394.59
MOUR_92_1	331385.31	2085490.2	392.93
MOUR_82_1	337486.00	2080900.00	399.64
ARLI_2120_1	321569.00	2065093.00	395.53
ARLI_0342_2	322910.30	2070838.00	391.29
ARLI_343_2	323584.40	2071025.00	392.19

OUVRAGES	X_WGS84 (m)	Y_WGS84 (m)	Zpiezo Dec 1979 (m)
ARLI_0255_1	329863.14	2074289.98	393.75
ARLI_0256_2	329109.06	2074251.97	384.37
ARLI_1128_2	321124.19	2067268.21	327.30
ARLI_1175_1	324124.5	2060377.46	389.53
ARLI_146_1	323764.00	2086610.00	390.38
ARLI_2007_1	328645.00	2074769.00	384.04
ARLI_2079	329244.00	2074660.00	384.43
ARLI_2079_2	329233.67	2074652.02	384.90
ARLI_2117	321217.09	2063831.83	287.02
ARLI_2132	323368.93	2063958.86	328.90
ARLI_2151_1	323210.41	2066438.12	260.40
ARLI_2165_1	321152.09	2065065.97	168.79
ARLI_2262_1	321551.43	2065400.01	175.19
ARLI_268_1	321520.00	2079040.00	382.07
ARLI_351_1	329205.00	2076469.00	384.84
MOUR_111	336202.89	2075958.99	402.10
MOUR_84_1	337396.00	2082500.00	396.72
MOUR_89_2	334206.00	2083930.00	394.28
MOUR_92_1	331385.31	2085490.2	392.33
MOUR_82_1	337486.00	2080900.00	399.47
ARLI_2120_1	321569.00	2065093.00	190.78
ARLI_343_2	323584.40	2071025.00	371.10

Annexe2 Tableau 5: Côtes piézométriques au Guezouman (1984, 1996, 2003)

OUVRAGES	X_WGS84 (m)	Y_WGS84 (m)	Zpiezo Juil 1984 (m)
ARLI_146_1	323764.00	2086610.00	388.91
ARLI_2007_1	328645.00	2074769.00	378.78
ARLI_2079_1	329244.00	2074660.00	382.22
ARLI_2079_2	329233.7	2074652	381.07
ARLI_2151_1	323210.4	2066438.1	236.37
ARLI_268_1	321520.00	2079040.00	374.37
ARLI_276_2	323800.00	2083551.00	330.91
ARLI_351_1	329205.00	2076469.00	379.93
MOUR_111	336202.89	2075958.99	401.50
MOUR_84_1	337396.00	2082500.00	396.57
MOUR_89_2	334206.00	2083930.00	393.97
MOUR_92_1	331385.3	2085490.2	391.66
MOUR_82_1	337486.00	2080900.00	399.27
ARLI_343_2	323584.40	2071025.00	356.61
ARLI_1128_2	321124.2	2067268.2	314.42

OUVRAGES	X_WGS84 (m)	Y_WGS84 (m)	Zpiezo Dec 1996 (m)
ARLI_1128_2	321124.2	2067268.2	306.01
ARLI_146_1	323764.00	2086610.00	387.65
ARLI_2007_1	328645.00	2074769.00	377.88
ARLI_2079_1	329244.00	2074660.00	381.19
ARLI_268_1	321520.00	2079040.00	375.60
ARLI_276_2	323800.00	2083551.00	384.51
ARLI_351_1	329205.00	2076469.00	379.46
MOUR_111	336202.89	2075958.99	400.28
MOUR_84_1	337396.00	2082500.00	395.72
MOUR_89_2	334206.00	2083930.00	392.88
MOUR_82_1	337486.00	2080900.00	398.39
ARLI_2120_1	321569.00	2065093.00	171.09

OUVRAGES	X_WGS84 (m)	Y_WGS84 (m)	Zpiezo Dec 2003 (m)
ARLI_146_1	323764.00	2086610.00	387.89
ARLI_2007_1	328645.00	2074769.00	376.26
ARLI_2079_1	329244.00	2074660.00	379.95
ARLI_268_1	321520.00	2079040.00	374.35
ARLI_276_2	323800.00	2083551.00	383.94
ARLI_351_1	329205.00	2076469.00	378.07
MOUR_111	336202.89	2075958.99	400.46
MOUR_89_2	334206.00	2083930.00	393.24
MOUR_82_1	337486.00	2080900.00	398.74
ARLI_2120	321569.00	2065093.00	171.29

Annexe2 Tableau 6: Chimie des eaux du Guezouman (avant 1970)

NOM OUVRAGE	conductivité (μS/cm)	pH	CO3H (ppm)	SO4 (ppm)	Cl (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	R.S (ppm)	DATE
MALA 310	870	7.7	338	240	28.0	9.0	2.0	225	5.0	847	NOV_1964 MARS_1965
MALA 379	901	8.4	252	256	36.0	12.0	8.0	196	4.0	764	
MALA 386	952	7.6	341	258	25.0	28.0	11.0	196	10.0	869	
MALA 395	943	7.7	318	256	30.0	32.0	10.0	182	21.0	849	
MALA 404	909	8.4	246	258	35.0	9.0	2.0	205	3.0	758	
MALA 423	971	8.3	302	200	28.0	11.0	1.0	194	6.0	742	
MALA 425	633	8.1	294	282	28.0	12.0	2.0	204	3.0	825	
MALA 470	870	8.5	339	226	36.0	9.0	2.0	239	2.0	854	
MALA 472	930	8.4	357	218	40.0	16.0	4.0	236	10.0	882	
MALA 478	833	8.4	317	235	27.0	13.0	2.0	222	9.0	831	
MALA 480	962	8.2	314	249	42.0	19.0	6.0	242	10.0	882	
MALA 482	1026	8.3	305	289	40.0	19.0	6.0	255	14.0	928	
MALA 493	952	8.3	337	256	38.0	12.0	2.5	252	12.0	912	
MALA 530	858	8.3	378	220	30.0	20.0	14.0	225	7.0	894	
MALA 542	635	8.3	350	110	21.0	13.0	45.0	188	4.5	691	
MALA 549	704	7.9	319	166	28.0	13.0	5.0	205	4.0	740	
MALA 560	1081	8.3	350	334	46.0	37.0	18.0	252	12.0	1049	
MALA 638	980	8.0	394	202	28.0	24.0	15.0	180	6.0	849	
MALA 663	676	8.8	332	116	21.0	12.0	5.0	151	5.0	647	
MALA 681	926	8.4	336	204	28.0	19.0	10.0	185	4.5	791	
MALA 684	858	8.2	354	244	32.0	18.0	12.0	187	7.5	854	
MALA 685	971	8.1	340	264	32.0	13.0	9.0	198	9.5	865	
MALA 704	995	8.3	309	262	34.0	34.0	4.0	187	9.0	839	
MALA 706	980	8.8	285	246	32.0	11.0	3.0	207	5.0	799	
MALA 707	913	8.8	300	216	28.0	12.0	2.5	191	8.0	767	
MALA 720	694	8.5	315	116	25.0	15.0	5.5	148	4.0	635	
MALA 726	637	8.6	324	98	19.0	13.0	5.0	135	4.5	605	
MALA 741	633	8.5	329	87	20.0	15.0	2.0	150	3.5	610	
MALA 748	847	8.6	364	158	24.0	11.0	8.0	169	4.0	743	
ARLI_178	1064	8.5	614	130	57.0	12.0	4.0	330	10.0	1165	AOUT_1965 JUIL_1966
ARLI_270	990	8.2	344	188	37.0	12.0	4.0	203	4.0	792	
ARLI_271	952	8.2	305	190	36.0	11.0	4.0	189	10.0	745	
MOUR_116	897	7.6	337	226	25.0	15.0	6.0	222	5.0	836	
MOUR_119	1124	8.7	361	286	35.0	40.0	12.0	244	16.0	1004	
ARLI_268	962	8.5	372	180	31.9	9.5	3.0	225	6.2	763	-
FE_1		-	335	121	18.1	12.0	5.5	162	4.1	494	-
ARLI_351		-	439	144	28.8	7.0	1.1	238	4.3	700	AVRIL 1968
MOUR_92		-	198	1075	28.8	50.6	103.1	230	16.0	1880	AVRIL 1968
MOUR_111		-	307	284	28.8	7.4	0.9	253	5.1	780	AVRIL 1968
MOYENNE	889	8.3	335	233	31.0	16.9	9.4	208	7.4	833	

Annexe2 Tableau 7: Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe Tarat

NOM OUVRAGE	X_WGS84	Y_WGS84	Débit spécifique Qs (m3/s/m)	Transmissivité T (m2/s)	Permeabilité P (m/s)	Emmagasi nement S
AFAW_0293_1	321 457.42	2 061 771.61		4.30E-06	1.95E-07	
AFAW_0442_1	323 324.00	2 060 452.00		9.40E-04	2.09E-05	
AFAW_0454_1	322 874.37	2 058 502.25		8.00E-06	2.40E-07	
AFAW_3929_1	321 457.00	2 061 771.00		4.30E-06	1.95E-07	
ARLI_1032_2	324525.95	2076594.24	26.6000	4.45E-04	1.80E-05	4.45E-05
AMTA_0009_1	333 280.13	2 070 586.95		1.35E-04	1.10E-06	8.45E-05
AMTA_0011_3	332 017.19	2 066 504.94		4.23E-04	9.91E-06	
ARLI_1128_3	320874.16	2067458.23		1.73E-04	3.45E-05	6.60E-05
ARLI_1128_4	321124.19	2067228.21		1.70E-04	1.10E-05	6.60E-05
ARLI_116_3	323 607.00	2 082 550.00		2.50E-03		
ARLI_1189_1	324374.53	2055126.87	0.38	1.37E-04	1.80E-06	
ARLI_1192_1	324 924.59	2 060 327.45		2.70E-04	8.40E-06	
ARLI_1193_2	324924.60	2059502.00	0.4	3.70E-04	8.40E-06	1.68E-04
ARLI_134_1	323981.96	2080437.79	4.33	6.50E-04	2.70E-05	1.00E-04
ARLI_164_2	327069.00	2078247.00	2	2.00E-03		
ARLI_167_1	324957.56	2077985.68		2.00E-04		
ARLI_167_2	324 943.00	2 077 992.00	12.5	1.20E-05		
ARLI_169	323 370.86	2 077 912.00	3.2	3.20E-03	6.00E-05	
ARLI_169_2	323 370.00	2 077 908.00		7.30E-04	1.90E-05	
ARLI_2002_1	330171.82	2075499.897	0.3897	4.00E-05	7.84E-07	8.70E-05
ARLI_2002_2	330 173.00	2 075 484.00	1.3994	2.60E-03	7.90E-05	5.00E-05
ARLI_2003_1	329792.4	2075494.37		9.00E-04	2.00E-05	4.00E-05
ARLI_2020_2	329 942.14	2 071 964.51	0.3897	4.00E-05	7.80E-07	8.70E-05
ARLI_2028_2	328 753.19	2 072 678.90	1.1965	3.10E-04	1.70E-05	
ARLI_2039_1	329 159.74	2 072 301.48	1.0000			
ARLI_2039_2	329 079.91	2 072 385.52	0.3600			
ARLI_2050_1	329 581.36	2 071 547.73		2.50E-04		8.70E-05
ARLI_2064_1	334870.68	2064627.92	0.3200	1.75E-04	3.47E-06	
ARLI_2065_2	336095.532	2064739.53	0.3000	1.26E-04	2.50E-06	
ARLI_2076_1	331 575.32	2 057 577.16		2.04E-04	9.27E-06	
ARLI_2077_1	330025.15	2063527.8	0.5000	4.37E-04	7.19E-06	
ARLI_2122_1	321 965.67	2 065 530.02		2.60E-04	5.90E-06	5.50E-05
ARLI_214_3	325 825.10	2 075 633.13	5.3000	1.90E-03	3.50E-05	1.00E-04
ARLI_214_4	325 774.69	2 075 629.13	3.2000	1.80E-03	3.30E-05	4.50E-04
ARLI_214_5	325 827.00	2 075 625.00	6.0000			
ARLI_2164_1	321253.89	2065176.99	0.4000	1.30E-04	2.80E-06	5.70E-05
ARLI_2179_2	321 834.00	2 065 728.00	0.4	1.30E-04	2.80E-06	
arli_248	325424.65	2073028.84		1.75E-03	3.70E-05	5.70E-04
ARLI_248_2	325157.4	2073359.22	3.4500	1.70E-03	3.60E-05	2.25E-03
ARLI_248_3	325 159.51	2 073 356.86	4.0444	2.10E-03	1.20E-04	

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DES AQUIFERES DE LA REGION D'ARLIT

NOM OUVRAGE	X_WGS84	Y_WGS84	Débit spécifique Qs (m3/s/m)	Transmissivité T (m²/s)	Permeabilité P (m/s)	Emmagasi nement S
ARLI_2673_1	323814.00	2083189.00		1.00E-02		
ARLI_2673_2	323808.00	2083185.00	3.5000	1.08E-02	4.50E-04	
ARLI_2674_1	323808.00	2082399.00		5.42E-03		3.70E-04
ARLI_2674_2	323881.00	2082399.00	7.5600	1.75E-03		
ARLI_2676_1	323905.00	2081642.00		1.10E-04		
arli_2721	323 141.85	2 069 981.68	2.5000	8.00E-04	1.80E-05	
ARLI_276_4	323 785.57	2 083 552.77		1.20E-03	8.30E-05	
ARLI_277_3	324 600.00	2 083 596.00	8.6600	6.00E-03	2.00E-04	8.50E-02
ARLI_295_2	326 976.00	2 071 929.00	0.9030	4.50E-04	1.10E-05	
ARLI_316_1	326374.75	2068478.35		3.20E-04		
ARLI_317_2	327 024.82	2 068 478.35	2.1000	5.20E-04	1.70E-05	
ARLI_424_3	329963.061	2071180.687	0.7400	1.50E-04		
ARLI_762_1	326931.86	2077759.04	4.0000			
ARLI_762_2	326 936.80	2 077 760.00	9.5700	3.00E-03		
ARLI_837_3	327 276.45	2 076 823.86	4.0000	9.00E-04		
ARLI_963_1	322182.81	2077464.46			2.00E-05	
ARLI_966_1	320933.57	2071494.27		4.25E-04	1.40E-05	
ARLI_970_1	324 965.82	2 072 963.03			3.20E-05	
ARLI_974_1	321 741.75	2 071 539.68			1.00E-05	
ARLI_984_2	321 146.00	2 065 076.00		2.75E-04	2.90E-05	4.70E-05
ARLI_987_2	323 374.00	2 065 328.00	0.1400	7.90E-05		
ARNI_114_1	320 893.66	2 073 988.25		1.40E-03	5.40E-05	5.40E-05
ARNI_115_1	321000.07	2073901.34		1.70E-03	4.70E-05	2.10E-05
ARNI_3044	320 179.88	2 074 544.81		0.000042	7.30E-07	
ARNI_3044_2	320179.88	2074544.81	0.0830	2.50E-05	4.00E-07	
ARNI_32_2	320976.37	2073995.15	1.9000	1.11E-03	3.00E-05	
ARNI_338_2	320 568.00	2 071 487.00		2.10E-05	4.70E-07	1.40E-05
ARNI_386_1	320409.11	2071152.84	0.0540	1.80E-05	2.90E-07	
ARNI_391_1	318 750.53	2 070 282.74	0.6100	3.00E-03	1.30E-05	
ARNI_494_1	320985.77	2074042.65		1.20E-03	4.10E-05	1.30E-05
ARNI_496_1	321036.77	2073997.35		1.60E-03	4.10E-05	5.20E-05
ARNI_611_2	320901.56	2073661.01		8.00E-03	2.51E-05	
ARNI_614_2	321084.08	2073675.72		9.80E-04	2.58E-05	
ARNI_800_1	322478.03	2073027.44	3.8000	1.00E-03		1.00E-04
ARNI_900_1	321964.406	2075375.146	0.9200	5.00E-05		1.00E-05
ARNI_900_2	321960.88	2075407.21		5.00E-05		1.00E-03
ARNI_911_2	319893.43	2072937.75	0.3000	1.37E-04	1.26E-06	
ARNI_944_1	320262.59	2071457.67		2.40E-05	2.60E-07	7.40E-05
AT_2323	324 919.20	2 078 270.00	0.0004	6.80E-04	1.80E-05	
AT_2324	324 713.30	2 077 831.00		3.40E-04	1.10E-05	
AT_2329	325 878.00	2 080 580.00		1.40E-03	2.80E-05	
AT_41_2	324200.082	2077456.463		1.00E-03	2.30E-05	

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DES AQUIFERES DE LA REGION D'ARLIT

NOM OUVRAGE	X_WGS84	Y_WGS84	Débit spécifique Qs (m3/s/m)	Transmissivité T (m²/s)	Permeabilité P (m/s)	Emmagasi nement S
COMI 12	325 396.84	2 067 265.40	1.6953	2.90E-04	8.50E-06	
COMI 13	327075.00	2068696.00	2.3500	6.90E-04		7.00E-04
COMI 16	326 881.00	2 066 491.00		1.10E-03	2.10E-05	
COMI 17	326 060.42	2 070 401.31	1.3410	2.20E-04	5.10E-05	
COMI 2	320954.00	2065768.00		3.10E-04	5.95E-05	
COMI 20	327 876.00	2 066 584.00	0.3897	3.10E-04	5.60E-06	
COMI 22	325 760.10	2 071 400.58	1.6823	1.00E-03	3.80E-05	
COMI 23	326 567.32	2 069 353.21	2.0554	1.00E-03	2.60E-05	
COMI 24	324 607.29	2 066 358.44	1.1467	1.50E-04	3.30E-06	
COMI 3	320961.00	2065648.00		4.50E-04		3.80E-05
COMI 39	328 462.15	2 066 194.59		6.20E-04	1.20E-05	
COMI 41 bis	328 410.23	2 065 632.23		1.00E-03	2.30E-05	
COMI 5	325241.50	2069130.00		2.60E-04		
COMI 6	324925.00	2068729.00		2.50E-04		
COMI 7	322 894.00	2 067 654.00	2.0000	9.50E-04		
COMI_31	321 797.00	2 061 710.00			7.50E-06	
COMI_38	322 068.80	2 060 545.00		1.70E-04	5.60E-06	
COMI_44	329 372.00	2 063 076.00		1.90E-04	9.60E-07	
mala_266_2	336669.324	2063048.968	3.1000			
MOUR_128_1	330395.72	2075024.01		5.50E-04	8.50E-06	6.00E-05
MOUR_147_1	332700.68	2077450.77				6.40E-05
PR2(TAMT2)	320 706.80	2 071 389.00		3.40E-04	1.70E-05	1.20E-03
SMTT	323 144.05	2 069 979.89		1.20E-04	4.60E-06	
Tarat_01	329 668.21	2 062 117.87		5.40E-04	1.00E-05	
MOYENNE			2.7886	1.07E-03	2.77E-05	2.74E-03
ECART TYPE			4.2257	1.85E-03	5.61E-05	1.45E-02
MEDIANE			1.6370	4.31E-04	1.55E-05	7.00E-05
MINIMUM			0.0004	4.30E-06	1.95E-07	1.00E-05
MAXIMUM			26.6000	1.08E-02	4.50E-04	8.50E-02

Annexe2 Tableau 8: Côtes piézométriques au Tarat (Dec 1968)

OUVRAGES	X_WGS84 (m)	Y_WGS84 (m)	Zpiezo Dec 1968 (m)
ARLI_222	327958.67	2080713.94	393.35
ARLI_298	327598.89	2070348.55	395.26
ARLI_363	325388.37	2077209.27	393.64
ARLI375_2	324831.39	2076549.51	393.68
ARLI445	321122.28	2075013.87	394
ARLI475	323840.08	2075731.37	393.67
ARLI_536_2	322334.12	2075940.47	393.48
ARLI_963	322182.81	2077464.46	393.46
ARLI_966	320933.57	2071494.27	394.52
ARLI_1128_3	320874.16	2067458.23	395.09
ARLI_2077	330025.15	2063527.8	397.7
MALA_266_2	336669.324	2063048.968	401.15
MOUR_147	332700.68	2077450.77	394.58

Annexe2 Tableau 9: Côtes piézométriques au Tarat (Mars 2013)

OUVRAGES	X_WGS84 (m)	Y_WGS84 (m)	Zpiezo Dec 1968 (m)
AN 3 bis	326 810.00	2 076 280.00	359.88
AFAW_0442_1	323 324.00	2 060 452.00	277.83
AFAW_3929_1	321 457.00	2 061 771.00	251.41
AMTA_0002_1	320 527.30	2 062 382.38	384.204
AMTA_0006_1	319 881.92	2 068 817.32	377.867
ARLI 169_2	323 370.00	2 077 908.00	354.98
ARLI 164_2	327069.00	2078247.00	369.32
ARLI 182_1	325 091.67	2 074 818.18	340.01
ARLI 2002_2	330 173.00	2 075 484.00	345.03
ARLI 2020_2	329 942.14	2 071 964.51	293.44
ARLI 2028_2	328 753.19	2 072 678.90	246.92
ARLI 2039_2	329 079.91	2 072 385.52	310.72
ARLI 248_3	325 159.51	2 073 356.86	321.9
ARLI 252_2	328 293.21	2 073 459.06	310.64
ARLI 295_2	326 976.00	2 071 929.00	296.87
ARLI 424_3	329963.061	2071180.687	302.31
ARLI 762_2	326 936.80	2 077 760.00	365.12
ARLI 836_1	327208.00	2077763.00	364.66
ARLI 837_2	327269.64	2076825.85	361.81
ARLI 837_3	327 276.45	2 076 823.86	361.86
ARLI_2179_2	321 834.00	2 065 728.00	240.51
ARLI_987_2	323 374.00	2 065 328.00	389.81
AT 132	324349.00	2077804.00	355.76
AT 136_2	325 346.30	2 077 608.00	353.3
AT 169_1	324250.00	2078304.00	357.83
AT 173_1	324 843.90	2 077 705.00	356.22
AT 340_2	325 403.30	2 077 657.00	357.77
AT 342_2	325 204.40	2 077 653.00	357.5
AT 344_2	325 005.50	2 077 655.00	357.84
AT 422_2	324 904.50	2 077 554.00	369.3
AT 552_1	325 350.10	2 077 854.00	356.68
AT 769_2	324 878.16	2 077 753.67	356.05
AT 942_1	324 924.70	2 077 304.00	356.54
AT 1144	324 749.30	2 077 256.00	368.63
AT 1328	324 474.90	2 077 081.00	360.23
AT 1429	324 648.90	2 077 182.00	354.76
AT 1590	325 079.10	2 078 135.00	354.94
AT 1596	325 129.80	2 077 960.00	355.63
AT 1687	323 624.60	2 079 230.00	356.93
AT 1745	324 925.00	2 078 629.00	356.96
AT 1750	324 774.30	2 078 130.00	355.09
AT 1779	325 224.80	2 078 630.00	357.8
AT 1793	324 924.60	2 078 380.00	354.65
AT 1802	324 825.30	2 078 830.00	357.5
AT 1827	325 271.40	2 078 830.00	359.47
AT 1860	324 424.50	2 077 579.00	366.78
AT 2005	325 024.40	2 078 354.00	355.32
AT 2354_2	324 149.78	2 077 029.63	346.95
AT 1625	323 624.60	2 079 230.00	363.29
AT 1733	324 400.60	2 079 400.00	363.13
AT 2323	324 919.20	2 078 270.00	338.58
AT 2324	324 713.30	2 077 831.00	354.25
AT 2325	324 849.90	2 078 780.00	353.8
AT 2326	324 027.20	2 079 032.00	359.25
AT 2327	324 574.50	2 079 380.00	350.27
AT 2328	325 606.20	2 079 767.00	350.69
AT 41_2	324200.082	2077456.463	350.01
COMI 1	325 481.00	2 069 654.00	347.58
COMI 10	323 124.41	2 064 597.92	265.93

OUVRAGES	X_WGS84 (m)	Y_WGS84 (m)	Zpiezo Dec 1968 (m)
COMI 11	322 724.36	2 064 057.87	265.98
COMI 12	325 396.84	2 067 265.40	274.256
COMI 15	324 255.95	2 067 794.59	280.67
COMI 16	326 881.00	2 066 491.00	271.13
COMI 17	326 060.42	2 070 401.31	270.301
COMI 20	327 876.00	2 066 584.00	251.1
COMI 22	325 760.10	2 071 400.58	303.909
COMI 23	326 567.32	2 069 353.21	267.103
COMI 24	324 607.29	2 066 358.44	276.385
COMI 30	329 444.00	2 068 337.58	282.191
COMI 36	322 047.00	2 060 853.00	256.571
COMI 38	322 068.80	2 060 545.00	264.3
COMI 39	328 462.15	2 066 194.59	245.669
COMI 40	321 859.60	2 061 422.00	272.82
COMI 41 bis	328 410.23	2 065 632.23	411.419
COMI 44	329 372.00	2 063 076.00	221.08
COMI 7	322 894.00	2 067 654.00	334.67
COMI 8	323 297.00	2 068 015.00	288.41
COMI 9 bis	323 698.00	2 068 343.00	302.87
PT 10	326 691.70	2 075 864.00	355.84
PT 11	327 737.00	2 076 037.00	358.84
PT 12	327 475.80	2 075 496.85	354.64
PT 13	325 862.77	2 075 130.35	348.63
PT 14	327 462.00	2 074 654.00	348.86
PT 15	326 685.04	2 077 466.19	363.76
PT 3	320 529.80	2 071 386.00	353.91
PT 7	326 539.60	2 076 372.00	358.28
PT 8	327 224.60	2 077 229.00	361.16
PT 9	325 958.70	2 075 502.00	350.44
SMTT	323 144.05	2 069 979.89	288.853
TA 2778	320 600.50	2 075 150.00	373.71
TA 3018	321 649.50	2 075 551.00	372.65
TA 3092	321 976.00	2 075 674.00	369.96
TA 3417	320 475.00	2 075 526.00	373.43
TA 3547	321 423.00	2 074 825.00	376.29
TA 3568	321 424.40	2 075 925.00	376.26
TA 3700	321 974.80	2 076 127.00	367.43
TA 3701	322 025.50	2 076 126.00	367.35
TA 3716	321 898.80	2 074 951.00	375.93
TAM 1923	322 299.06	2 072 279.10	341.1
TAM 2002	322549.26	2072228.61	341.19
TAM 2035	322 349.30	2 072 428.98	350.72
TAM 2079	322 049.11	2 072 178.79	345.88
TAM 2129	321 973.81	2 072 003.69	343.64
TAM 2146	322 299.30	2 072 078.95	342.64
TAM 2230	321 947.29	2 071 578.67	346.4
TAM 2248	322 223.52	2 071 703.80	339.58
TAM 2371	322 049.22	2 071 803.43	339.38
Tam 626	320 523.90	2 072 278.00	330.78
TAMRI 193	324 861.96	2 072 691.95	331.34
TAMRI 214	324 260.30	2 072 892.73	356.18
TAMRI 220	324 560.05	2 072 895.38	333.75
TAMRI 232	324 261.27	2 073 298.04	357.71
TAMT12 ou PR17	319 996.00	2 072 001.00	369
TAMT2 ou PR2	320 706.80	2 071 389.00	343.75
TAMT3 ou PR3	320 529.80	2 071 386.00	354.42
TAMT5 ou PR6	320 949.60	2 072 400.00	348.87
TAMT6 ou PR8	320 473.00	2 072 683.00	326.66
TAMT7 ou PR9	320 475.90	2 072 631.00	311.56
Tarat_001	329 668.21	2 062 117.87	261.448

Annexe2 Tableau 10: Côtes piézométriques au Tarat (Dec 1980)

OUVRAGES	X_WGS84 (m)	Y_WGS84 (m)	Zpiezo Dec 1980 (m)
AI_420	323930.99	2076784.26	352.08
AI_432	323413.03	2076217.19	379.34
ARLI_1100	320734.80	2065408.00	255.41
ARLI_1128_3	320874.16	2067458.23	319.38
ARLI_1128_4	321124.19	2067228.21	319.34
ARLI_114_2	322243.00	2082684.00	391.98
ARLI_116_3	323607.00	2082550.00	390.88
ARLI_117_2	324628.00	2082835.00	391.28
ARLI_1193_2	324924.60	2059502.00	362.33
ARLI_122_2	325401.45	2082905.93	391.72
ARLI_124_2	327016.52	2083032.86	392.48
ARLI_134	323981.96	2080437.79	388.89
ARLI_164_2	327069.00	2078247.00	361.4
ARLI_167_1	324957.56	2077985.68	385.95
ARLI_171_2	323931.27	2081240.01	390.46
ARLI_180	323481.84	2074722.93	376.42
ARLI_182	325 091.67	2 074 818.18	368.95
ARLI_2002	330171.82	2075499.897	372.79
ARLI_2065_2	336095.532	2064739.53	379.72
ARLI_2077	330025.15	2063527.8	337.1
ARLI_214_3	325825.1	2075633.13	368.1
ARLI_2164	321253.89	2065176.99	250.95
ARLI_2179_2	321834	2065728	267.94
ARLI_232_2	323884.168	2082033.481	390.95
ARLI_233_2	324705.00	2082080.00	391.01
ARLI_248_2	325157.4	2073359.22	360.46
ARLI_248_3	325 159.51	2 073 356.86	352.64
ARLI_252_2	328293.213	2073459.061	328.28
ARLI_2618	322821.3	2069436.55	329.43
ARLI_2673	323814.00	2083189.00	390.65
ARLI_2673_2	323808.00	2083185.00	390.59
ARLI_2674	323808.00	2082399.00	390.91
ARLI_2674_2	323881.00	2082399.00	390.81
ARLI_2675	323474.00	2081880.00	391.09
ARLI_2676	323905.00	2081642.00	390.7
ARLI_2677	323541.00	2081222.00	390.71
ARLI_277_2	324597.479	2083613.554	391.61
ARLI_277_3	324 600.00	2 083 596.00	391.6
ARLI_316	326374.75	2068478.35	316.81
ARLI_338_2	320567.53	2071487.07	380.29
ARLI_424_3	329963.061	2071180.687	275.95
ARLI_445	321122.28	2075013.87	387.91
ARLI_475	323840.08	2075731.37	375.01
ARLI_536_2	322334.31	2075941.16	388.11

OUVRAGES	X_WGS84 (m)	Y_WGS84 (m)	Zpiezo Dec 1980 (m)
ARLI_760	322506.49	2073009.45	370.37
ARLI_762	326931.86	2077759.04	379.37
ARLI_836	327208.00	2077763.00	379.61
ARLI_837_2	327269.64	2076825.85	370.05
ARLI_837_3	327276.452	2076823.856	364.31
ARLI_944	320262.59	2071457.67	384.15
ARNI_115	321000.07	2073901.34	383.84
ARNI_16	321724.00	2071937.00	367
ARNI_197	322348.02	2073480.3	372.81
ARNI_224	320998.27	2070344.35	354.6
ARNI_278	322065.89	2075278.49	388.85
ARNI_3044_2	320179.88	2074544.81	386.51
ARNI_32_2	320976.37	2073995.15	384.15
ARNI_386	320409.11	2071152.84	381.15
ARNI_445	321122.00	2075014.00	387.41
ARNI_494	320985.77	2074042.65	384.19
ARNI_496	321036.77	2073997.35	384.12
ARNI_611_2	320901.56	2073661.01	382.02
ARNI_614_2	321084.08	2073675.72	382.65
ARNI_798	322451.43	2073055.85	370.87
ARNI_800	322478.03	2073027.44	370.63
ARNI_900	321964.406	2075375.146	389.14
ARNI_900_2	321960.88	2075407.21	389.14
ARNI_911_2	319893.43	2072937.75	385.44
AT_132	324349.00	2077804.00	385.33
AT_137	325549.07	2077604.36	380.95
AT_169	324250.00	2078304.00	382.12
AT_41	324196.55	2077453.74	350.08
AT_65	324446.52	2077011.12	384.21
COMI1	325481.00	2069654.00	289.98
COMI10	323124.41	2064597.92	288.33
COMI11	322724.36	2064057.87	290.04
COMI12	325396.837	2067265.397	290.48
COMI13	327075.00	2068696.00	318.75
COMI2	320954.00	2065768.00	283.71
COMI3	320961.00	2065648.00	262.68
COMI4	321079.00	2066438.00	280.2
COMI5	325241.50	2069130.00	284.46
COMI6	324925.00	2068729.00	275.06
COMI7	322894.00	2067654.00	299.65
COMI8	323297.00	2068015.00	310.64
MALA_266_2	336669.324	2063048.968	394.59
MOUR_128	330395.72	2075024.01	377.53
MOUR_147	332700.68	2077450.77	392.08

Annexe2 Tableau 11: Côtes piézométriques au Tarat (Dec 1990)

OUVRAGES	X_WGS84 (m)	Y_WGS84 (m)	Zpiezo Dec 1980 (m)
ARLI_114_2	322243.00	2082684.00	389.64
AFAW_0442	323 324.00	2 060 452.00	290.01
ARLI_116_3	323 607.00	2 082 550.00	380.31
ARLI_117_2	324 628.00	2 082 835.00	387.32
ARLI_164_2	327069.00	2078247.00	355.85
ARLI_167	324957.56	2077985.68	378.05
ARLI_169_2	323 370.00	2 077 908.00	365.24
ARLI_182	325 091.67	2 074 818.18	359.407
ARLI_184_2	326 687.00	2 075 076.00	358.32
ARLI_2002_2	330 173.00	2 075 484.00	354.27
ARLI_2028_2	328 753.19	2 072 678.90	312.2
ARLI_2039_2	329 079.91	2 072 385.52	320.3
ARLI_2065_2	336 095.53	2 064 739.53	370.138
ARLI_214_3	325 825.10	2 075 633.13	360.53
ARLI_214_5	325 827.00	2 075 625.00	349.6
ARLI_222_2	327 964.00	2 080 715.00	388.29
ARLI_232_2	323884.168	2082033.481	385.96
ARLI_233_2	324705.00	2082080.00	386.29
ARLI_248_3	325 159.51	2 073 356.86	329.822
ARLI_252_2	328 293.21	2 073 459.06	310.96
ARLI_2673	323814.00	2083189.00	386.92
ARLI_2673_2	323808.00	2083185.00	386.22
ARLI_2674	323808.00	2082399.00	384.74
ARLI_2674_2	323881.00	2082399.00	382.84
ARLI_2675	323474.00	2081880.00	386.26
ARLI_2676	323905.00	2081642.00	385.77
ARLI_2677	323541.00	2081222.00	385.72
ARLI_276_5	323 786.00	2 083 553.00	388.26
ARLI_277_2	324597.479	2083613.554	388.28
ARLI_277_3	324 600.00	2 083 596.00	388.25
ARLI_295_2	326 976.00	2 071 929.00	291.07
ARLI_424_3	329963.061	2071180.687	238.77

OUVRAGES	X_WGS84 (m)	Y_WGS84 (m)	Zpiezo Dec 1980 (m)
ARLI_762_2	326 936.80	2 077 760.00	372.24
ARLI_836	327208.00	2077763.00	371.67
ARLI_837_2	327 269.64	2 076 825.85	363.62
ARLI_837_3	327 276.45	2 076 823.86	358.979
ARLI_984_2	321 146.00	2 065 076.00	314.71
ARNI_16	321 724.00	2 071 937.00	358.28
ARNI_3044_2	320179.88	2074544.81	383.7
ARNI_386	320409.11	2071152.84	377.74
ARNI_445	321122.00	2075014.00	380.05
ARNI_611_2	320901.56	2073661.01	359.23
ARNI_614_2	321084.08	2073675.72	358.32
ARNI_900	321964.406	2075375.146	382.67
ARNI_911_2	319893.43	2072937.75	385.02
AT_132	324349.00	2077804.00	371.82
AT_169	324250.00	2078304.00	374.77
COMI_1	325 481.00	2 069 654.00	285.6
COMI_10	323 124.41	2 064 597.92	274.4
COMI_11	322 724.36	2 064 057.87	278.8
COMI_2	325 396.84	2 067 265.40	263.896
COMI_15	324 255.95	2 067 794.59	265.47
COMI_16	326 881.00	2 066 491.00	268.95
COMI_17	326 060.42	2 070 401.31	263.94
COMI_18	323 271.00	2 069 603.00	316.03
COMI_19	326 881.00	2 066 091.00	280.99
COMI_20	327 876.00	2 066 584.00	272.58
COMI_21	326 235.00	2 067 981.00	251.64
COMI_22	325 760.10	2 071 400.58	308.589
COMI_23	326 567.32	2 069 353.21	261.683
COMI_24	324 607.29	2 066 358.44	287.975
COMI_7	322 894.00	2 067 654.00	302.6
COMI_9_2	323 698.00	2 068 343.00	305
MALA_266_2	336 669.32	2 063 048.97	385.103
SMTT	323 144.05	2 069 979.89	283.623

Annexe2 Tableau 12: Côtes piézométriques au Tarat (Dec 2000)

OUVRAGES	X_WGS84 (m)	Y_WGS84 (m)	Zpiezo Dec 1980 (m)
ARLI_114_2	322243.00	2082684.00	388.07
AFAW_0442_1	323 324.00	2 060 452.00	301.13
ARLI_116_3	323 607.00	2 082 550.00	386.56
ARLI_117_2	324 628.00	2 082 835.00	386.77
ARLI_1193_2	324 924.60	2 059 502.00	348.94
ARLI_164_2	327069.00	2078247.00	372.50
ARLI_167	324957.56	2077985.68	371.78
ARLI_167_2	324 943.00	2 077 992.00	372.02
ARLI_182	325 091.67	2 074 818.18	348.867
ARLI_184_2	326 687.00	2 075 076.00	351.92
ARLI_2050_2	329 587.10	2 071 547.68	396.81
ARLI_2065_2	336 095.53	2 064 739.53	363.928
ARLI_214_5	325 827.00	2 075 625.00	328.3
ARLI_2179_2	321 834.00	2 065 728.00	245
ARLI_222_2	327 964.00	2 080 715.00	386.97
ARLI_232_2	323884.168	2082033.481	385.68
ARLI_233_2	324705.00	2082080.00	385.55
ARLI_248_3	325 159.51	2 073 356.86	414.73
ARLI_252_2	328 293.21	2 073 459.06	309.4
ARLI_2673_1	323814.00	2083189.00	386.9
ARLI_2673_2	323808.00	2083185.00	386.31
ARLI_2674_1	323808.00	2082399.00	386.23
ARLI_2674_2	323881.00	2082399.00	386.15
ARLI_2675_1	323474.00	2081880.00	385.55
ARLI_2676_1	323905.00	2081642.00	384.87
ARLI_2677_1	323541.00	2081222.00	383.19
ARLI_276_5	323 786.00	2 083 553.00	387.51
ARLI_277_2	324597.479	2083613.554	387.25
ARLI_277_3	324 600.00	2 083 596.00	387.25
ARLI_295_2	326 976.00	2 071 929.00	294.75
ARLI_424_3	329963.061	2071180.687	244.93
ARLI_762_2	326 936.80	2 077 760.00	357.97
ARLI_836_1	327208.00	2077763.00	366.67
ARLI_837_2	327 269.64	2 076 825.85	362.49
ARLI_837_3	327 276.45	2 076 823.86	354.429
ARLI_984_2	321 146.00	2 065 076.00	302.3

OUVRAGES	X_WGS84 (m)	Y_WGS84 (m)	Zpiezo Dec 1980 (m)
ARLI_987_2	323 374.00	2 065 328.00	389.55
ARNI_16_1	321 724.00	2 071 937.00	358.13
ARNI_3044_2	320179.88	2074544.81	381.68
ARNI_386_1	320409.11	2071152.84	374.1
ARNI_445_1	321122.00	2075014.00	375.37
ARNI_611_2	320901.56	2073661.01	352.63
ARNI_614_2	321084.08	2073675.72	351.57
ARNI_900_1	321964.406	2075375.146	378.54
ARNI_911_2	319893.43	2072937.75	384.96
AT_132_1	324349.00	2077804.00	367.86
AT_169_1	324250.00	2078304.00	371.22
AT_41_2	324200.082	2077456.463	358.8
COMI_1	325 481.00	2 069 654.00	333.5
COMI_10	323 124.41	2 064 597.92	269.8
COMI_11	322 724.36	2 064 057.87	269.77
COMI_2	325 396.84	2 067 265.40	258.716
COMI_15	324 255.95	2 067 794.59	298.58
COMI_16	326 881.00	2 066 491.00	275.16
COMI_17	326 060.42	2 070 401.31	271.06
COMI_18	323 271.00	2 069 603.00	314.67
COMI_19	326 881.00	2 066 091.00	259.3
COMI_20	327 876.00	2 066 584.00	265.7
COMI_21	326 235.00	2 067 981.00	280.85
COMI_22	325 760.10	2 071 400.58	300.229
COMI_23	326 567.32	2 069 353.21	264.193
COMI_24	324 607.29	2 066 358.44	263.395
COMI_29	324 250.37	2 071 711.65	348.76
COMI_30	329 444.00	2 068 337.58	295.781
COMI_7	322 894.00	2 067 654.00	309.67
COMI_9_2	323 698.00	2 068 343.00	300.21
MALA_266_2	336 669.32	2 063 048.97	377.233
SMTT	323 144.05	2 069 979.89	292.573
TO_2031	323 866.91	2 073 246.61	359.29
TO_2074	323 417.07	2 073 246.24	360.08
TO_2147	323 866.94	2 073 546.46	360.05
TO_2180_2	323 367.00	2 073 446.00	353.9
TO_2331	323 616.24	2 073 696.63	361.69

ANNEXE 3 : NORMES ET DIRECTIVES DE POTABILITE DES EAUX

Annexe3 Tableau 1: Récapitulatif des normes et directives OMS et/ou nigériennes

Eléments chimiques	Symboles chimiques	Unités	OMS 2011	Normes nigériennes 2004
Alpha total	α	Bq/L	0,5*	0.1
Aluminium	Al	mg/l	0,1 - 0,2 - 0,9(*)	-
Ammonium	NH_4^+	mg/l	1,5 - 35	-
Argent	Ag	mg/l	0.1	0.001
Arsenic	As	mg/l	0,01*	Pas de norme
Baryum	Ba	mg/l	0,7*	0.01
Béta total	β	Bq/L	1*	1
Cadmium	Cd	mg/l	0,003*	0.005
Calcium	Ca^{++}	mg/l	200	75 - (t) : 200
Carbonates	CO_3^{--}	mg/l	-	-
Chlorure	Cl^-	mg/l	250	250 - (t) : 600
Chrome	Cr	mg/l	0,05*	0.05
Cobalt	Co	mg/l	-	-
COD		mgC/l	-	-
Cuivre	Cu	mg/l	2*	1 - (t) : 1,5
Etain	Sn	mg/l	-	-
Fer	Fe	mg/l	0,3 - 2(*)	0,3 - (t) : 1
Fluorure	F^-	mg/l	1,5*	1.5
Hydrogénocarbonates	HCO_3^-	mg/l	-	-
Magnésium	Mg^{++}	mg/l	50	50 - (t) : 150
Manganèse	Mn	mg/l	0,1 - 0,4(*)	0,1 - (t) : 0,5
Mercure	Hg	mg/l	0,006*	0.001
Molybdène	Mo	mg/l	0.07	-
Nickel	Ni	mg/l	0,07*	-
Nitrate	NO_3^-	mg/l	50*	45
Nitrite	NO_2^-	mg/l	-	-
OrthoPhosphate	PO_4^{3-}	mg/l	-	-
pH			6,5 - 8,5	6,5 - 8,5 (t) 9,2
Plomb	Pb	mg/l	0,01*	0.05
Potassium	K^+	mg/l	-	-
Radium 226	Ra^{226}	Bq/L	-	-
Sélénium	Se	mg/l	0,04*	0.01
Silice	SiO_2 (aq)	mg/l	-	-
Silicium	Si	mg/l	-	-
Sodium	Na^+	mg/l	-	-
Sulfates	SO_4^{--}	mg/l	250 - 500	200 - (t) : 400
minéralisation totale	TDS	mg/l	600	
Température	T	°C	-	25
turbidité		NTU		5

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DES AQUIFERES DE LA REGION D'ARLIT

Uranium	U	mg/l	0,03*	-
Vanadium **	V	mg/l	-	-
Zinc	Zn	mg/l	3	5 - (t) : 15
* : Valeurs limites d'importance pour la santé des personnes (OMS, éléments toxiques)				
(t) : tolérable				
**: valeur seuil d'intervention aux Pays-Bas: 0,1 mg/L				
- : pas de norme proposée				

Sources du tableau récapitulatif:

- Arrêté n° 141/MSP/LCE/DGSP/DS du 27 septembre 2004 fixant les normes de potabilité de l'eau de boisson
- Journal Officiel de la République du Niger JO n° 8 du 15 avril 2005 - pp. 297-299 World Health Organization (2011) Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth Edition - 564 bp

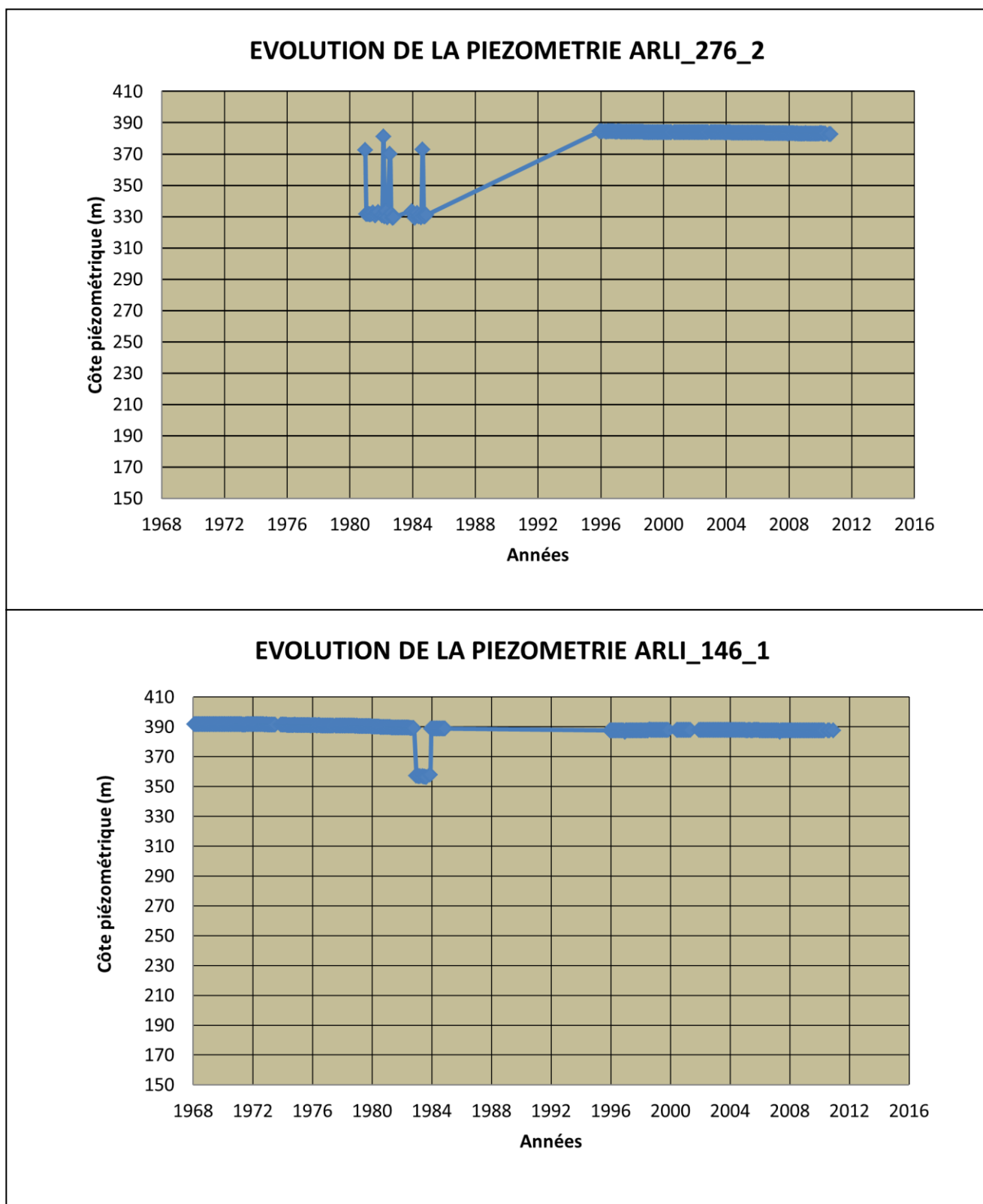
Annexe3 Tableau 2:Classe Conductivité électrique(CE) Indice de salinité

Classe 1 (C1)	250 μS/cm	basse salinité
Classe 2 (C2)	250 μS/cm à 750 μS/cm	salinité modéré
Classe 3 (C3)	750 μS/cm à 2250 μS/cm	haute salinité
Classe 4 (C4)	au-dessus de 2250 μS/cm	très haute salinité

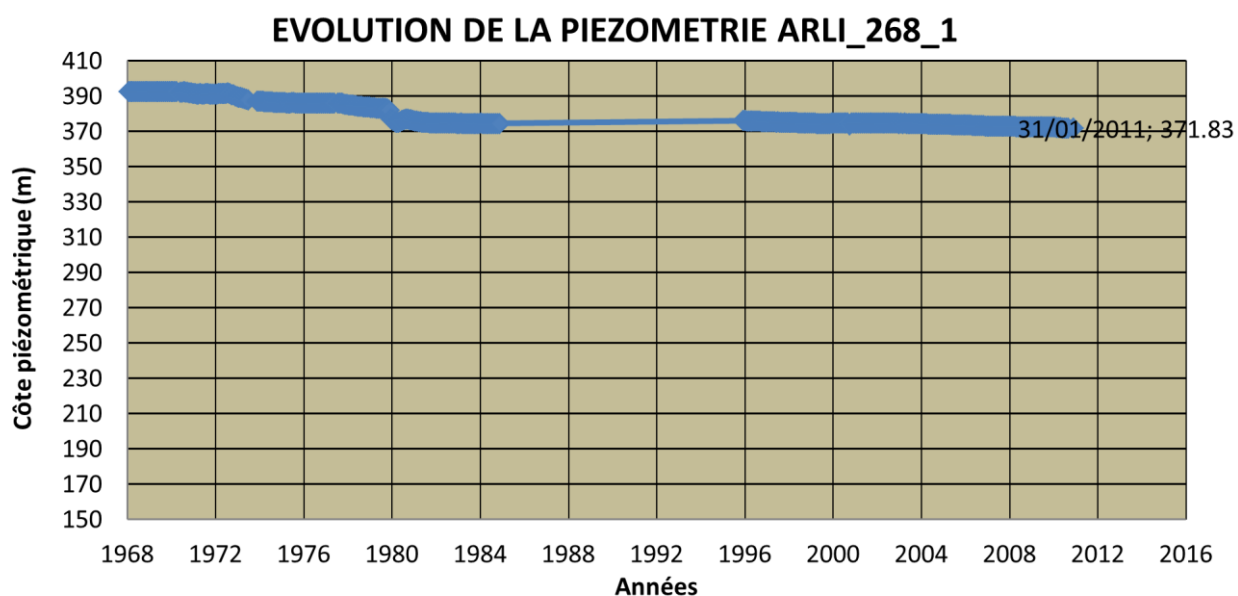
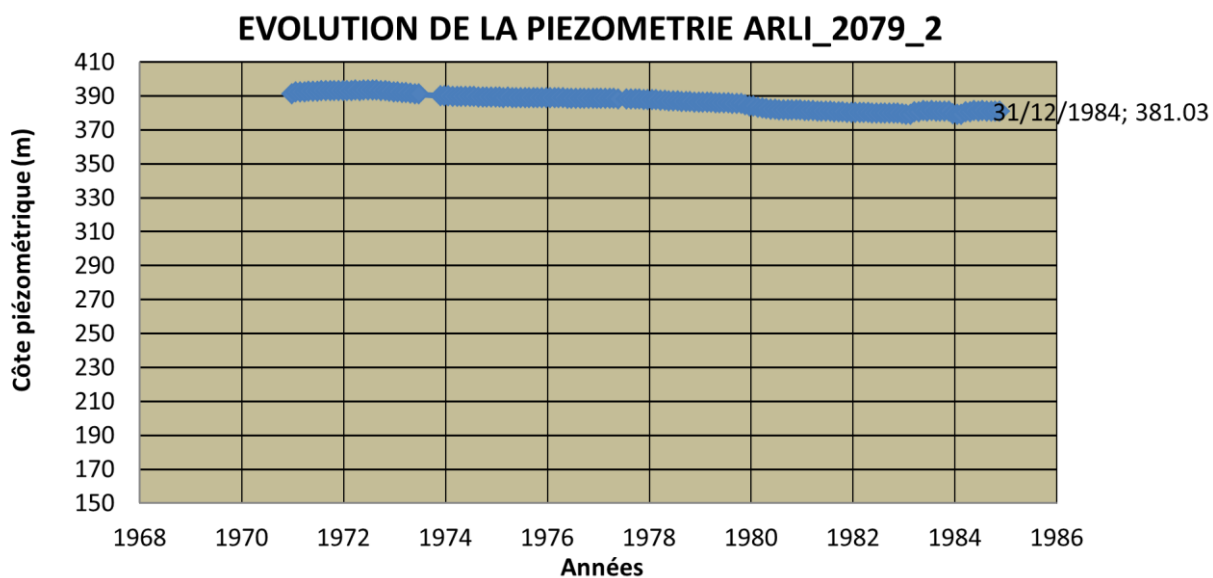
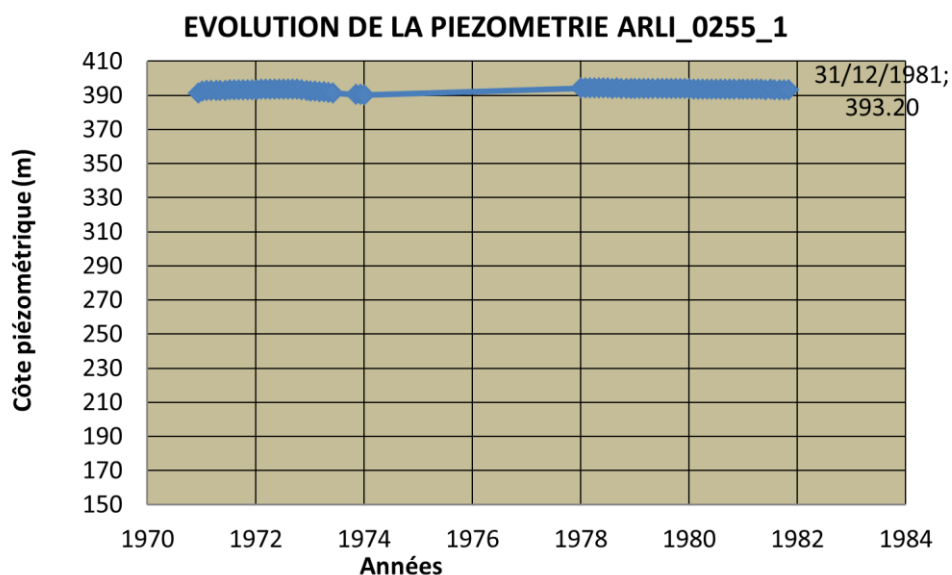
Source : Classification proposée par les United States Department of Agriculture (USDA)

ANNEXE 4 : CHRONIQUE PIEZOMETRIQUE DES OUVRAGES

A. HYDROGRAPHES DES OUVRAGES DU GUEZOUMAN

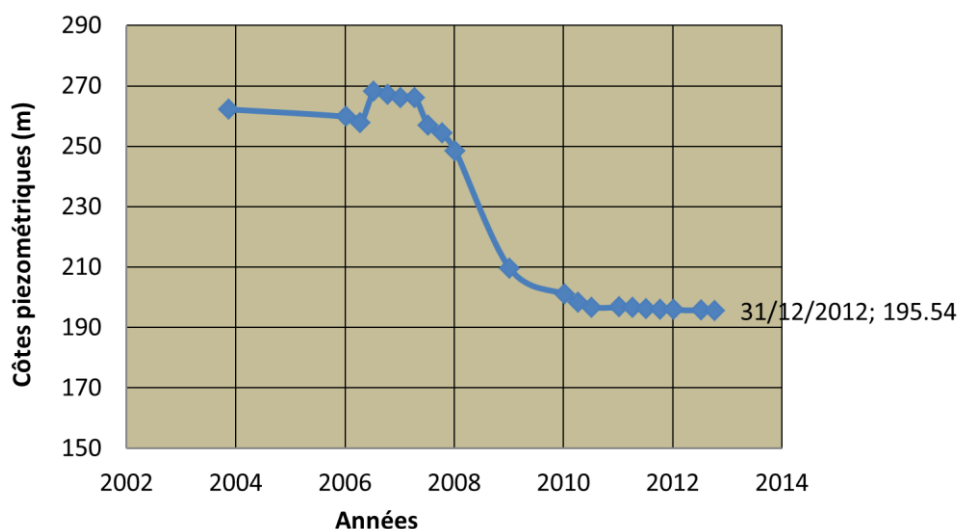


ANNEXE4 Figure 1: HYDROGRAPHES AU GUEZOUMAN (secteur d'Amidar)

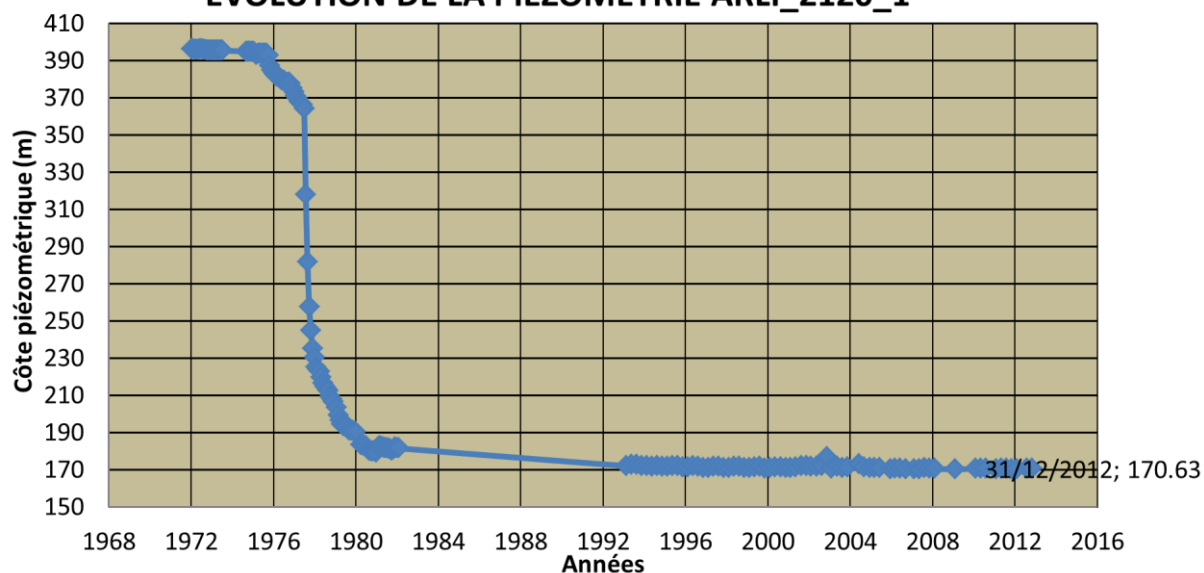


ANNEXE4 Figure 2: HYDROGRAPHES AU GUEZOUMAN (secteur de Somaïr)

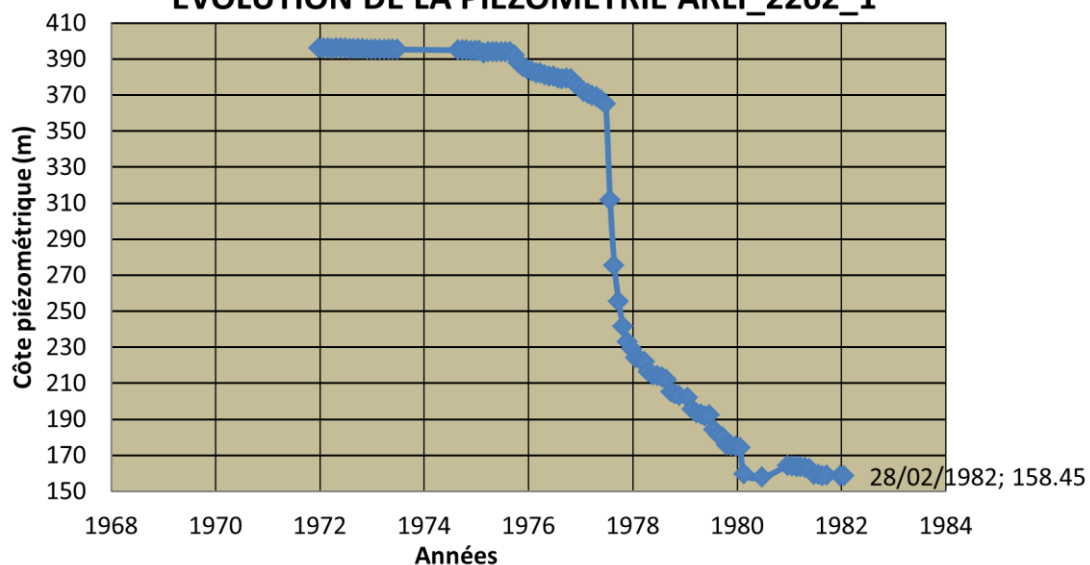
EVOLUTION DE LA PIEZOMETRIE AFAW_3438

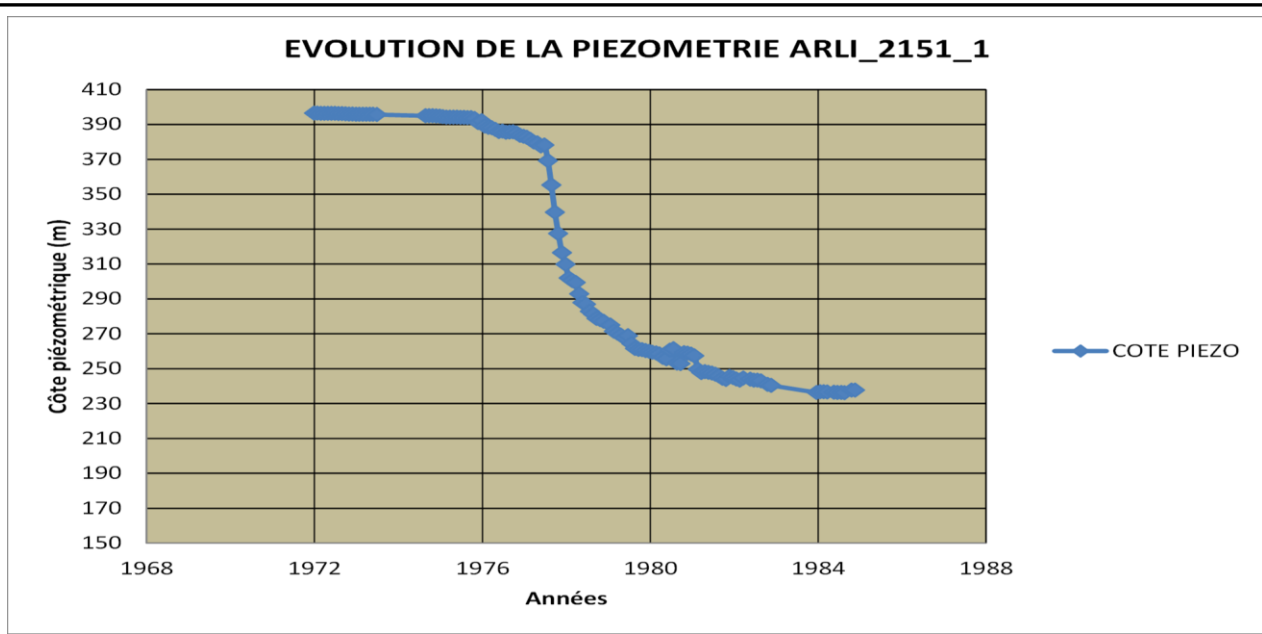
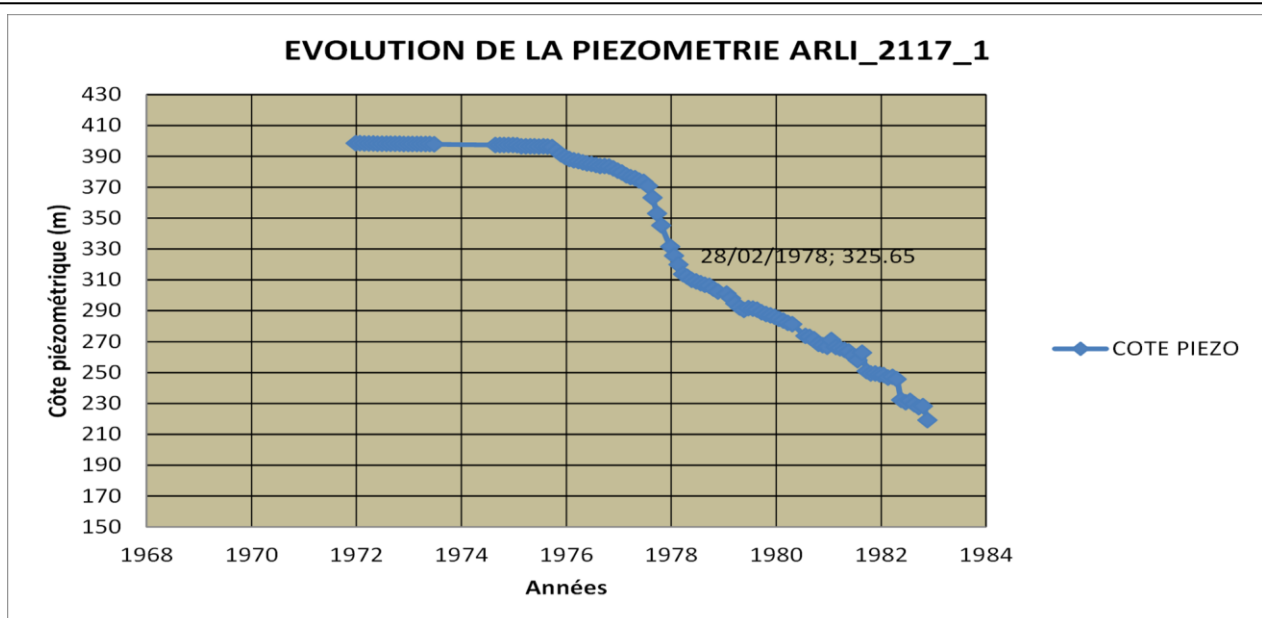
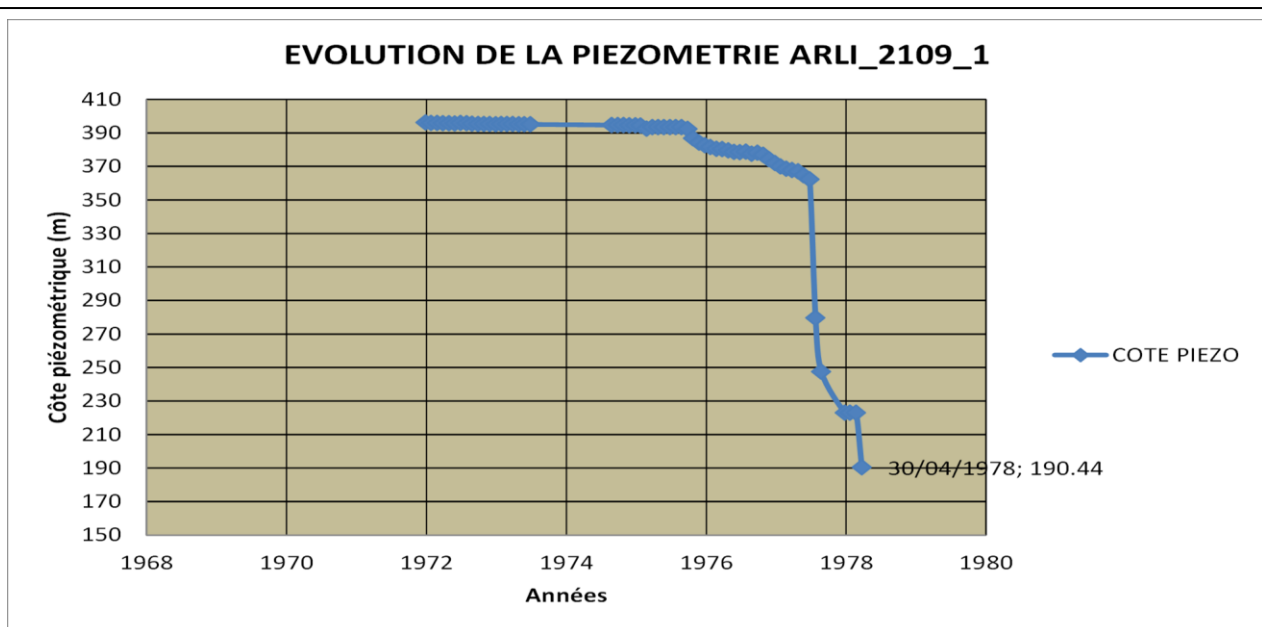


EVOLUTION DE LA PIEZOMETRIE ARLI_2120_1

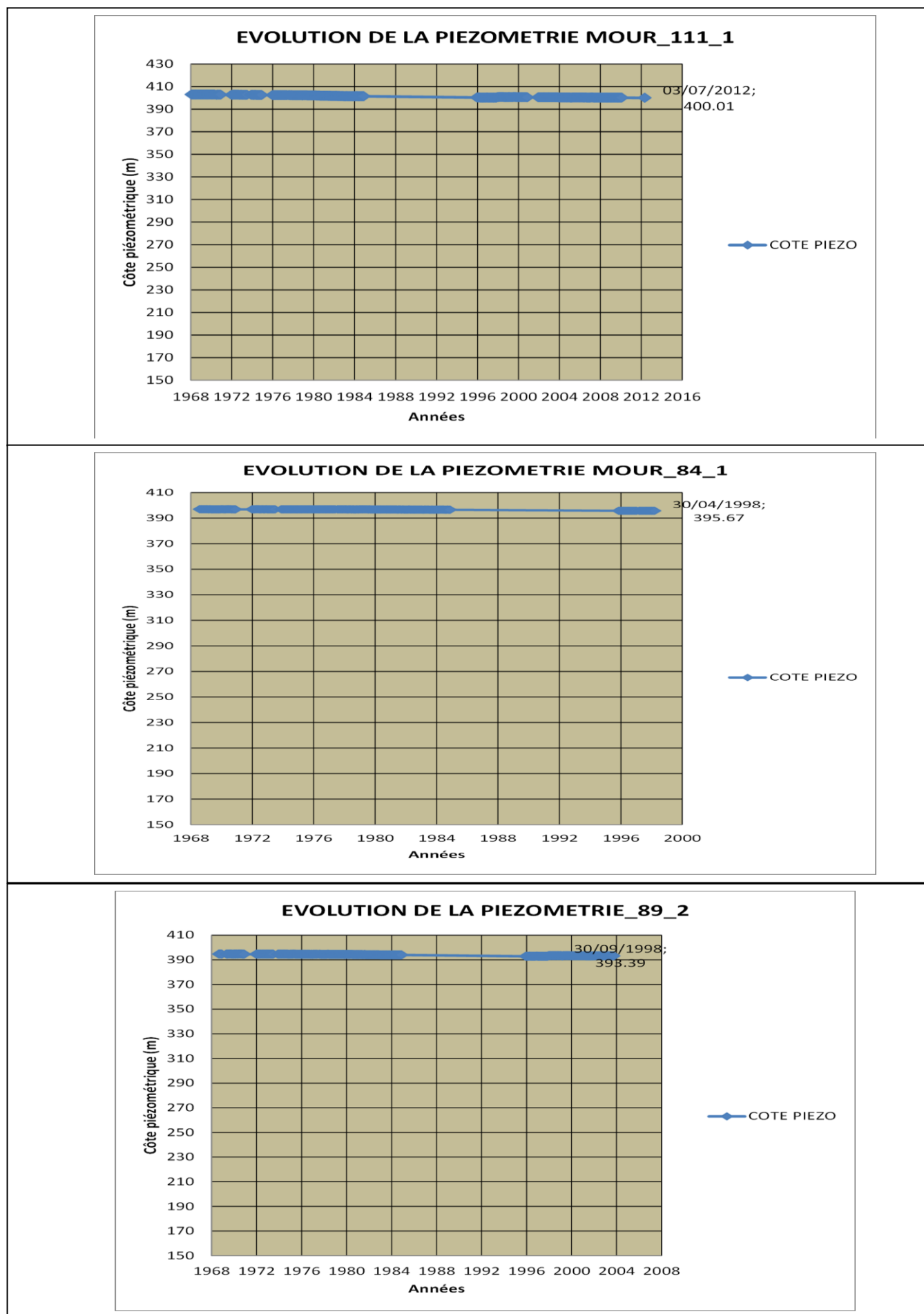


EVOLUTION DE LA PIEZOMETRIE ARLI_2262_1



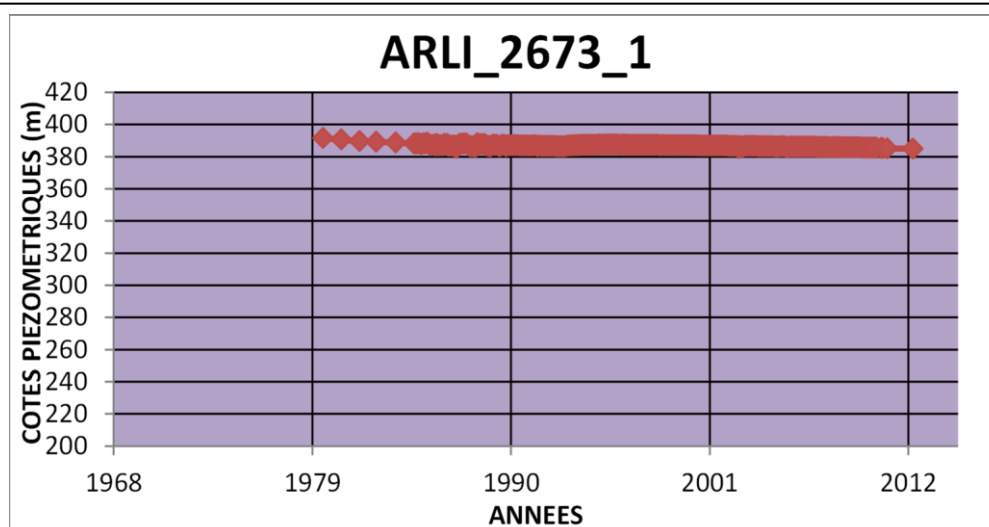
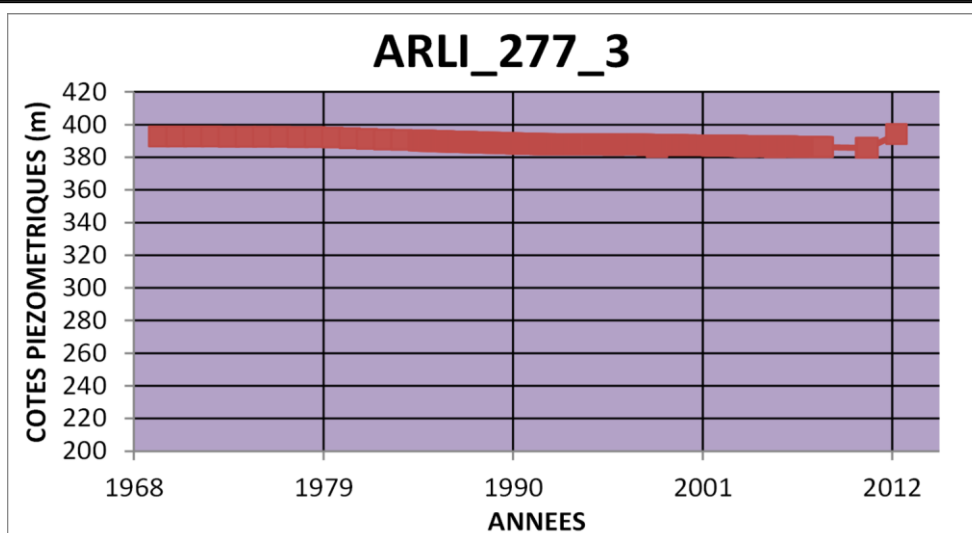
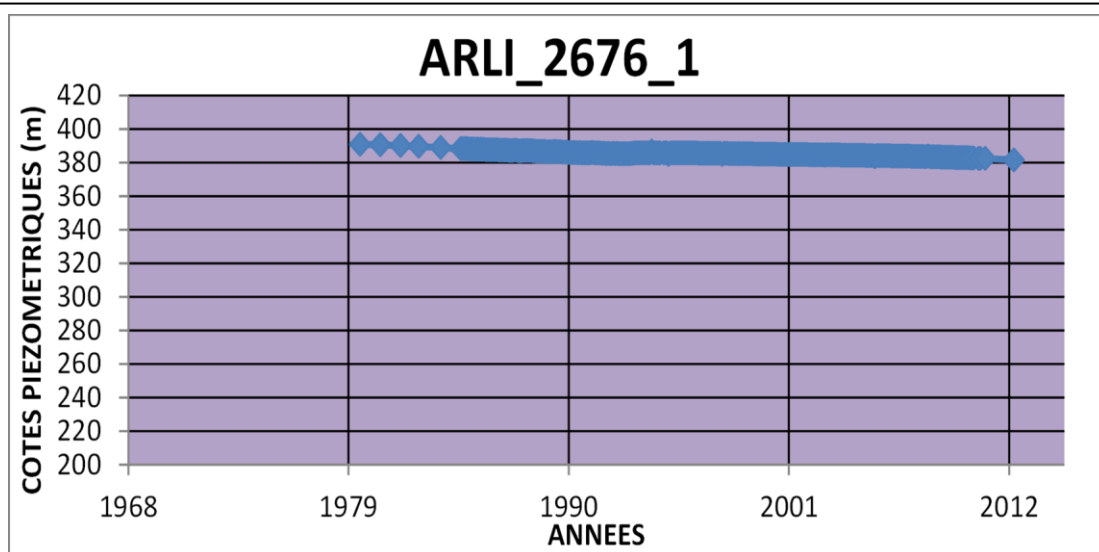


ANNEXE4 Figure 4: HYDROGRAPHES AU GUEZOUMAN (ZI Cominak)

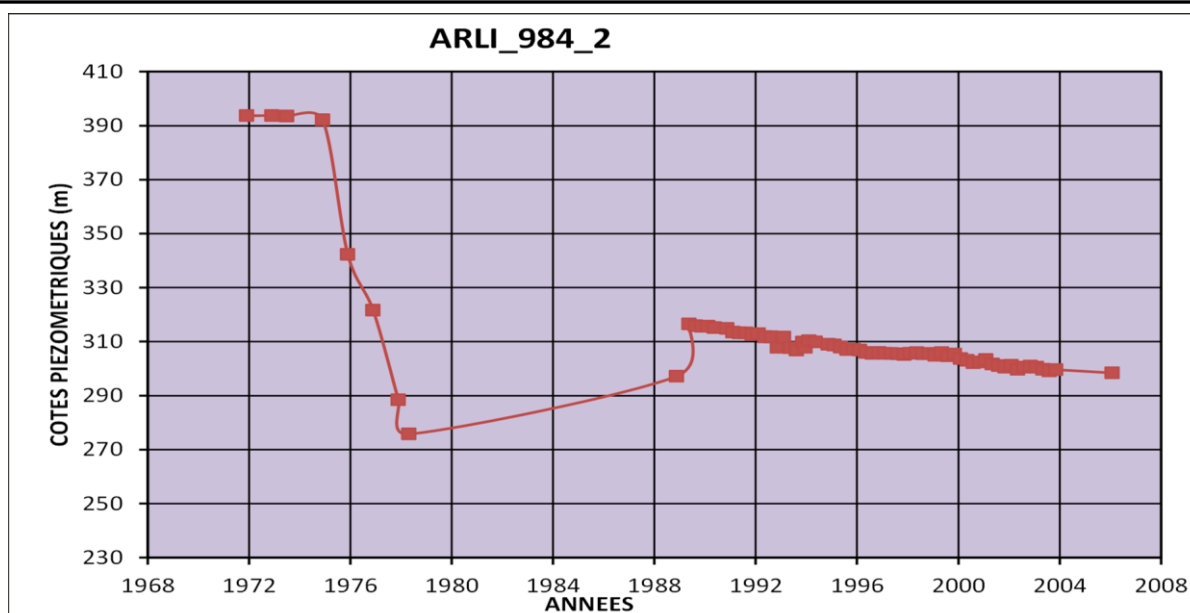
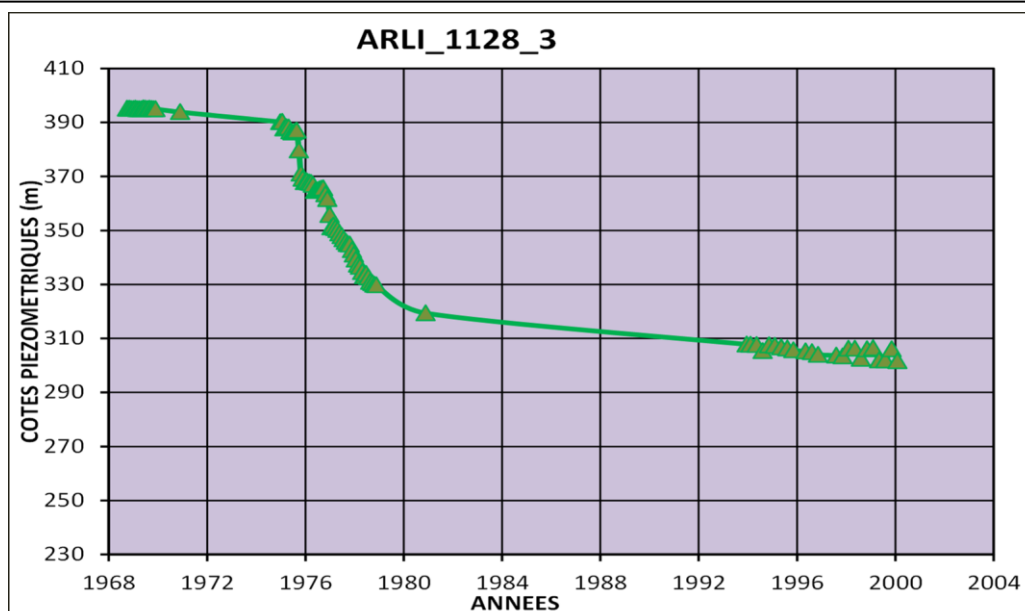
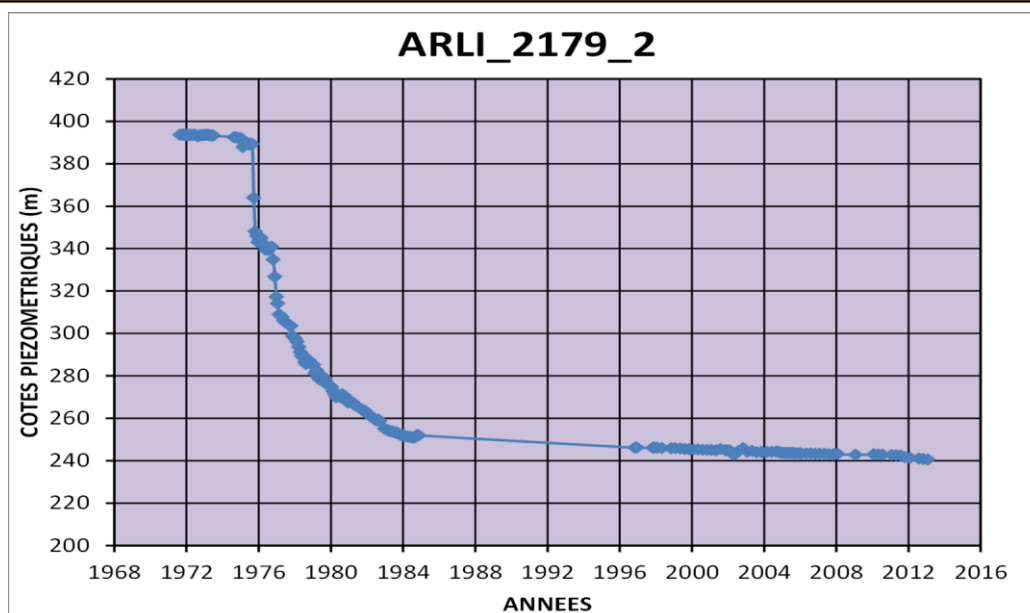


ANNEXE4 Figure 5: HYDROGRAPHES AU GUEZOUMAN (secteur du Mouron)

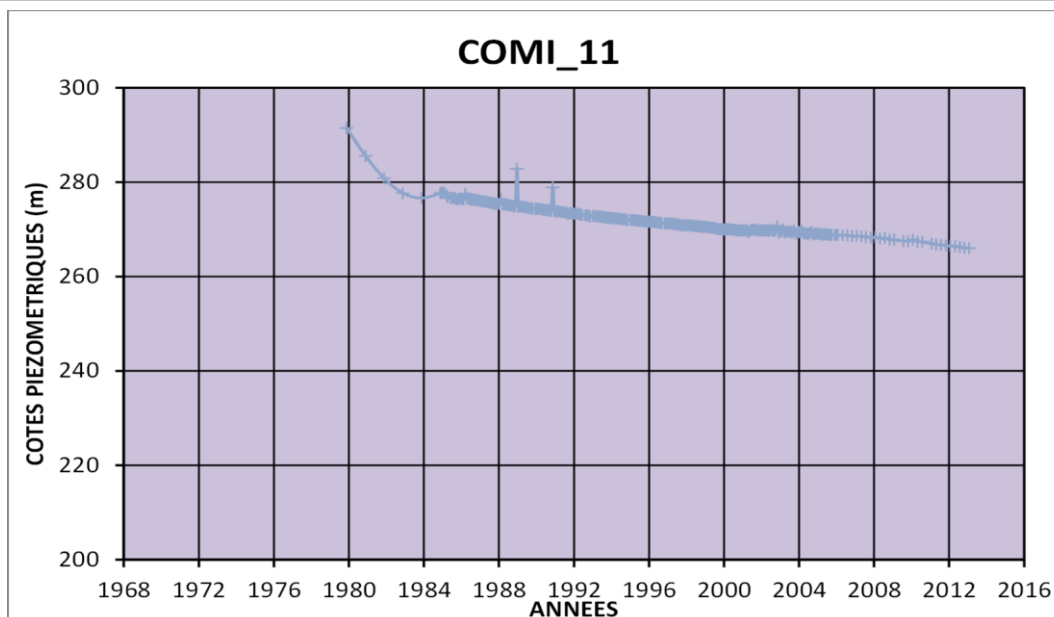
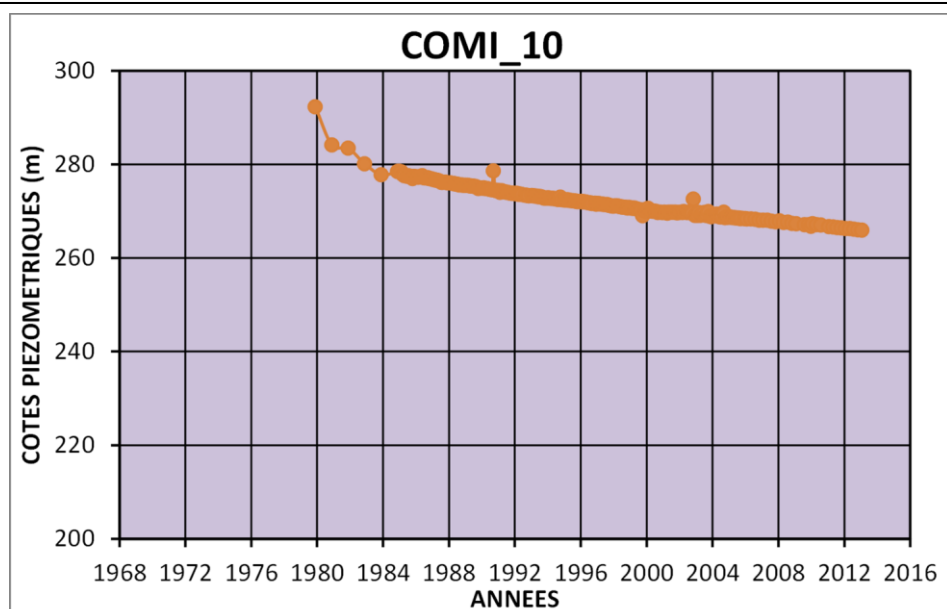
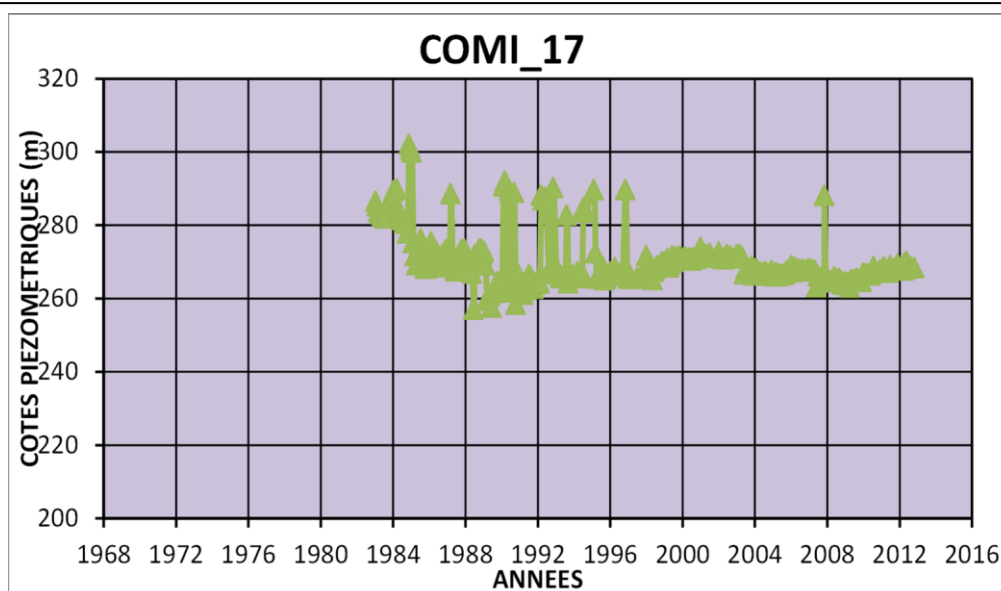
B. HYDROGRAPHES DU TARAT



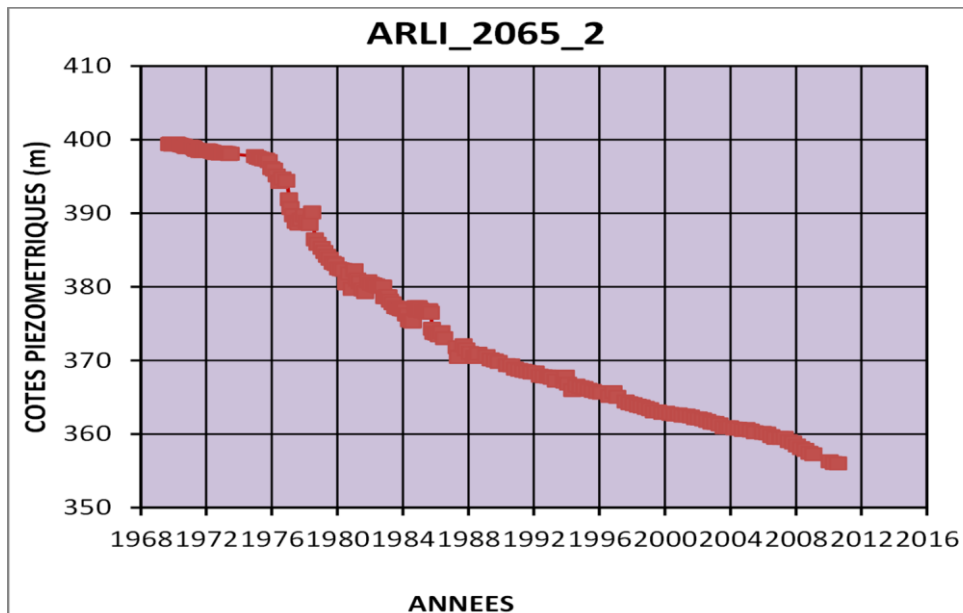
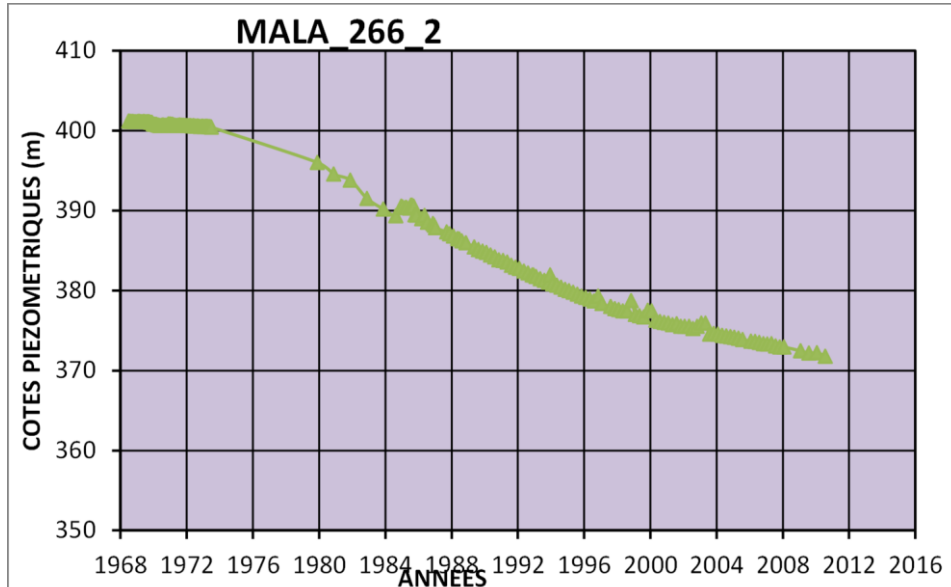
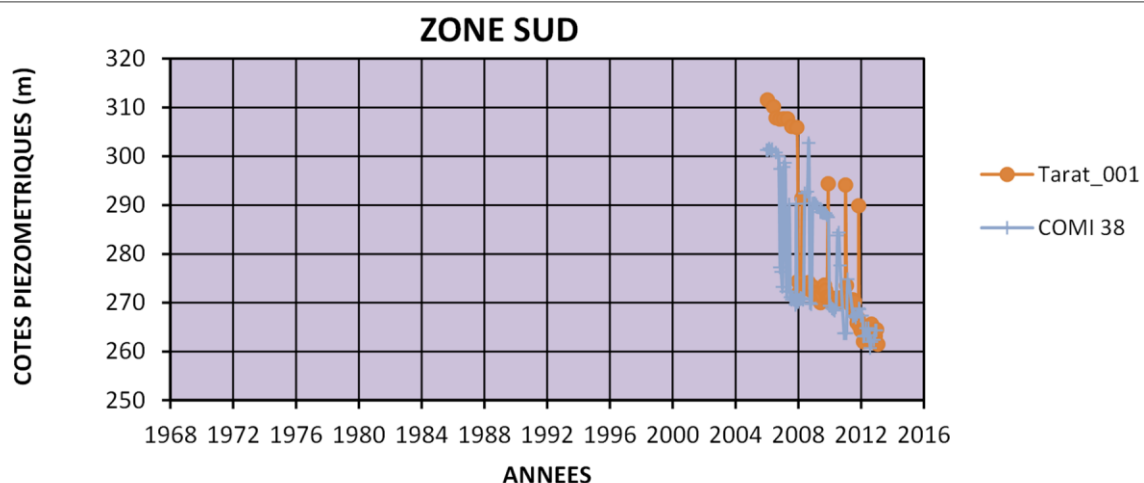
ANNEXE4 Figure 6: HYDROGRAPHES AU TARAT (secteur d'Amidar)



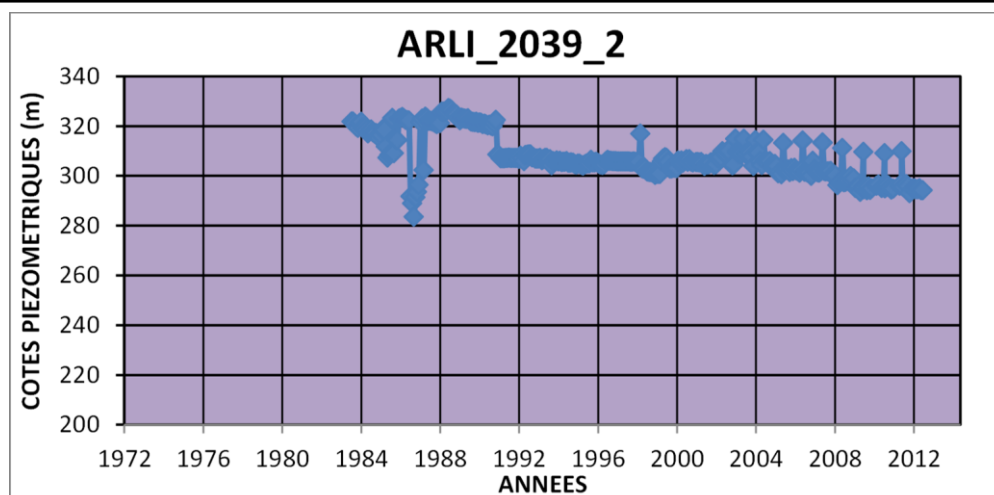
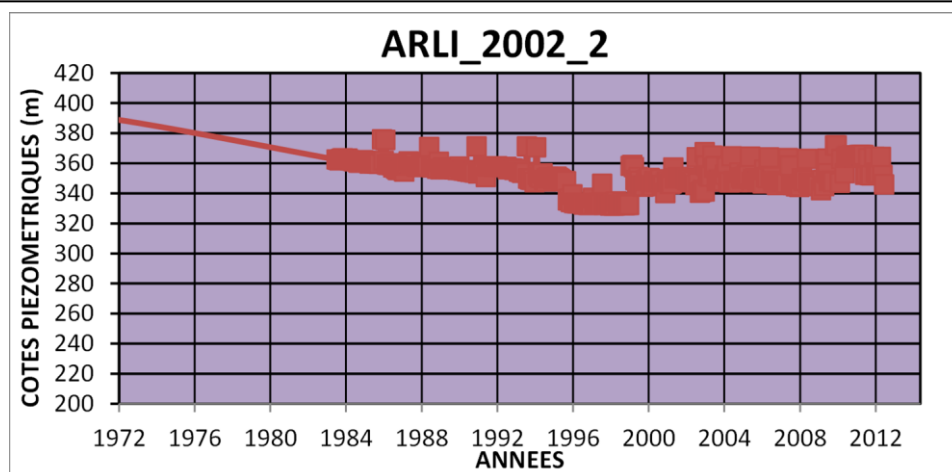
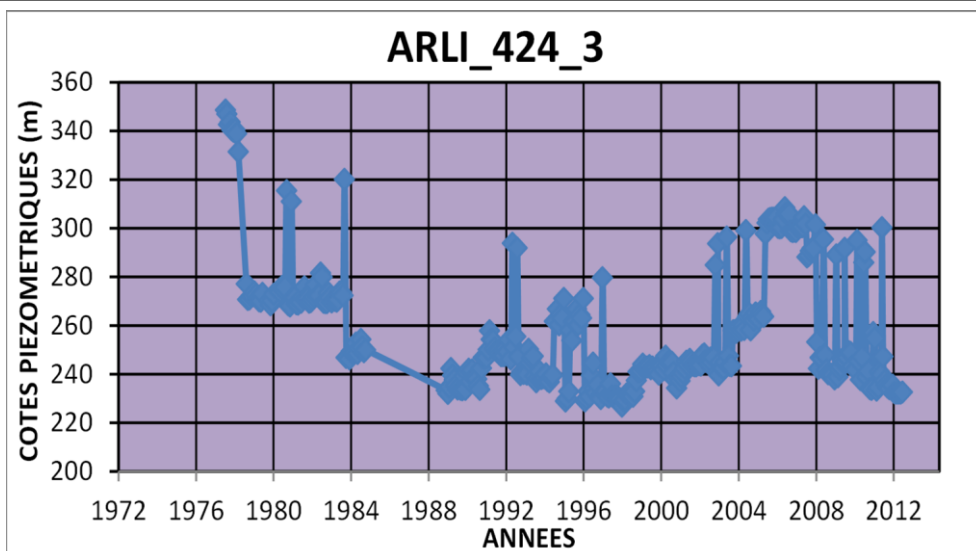
ANNEXE4 Figure 7 : HYDROGRAPHES AU TARAT (ZI Cominak)



ANNEXE4 Figure 8: HYDROGRAPHES AU TARAT (secteur de Cominak)



ANNEXE4 Figure 9 HYDROGRAPHES AU TARAT (zone Sud)



ANNEXE4 Figure 10: HYDROGRAPHES AU TARAT (ZU_Arlit)