



Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud MAMMÉRI de Tizi-Ouzou

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

Département des Sciences Géologiques



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Option : Hydrogéologie

Thème :

Contribution à l'étude d'un aquifère de socle par le biais de l'inventaire des sources et de leur caractérisation.

Cas du massif de Sidi Ali Bounab, partie orientale (Grande Kabylie).

Réalisé par :

- M^{lle} Sabrina BENCHEKCHOUK
- M^{lle} Lynda BOUHADDAD

Membres du jury :

- | | | |
|--------------------|-----------|-------------------------------|
| ▪ M. M. ABDESSELAM | Président | Maître de conférences (UMMTO) |
| ▪ M. C. AIGOUN | Promoteur | Maitre-assistant A (UMMTO) |
| ▪ M. L. SAMI | Examineur | Professeur (UMMTO) |
| ▪ M. A. HAMIS | Examineur | Maitre-assistant A (UMMTO) |
| ▪ M. A. HANNACHI | Examineur | Maitre-assistant A (USTHB) |

Remerciements

Nous sommes particulièrement honorées de soumettre notre travail à l'appréciation d'un jury jouissant d'une expérience remarquable. Il s'agit de M. M. ABDESSELAM en qualité de président, et de MM. L. SAMI, A. HAMIS, et A. HANNACHI en tant qu'examineurs. Nous les remercions infiniment pour le temps qu'ils auront bien voulu consacrer à l'examen de ce mémoire et pour toutes les remarques et suggestions qui en seront issues.

Ce modeste travail n'aurait pu aboutir sans les contributions diverses et généreuses dont nous avons eu la chance d'en bénéficier. Les évoquer ci-après répond à une gratitude minimale. Nos vifs remerciements s'adressent en premier lieu à M. Chabane AIGOUN en sa qualité d'encadrant du mémoire. Il a proposé le sujet, nous a motivées et suivies en permanence sur le terrain, en veillant à cultiver en nous les réflexes d'hydrogéologue (observations, mesures, schémas, prise de notes...). En outre, ses conseils avisés nous ont grandement servi lors de la mise en forme du document et l'interprétation des résultats.

Nous sommes immensément reconnaissantes à l'égard de M. Ahmed HAMIS, enseignant au département de Géologie, pour sa double contribution qui a consisté à assurer gracieusement le transport sur le terrain à maintes reprises, indispensable pour mener cette étude, et ce, aux dépens de ses occupations, et nous faire bénéficier de ses remarques judicieuses et multiples en termes de Géologie générale.

Nous avons eu la chance d'intégrer dans nos sorties M. N. BENGANA en tant que résident de Sidi Ali Bounab et enseignant au département d'Agronomie (Arboriculture). Ainsi, il nous a facilité le repérage des sources dans un maquis dense ainsi que leur identification. Sans lui, notre inventaire n'aurait pas aussi compté deux forages en altitude, creusés en milieu cristallin. Par ailleurs, il nous a fait découvrir utilement, en les nommant, les espèces arbustives peuplant les versants nord et sud de Sidi Ali Bounab. Pour son appui inconditionnel, qu'il trouve ici, l'expression de notre profonde gratitude.

Notre étude manquerait d'intérêt sans l'apport des analyses chimiques effectuées au laboratoire de la SEAAL à O. Aissi, et celui de l'ADE à Boukhalfa, et ce, dans un contexte de crise d'eau. Nos chaleureux remerciements s'adressent à M. S. ABDIOUS directeur de la SEAAL, Mmes A. CHIKHI et S. LADJEL, responsables de laboratoires précités et à leurs équipes dynamiques respectives dont M. N. HADDADI.

Les incontournables données climatiques et pluviométriques nous ont été fournies généreusement par les responsables de l'ONM, en l'occurrence M. M. HALLI, et de l'ANRH, à savoir M. BOUADJLA. Nous leur savons bon gré.

Des documents précieux à caractère d'archives, en relation avec l'objet de notre étude, ont été mis à notre disposition par Mme GADI, chef de service à la DRH, et par M. KHELADI, chef de service à l'APC de Naciria. Un grand merci pour leur contribution et leur confiance.

Ont également contribué à lever la délicate contrainte de déplacement sur le terrain, MM. OUBAZIZ et CHAIB. Nous les remercions infiniment pour leur disponibilité et leur accompagnement.

Nous tenons à adresser notre profonde reconnaissance aux habitants de Sidi Ali Bounab et environs, pour l'accueil cordial manifesté lors de nos sollicitations, en particulier, au septuagénaire, qui s'est proposé spontanément à servir de guide pour identifier des sites de sources insoupçonnés, sur les hauteurs d'At Warezdine.

Enfin, nous ne saurions oublier l'importance de l'aval du détachement militaire permanent stationné au sommet de Sidi Ali Bounab. Celui-ci nous a rassurées sur l'état de la sécurité des lieux, ce qui a conditionné notre mobilité sur le terrain. Nous l'en remercions vivement.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail aux êtres qui me sont les plus chers :

À MES CHERS PARENTS

À qui je dois tout. Pour votre confiance, vos encouragements et surtout votre soutien financier durant mes études. Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consentis pour mon instruction et mon bien-être.

À MES CHERS ET ADORABLES FRERES ET SŒURS

Nour El Houda, Louiza, Mohamed Lamine et Mohamed Koussaila, merci d'avoir toujours été là pour moi, pour vos encouragements permanents, et votre soutien, votre appui.

Je vous souhaite une vie pleine de bonheur et qu'on soit toujours unis.

A cette personne qui compte énormément pour moi et pour qui je porte beaucoup de respect et de tendresse, à toi MOHAMED SEDDIK.

À mon amie et partenaire de ce travail Lynda

À mes chères copines Rayane et Ahlem

À mes amies Ayesha et Sara.

Sabrina BENCHEKCHOUK

Dédicace

A ma famille, qui m'a dotée d'une éducation digne ; son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

C'est avec un grand plaisir que je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents, source de vie, d'amour et d'affection, pour leur patience, leur soutien et leurs encouragements

Mes frères

Mes sœurs, source de motivation et d'espoir

Ma chère amie Sabrina avant d'être *binôme*.

Tous mes amis et ceux qui sont présents dans mon cœur.

Enfin, à vous chers lecteurs.

Lynda BOUHADDAD

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE 01

Première partie : Description de la zone d'étude

Chapitre I : Cadre général

I.1. Situation géographique	02
I.2. Géomorphologie	03
I.3. Climat et végétation	03
I.4. Aperçu socio-économique	04

Chapitre II : Cadre géologique et tectonique

Introduction	05
II.1. Géologie	05
a. Versant sud de Sidi Ali Bounab	06
b. Versant nord de Sidi Ali Bounab... ..	08
II.2. Tectonique	11
Conclusion	12

Chapitre III : Hydrogéologie

Introduction	13
III.1. Propriétés hydrogéologiques générales d'un aquifère fissuré	13
III.2. Répartition des points d'eau	13
a. Les sources	13
b. Les galeries	13
c. Les forages	13
d. Les puits	13
III.3. Conditions d'écoulement... ..	17
III.4. Caractéristiques du débit des sources	17
Conclusion	17

Deuxième partie : Description des points d'eau

Chapitre I : Typologie des sources

I.1. Étymologie et histoire brève du terme «source »	18
I.2. Définition d'une source	18
I.3. Types de sources	18
a. Selon le régime d'écoulement	18
a.1. Source pérenne (ou permanente)	18
a.2. Source temporaire (ou saisonnière)	18
a.3. Source intermittente	18
b. Selon les conditions hydrogéologiques	19
b.1. Sources issues de milieux poreux homogènes	19
b.1.1 Source de déversement	19
b.1.2 Source de débordement	19
b.1.3 Source de trop-plein	19

b.1.4	Source de dépression (ou d'émergence)	19
b.2.	Sources issues de milieux poreux hétérogènes	19
b.2.1	Source vaclusienne (ou de karst)	19
b.2.2	Source intermittente	20
b.2.3	Résurgence	20
b.2.4	Exsurgence	20
b.3.	Sources issues de terrains fracturés	20
b.3.1	Sources de failles et de zones de broyage	20
b.3.2	Sources de diaclases et de fissures fines	21
I.4.	Classification des sources	21
a.	Origine des eaux	21
b.	Composition chimique des eaux	21
c.	Température des eaux	21
I.5.	Régime des sources	21
a.	Sources pérennes	21
b.	Sources temporaires	22
I.6.	Captage des sources	22
I.7.	Protection des sources	23
a.	Périmètre de protection immédiate	23
b.	Périmètre de protection rapprochée	23
c.	Périmètre de protection éloignée	23
Conclusion		23

Chapitre II : Inventaire des sources

Introduction	25
II.1. Inventaire	26
a. Versant Sud de Sidi Ali Bounab	26
b. Versant Nord de Sidi Ali Bounab	30
Conclusion	43

Troisième partie : Traitement des données

Chapitre I : Hydroclimatologie

Introduction	44
I.1. Paramètres climatiques	44
a. Pluviométrie	44
a.1. Évolution annuelle des précipitations	44
a.1.1. Comblement des lacunes	45
a.2. Répartition annuelle des précipitations	46
a.3. Estimation de la précipitation moyenne annuelle de la zone d'étude pour une période de dix ans (2008-2018)	48
a.3.1. Méthode des Polygones de Thiessen	48
a.3.2. La méthode arithmétique	50
b. Température	52
c. Vent	52
d. Humidité	52
Conclusion	53

Chapitre II : Hydrochimie

Introduction	54
II.1. Les méthodes d'études	54
a. Mesures sur le terrain	54
a.1. Potentiel d'hydrogène (pH) Méthodes d'analyse potentiométriques	54
a.1.1. Potentiel d'hydrogène (pH)	54
a.1.2. Conductivité	54
a.1.3. Température de l'eau	55
II.2. Interprétation des analyses	56
a. Paramètres physico-chimiques :	56
b. Les paramètres chimiques	57
II.3. Balance ionique d'eau	60
II.4. Représentations graphiques	61
Conclusion	62
CONCLUSION GENERALE	63
RECOMMANDATIONS	64
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	

LISTE DE FIGURES

- Fig.1 - Localisation de SAB sur la carte des régions naturelles de la Gde Kabylie, (D. Raymond 1976).
- Fig.2 - Localisation de Sidi Ali Bounab sur Google earth.
- Fig.3 - Vue en relief de la montagne de Sidi Ali Bounab sur Google earth à une distance de 20 km.
- Fig.4 - Altération par les racines végétales.
- Fig.5 – Couvert végétal et sol sous-jacent (SAB à 624m d'altitude).
- Fig.6 – Forêt de chênes lièges de Sidi A li Bounab, (Blogspot en2015).
- Fig.7 - Localisation des massifs de socle kabyle de la région de Tizi-Ouzou (Grande Kabylie), (D. Raymond 1976).
- Fig.8 - Coupe synthétique et interprétative transverse de la partie centrale de l'orogène nord-maghrébin (D. Delga et al. 1969 ; modifiée).
- Fig.9 - Schéma montrant la discordance de la couverture miocène post nappes avec le socle de SAB, (Notre sortie sur terrain).
- Fig.10 - Log stratigraphique du versant nord (côté est) de SAB.
- Fig.11 - Schéma représentant les schistes traversés par les pegmatites de première et deuxième génération, (Notre sortie sur terrain).
- Fig.12 - Schéma représentant une enclave de schistes dans les formations granitiques, (Notre sortie sur terrain).
- Fig.13 - Caractérisation statistique des populations de fractures dans le massif de SAB. Gde Kabylie, (A. Bettahar 1990).
- Fig.14 - Carte de la fracturation de la région de Sidi Ali Bounab (Gde Kabylie) (A. Bettahar 1990).
- Fig.15 - Schéma structural et carte des trajectoires de linéation (L) et foliation (S) de SABN (Saadallah, 1992).
- Fig.16 - Coupes sériées (2 et 4) illustrant la structure de Sidi Ali Bounab (A. Saadallah 2015).
- Fig.17 - Schéma d'ouvrages de captage en milieu fissuré (BRGM-J- 225).
- Fig.18 - Carte de localisation des points d'eau sur la superposition du réseau hydrographique et la carte de fracturation (A. Bettahar 1990).
- Fig.19 - Schéma du forage Ighil 01.
- Fig.20 - Schéma du forage Ighil 02.
- Fig.21 - Source de déversement, (Castany et Margat 1977, Dictionnaire d'hydrogéologie Ed. BRGM).
- Fig.22 - Source de débordement, (Castany et Margat 1977, Dictionnaire d'hydrogéologie Ed. BRGM).
- Fig.23 - Source de trop plein, (Castany et Margat 1977, Dictionnaire d'hydrogéologie Ed. BRGM).
- Fig.24 - Source de dépression, (Castany et Margat 1977, Dictionnaire d'hydrogéologie Ed. BRGM).
- Fig.25 - Source vaclusienne, (Castany et Margat 1977, Dictionnaire d'hydrogéologie Ed. BRGM).
- Fig.26 - Source intermittente à variation de débit, (Castany et Margat 1977, Dictionnaire d'hydrogéologie Ed. BRGM).
- Fig.27 - Source intermittente à siphonnement, (Castany et Margat 1977, Dictionnaire d'hydrogéologie Ed. BRGM).

Fig.28 - Source de résurgence.

Fig.29 - Source d'exurgence.

Fig.30 - Sources de failles et de zones de broyage, (Castany et Margat 1977, Dictionnaire d'hydrogéologie Ed. BRGM).

Fig.31 - Sources de diaclases et de fissures, (Castany et Margat 1977, Dictionnaire d'hydrogéologie Ed. BRGM). Fig.32 - Courbe de tarissement pour des décrues successives, (G. Castany, 1963).

Fig.33 - Modèles de régime de sources pérennes, (G. Castany et J. Margat, 1977).

Fig.34 - Modèles de régime de sources non pérennes, (G. Castany et J. Margat, 1977).

Fig.35 - Schéma d'un captage simple, (Comité interafricain d'étude hydraulique).

Fig.36 - Schémas de captage de source réglementaires (Mudry, 2004).

Fig.37 - Schéma d'une conduite de trop plein.

Fig.38 - Schéma d'aménagement du forage Ighil 01.

Fig.39 - Schéma représentatif du puits Ighil.

Fig.40 - Carte des points d'eau implantés sur la carte topographique de Bordj Menaïel Est (1/50 000 INCT).

Fig.41 - Graphe de la droite de régression en vue du comblement des lacunes de la station de Draa El Mizan. Fig.42 - Variations annuelles des précipitations (2008-2018) pour les sept stations utilisées.

Fig.43 - Variations annuelles des précipitations (2008-2018) de la station de Baghlia.

Fig.44 - Variations annuelles des précipitations (2008-2018) des stations qui se trouvent à l'est de SAB.

Fig.45 - Variations annuelles des précipitations (2008-2018) de la station de Chabet El Aneur.

Fig.46 - Variations annuelles des précipitations (2008-2018) des stations qui se trouvent au sud de SAB.

Fig.47 - Carte de variations annuelles des précipitations dans le BV de Bougdoura (2008-2018).

Fig.48 - Carte pluviométrique du côtier Algérois Est (Chaumont et Paquin 1971), modifiée.

Fig.49 - Variations mensuelles de l'humidité de la station de Boukhalfa (2007-2017) (ONM).

Fig.50 - Évolution de la conductivité en fonction de l'altitude au versant nord et au versant sud de SAB.

Fig.51 - Histogramme de variation du pH des eaux de différents points d'eau.

Fig.52- Histogramme de variation de la température en fonction de l'altitude au niveau du versant nord et du versant sud de SAB.

Fig.53 - Histogramme de variation du titre hydrotimétrique en °F.

Fig.54 - Histogramme de variation des teneurs en Ca^{2+} et Mg^{2+} .

Fig.55 - Relation entre les teneurs en HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} et la conductivité.

Fig.56 - Relation entre les teneurs en Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et la conductivité.

Fig.57 – Histogramme des concentrations en Fe^{2+} et en Al^{3+} .

Fig.58 - Histogramme des concentrations en O_2 dissous.

Fig.59 - Représentation des résultats d'analyses des eaux de sources sur le diagramme de Piper.

Fig.60 - Représentation des résultats d'analyses des eaux de sources sur le diagramme de Schoeller Berkloff.

LISTE DE TABLEAUX

Tableau 1.a - Inventaire des sources visitées au niveau des versants sud et nord de SAB.

Tableau 1.b - Suite de l'inventaire des sources visitées au niveau des versants sud nord de SAB.

Tableau 1.c - Forages et puits visités au niveau du versant nord de SAB.

Tableau 2 - Caractéristiques des stations pluviométriques utilisées.

Tableau 3 - Précipitations annuelles des sept stations utilisées (période 2008-2018).

Tableau 4 - Comblement des lacunes de la station Draa El Mizan par les données de la station Neqlioua.

Tableau 5 - Comblement des lacunes des précipitations moy. annuelles des sept stations utilisées (2008-18).

Tableau 6 – Calcul de la lame d'eau moy. précipitée sur le BV de Bougdoura par la méthode de Thiessen.

Tableau 7 – Valeurs des températures mensuelles enregistrées à la station de Boukhalfa (2008-2017).

Tableau 8 - Valeurs mensuelles des vitesses du vent (m/s) enregistrées à la station de Boukhalfa (2008- 17).

Tableau 9 - Valeurs moy. mensuelles de l'humidité relative enregistrées à la station de Boukhalfa (2008-17).

Tableau 10 - Résultats des mesures in situ.

Tableau 11 - Résultats des analyses chimiques effectuées au niveau des laboratoires de la SEAAL et l'ADE.

Tableau 12 – Normes de potabilité selon la concentration en oxygène dissous.

Tableau 13 – Comparaison des résultats chimiques avec la balance ionique.

LISTE DES ABRERIATIONS

ADE - Algérienne Des Eaux.

AEP - Alimentation en eau potable.

ANRH - Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

DRE - Direction des Ressources en Eaux de la Wilaya.

OMS - Organisation Mondiale de la Santé.

ONM - Office National de la Météorologie.

SAB - Sidi Ali Bounab.

SEAAL - Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger.

Introduction générale

Le massif de Sidi Ali Bounab est un aquifère fissuré de nature cristalline (roches métamorphiques et magmatiques) surélevé au-dessus des vallées du Moyen Sébaou et du Bougdoura. Il est identifié comme tel, car il recèle de nombreuses sources à débits modestes mais pérennes. D'ailleurs, nombre d'entre elles ont été aménagées en vue de leur exploitation pour l'AEP et/ou l'irrigation villageoise. Leur répartition spatiale couvre des altitudes diverses, au niveau des versants nord et sud du massif.

Notre consultation des archives des services de l'hydraulique (Cf. Annexe 3, 4 et 5), nous a permis de constater que les jaugeages de ces émergences remontent à l'année 1950, voire au-delà. Cet intérêt suscité précocement, et à juste titre, continue de l'être, ce pourquoi, nous lui avons consacré la présente étude hydrogéologique, dans le cadre de notre mémoire de fin d'études de master en hydrogéologie. Si notre approche de la problématique (aspects quantitatif et qualitatif des eaux souterraines) est tout à fait classique, c'est-à-dire concilier le terrain et le laboratoire, elle demeure en deçà de son ambition, eu égard au nombre limité de sorties devant être effectuées, quoique nous en ayons réalisées cinq, de préférence en hautes et basses eaux. De plus, le recours à l'utilisation de photos aériennes dans ce genre d'étude, en particulier, est incontournable. Ce qui nous aurait permis de conforter les travaux bibliographiques antécédents (G. Boussière, A. Saadallah, A. Bettahar) si le temps était suffisant. Quant au volet des analyses chimiques, notre stage de quelques jours au laboratoire de la SEAL, laborieux, gracieux, mais coûteux à l'entreprise, a réduit le nombre d'échantillons à analyser.

L'inventaire des points d'eau a concerné 18 sources, 02 forages et 01 puits repérés et décrits de façon détaillée. Les paramètres physico-chimiques de leurs eaux respectives (température, pH, conductivité, couleur, l'odeur et la turbidité) sont mesurés ou appréciés systématiquement. S'agissant de l'échantillonnage d'eau en vue des analyses, des critères de sélection ont guidé notre choix.

La synthèse des données de terrain, de stations hydroclimatiques et des résultats d'analyses qui constitue le présent travail, est structurée comme suit :

- 1^{ère} partie :

Elle se rapporte au cadre naturel sous ses différents aspects : la localisation, la géomorphologie pour décrire le réseau hydrographique et le modelé du relief et la géologie pour montrer l'éventail de formations pétrographiques (cipolins, schistes, gneiss, granite, grès et marnes) constituant la région de Sidi Ali Bounab. La tectonique ayant essentiellement affectée le massif de SAB et de type cassant. Quant à l'hydrogéologie, elle s'est intéressée aux effets de la fracturation a la faveur de laquelle un aquifère s'est mis en ma place tout en ce vidangeant par le biais de nombreuses sources qu'il importe d'étudier.

- 2^{ème} partie :

Cette partie est focalisée sur les émergences ou sources issues du massif du SAB. Il s'agit de leur description, de leur répartition spatiale en rapport avec le réseau de failles, et de leur importance en termes de débit lorsqu'il est mesurable.

- 3^{ème} partie :

Elle est consacrée au traitement des données hydroclimatiques qui conditionnent la recharge de l'aquifère et par conséquent, les débits des émergences. Le volet qualitatif des eaux issues des sources y est également examiné par la combinaison des données de mesures de terrain et de résultats d'analyses chimiques de laboratoire.

Première partie :

Description de la zone d'étude.

Chapitre I
Cadre général

1. Situation géographique :

Le territoire de notre étude concerne la partie orientale de la montagne de Sidi Ali Bounab, qui surplombe la ville de Tadmaït à 18 km à l’Ouest de Tizi-Ouzou, située entre les wilayas de Boumerdès et de Tizi-Ouzou, qui culmine à 859 m d’altitude.

Ce massif se limite par Naciria au nord, Bordj Menaiël et Isser à l’ouest, Draa Ben Khedda à l’est et par Draa El Mizan et Oued Ksari au sud.

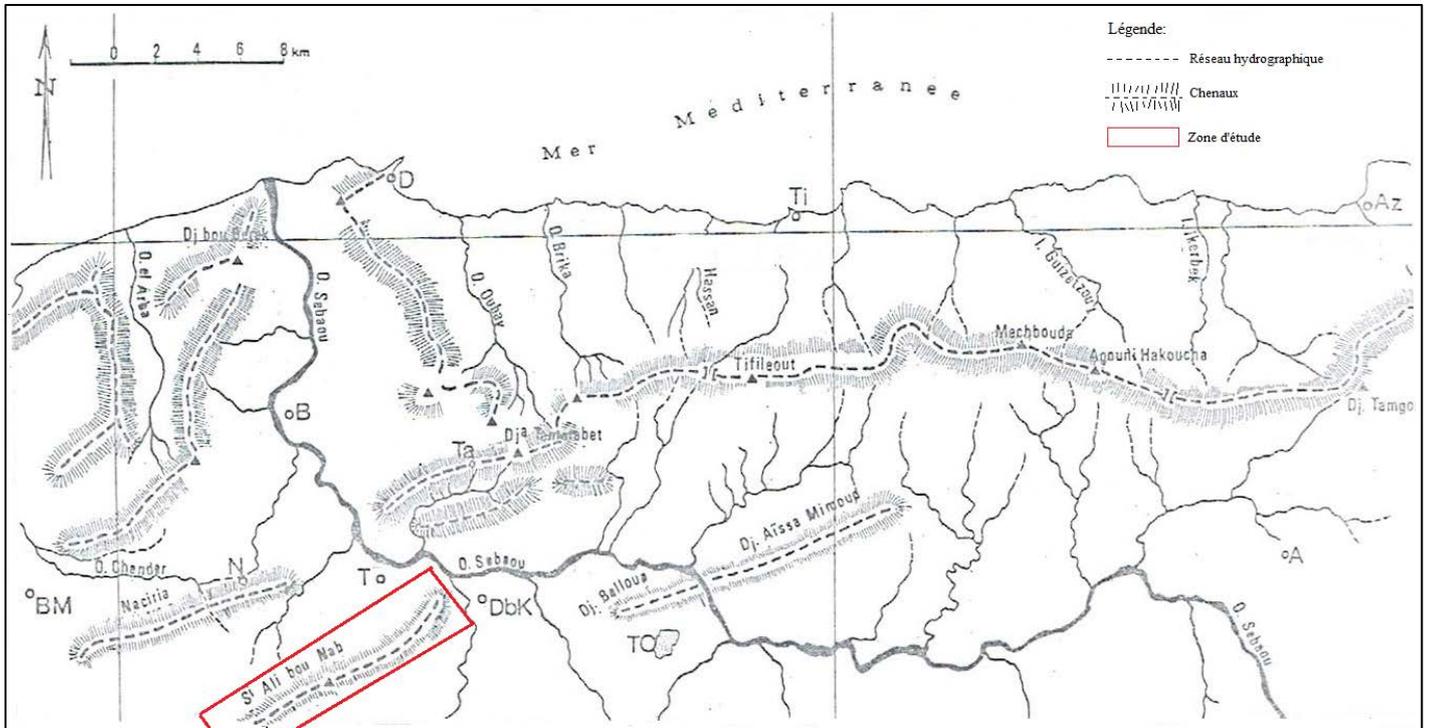


Fig.1 - Localisation de Sidi Ali Bounab (Carte des régions naturelles de la Gde Kabylie D. Raymond 1976).

BM : Bordj Menaiël, T : Tadmaït, DbK : Draa ben Khedda, TO : Tizi Ouzou.



Fig.2 - Localisation de Sidi Ali Bounab (Google earth).

2. Géomorphologie :

Le Tell oriental algérien est caractérisé en général par une morphologie complexe à cause de la tectonique qui affecte la région. Comme notre terrain d'étude intègre cette région, il se distingue par une morphologie variable.

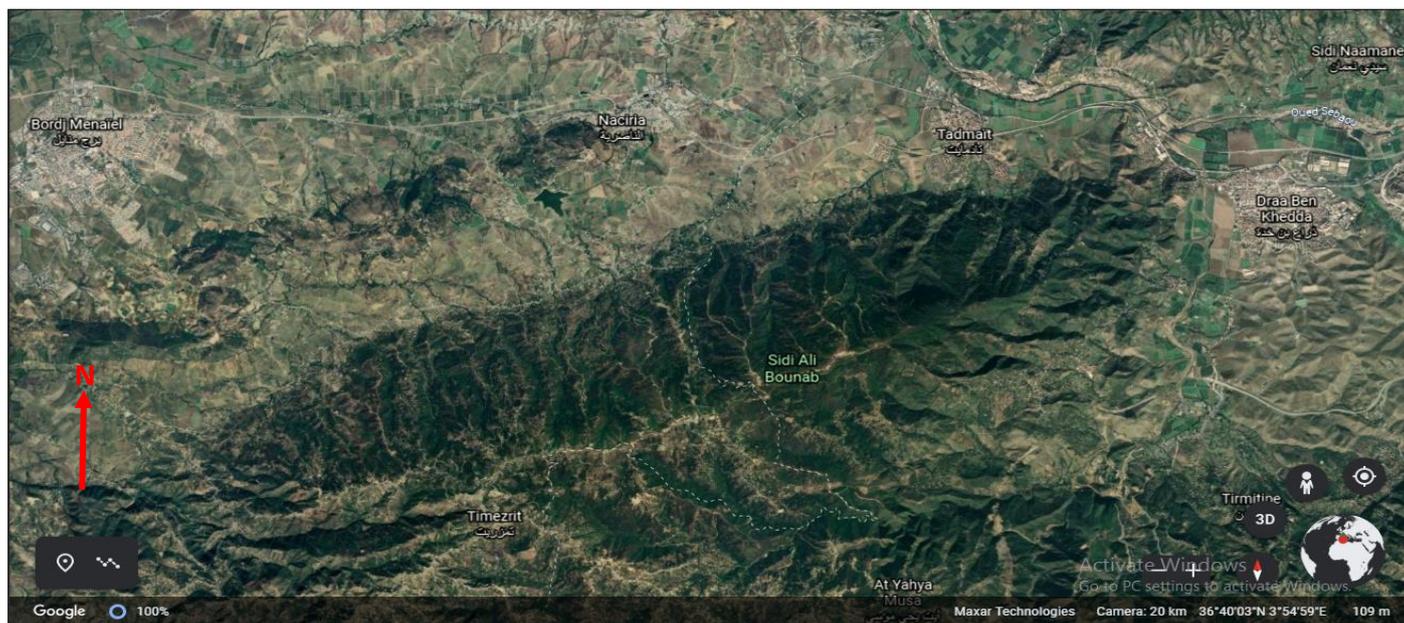


Fig.3 - Vue en relief de la montagne de Sidi Ali Bounab (Google earth à une distance de 20 km).

La montagne de Sidi Ali Bounab possède un relief fort avec présence importante de vallées par lesquelles passent les cours d'eau, qui cisèlent la région.

Le versant nord de SAB est soumis à une érosion hydrique plus forte que celle du versant sud, cela est dû à l'influence méditerranéenne et le rôle que joue la pente dans le ruissellement.

3. Climat et végétation :

Vu sa proximité de la mer Méditerranéenne, les conditions climatiques imposent le développement d'une végétation typique dans la région. Le versant nord de SAB est plus fortifiée que le versant sud en raison de la limite orographique (crête) qui retient une grande partie des nuages, en conséquent cette partie nord est plus arrosée.

La diversité et la densité de cette végétation jouent un rôle très important pour l'altération des formations par l'enracinement et l'arénisation. On cite la flore très développées à SAB : Chaîne liège, le genêt, le cytise, la bruyère, le dis, l'inule visqueuse, la ronce, le romarin...etc.



Fig.4 - Altération par les racines végétales et formation de sol.



Fig.5 - Couvert végétal et sol sous-jacent (SAB à 624m d'altitude).



Fig.6 - Forêt de chêne-liège de Sidi A li Bounab (Blogspot en 2015).

4. Aperçu Socio-économique :

L'agriculture et l'élevage sont les occupations essentielles de la population de la région. L'industrie est de moindre importance par rapport aux secteurs précédents.

Dans le milieu rural, certaines maisons sont dispersées, d'autres sont groupées en hameaux. Ceux-ci ont souvent tendance à former de petites agglomérations à caractère urbain.

Chapitre II
Cadre géologique et tectonique

Introduction

Morphologiquement, le socle kabyle est constitué d'un ensemble homogène, et d'une série métamorphique affleurant en quatre massifs cristallins isolés du massif ancien de la grande Kabylie par des formations miocènes (Massif de Naciria, Massif de Sid Ali Bounab, Djebel Belloua et Aïssa Mimoun).

Le massif de Sidi Ali Bounab est le territoire de notre étude, plus précisément la partie orientale. Cette étude est faite suivant un travail protocolaire d'un géologue.

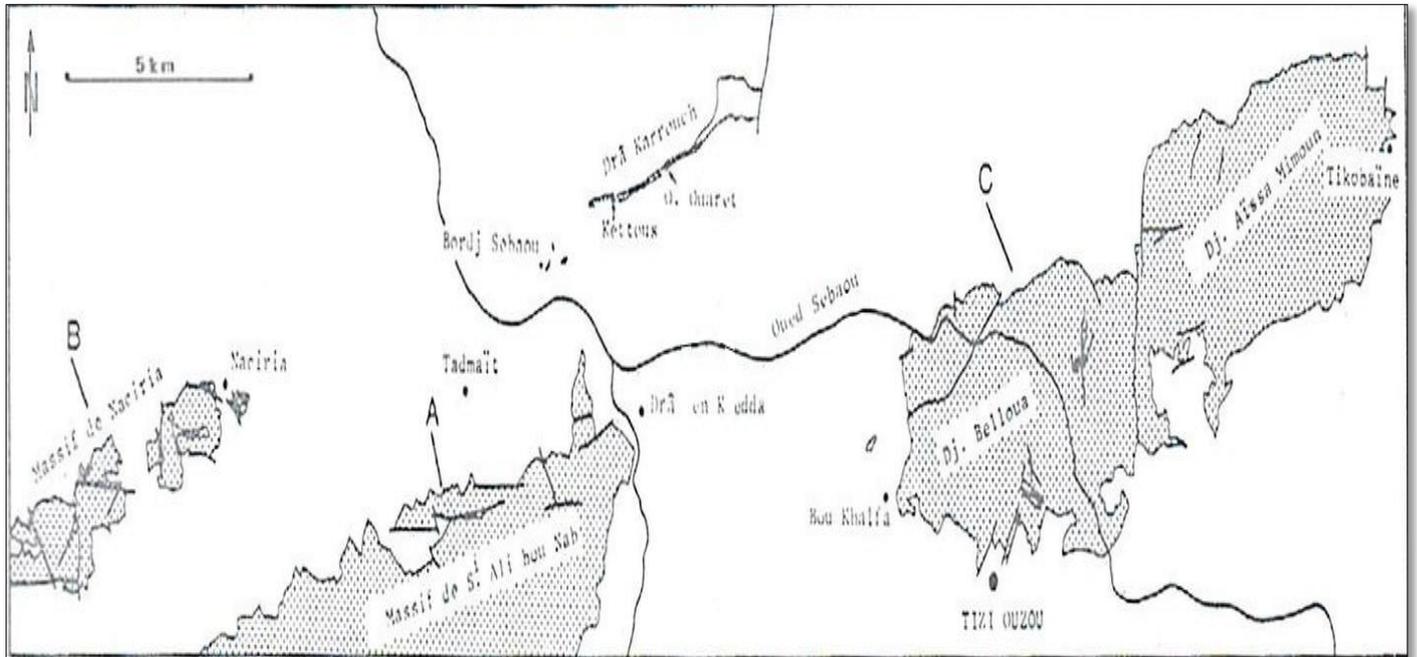


Fig.7 - Localisation des massifs du socle kabyle de la région de Tizi Ouzou (Grande Kabylie), (D. Raymond 1976).

1. Géologie :

Géologiquement, le massif de Sidi Ali Bounab fait partie des zones internes, avec un matériel essentiellement cristallophyllien. C'est le noyau de la série métamorphique du socle, fortement métamorphisé (SAADALLAH A. 2015).

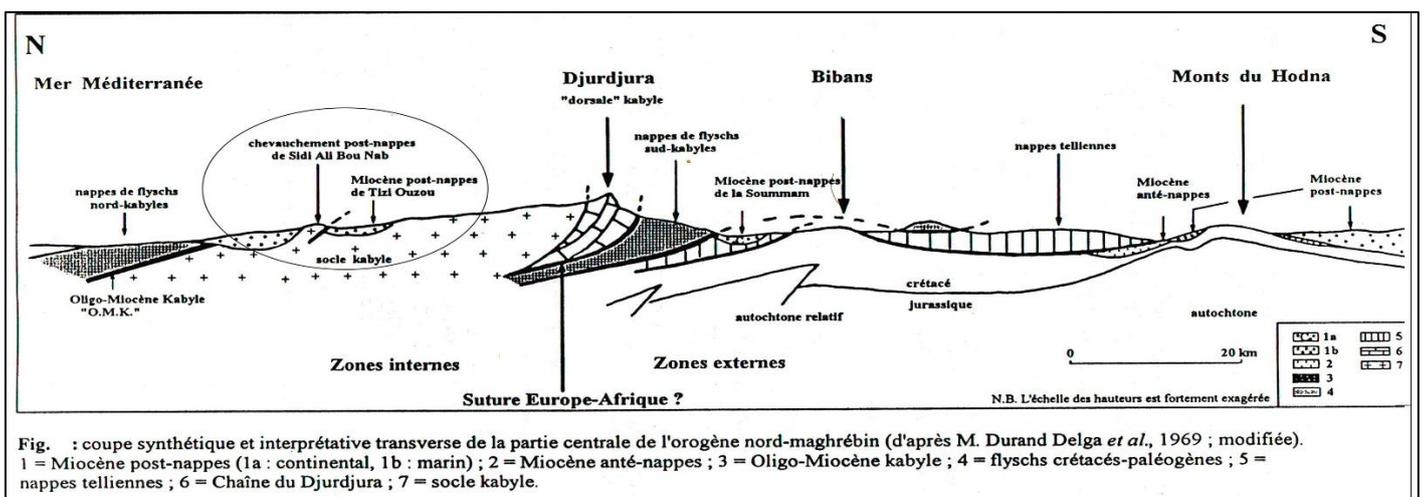


Fig. : coupe synthétique et interprétative transverse de la partie centrale de l'orogène nord-maghrébin (d'après M. Durand Delga *et al.*, 1969 ; modifiée).
1 = Miocène post-nappes (1a : continental, 1b : marin) ; 2 = Miocène anté-nappes ; 3 = Oligo-Miocène kabyle ; 4 = flyschs crétacés-paléogènes ; 5 = nappes telliennes ; 6 = Chaîne du Djurdjura ; 7 = socle kabyle.

Fig.8 – Coupe synthétique et interprétative transverse de la partie centrale de l'orogène nord-maghrébin (M. Durand Delga *et al.* 1969 ; modifiée par Aite).

Un ensemble essentiellement sédimentaire (Bassin miocène post nappes) constituant une couverture discordante sur le socle cristallin paléozoïque (Bouillin, 1977).

Cette dernière, empiète sur les deux versants nord et sud, respectivement aux altitudes 300 m et 624 m. Sa nature lithologique étant représentée par des grès microconglomératiques et des marnes.

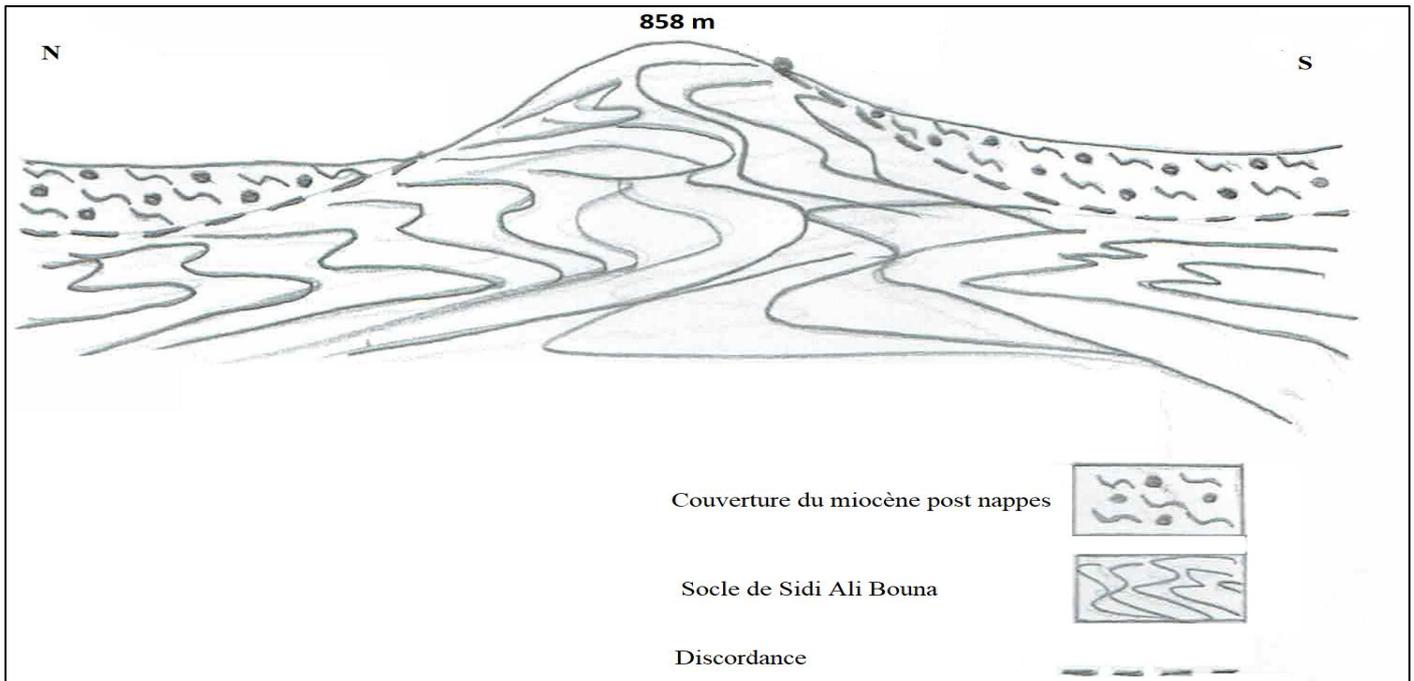


Fig.9 – Schéma montrant la discordance de la couverture miocène post nappes avec le socle de SAB (Source : Notre sortie sur terrain).

a. Versant sud de SAB (côté est) : Au pied de SAB, la couverture miocène post nappes est représentée par des formations marneuses, des grès microconglomératiques fossilifères, à ciment argileux et par d'autres grès micacés à matrice légèrement calcaire avec éléments de gneiss.

Le passage des grès et des marnes à des formations schisteuses (schistes et micaschistes) se fait au contact avec des bancs de cipolin inclinés (135°N) et, parfois par des intercalations de bancs de gneiss et de paragneiss.

Ces formations schisteuses plissées et broyées sont en contact avec les granites de SAB, au sommet, formant l'encaissant granitique.



Photo 1 - Grès fossilifères (Bivalve).



Photo 2 - Grès micacés avec éléments de gneiss.



Photo 3 - Gneiss.



Photo 4 - Gneiss quartzeux.



Photo 5 - Schistes plissés et broyés.



Photo 6 - Micaschistes.



Photo 7 - Schistes massifs avec des niveaux de quartz.



Photo 8 - Marbres.

b. Versant nord de SAB :

b.1. Côté est du versant nord de SAB :

Les formations géologiques rencontrées de ce côté-ci, depuis la base jusqu'à 631 m d'altitude, contiennent généralement des grès du miocène et les gneiss (Cf. Fig.10)

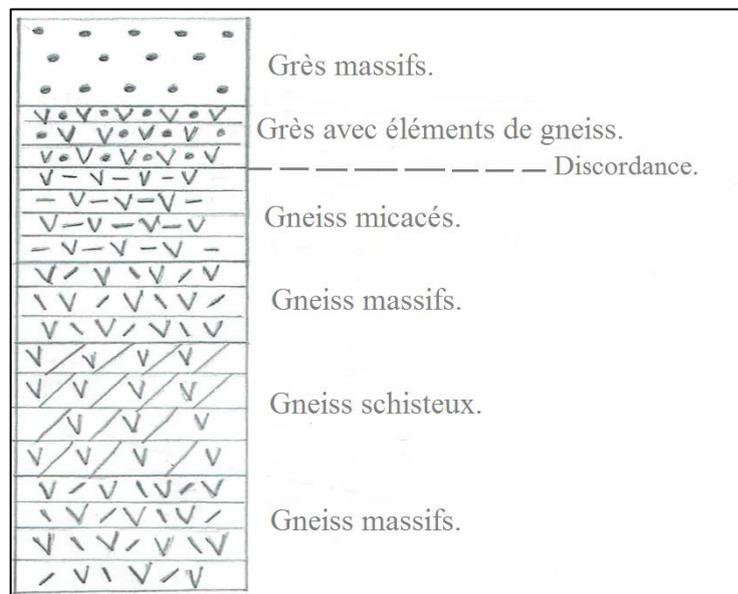
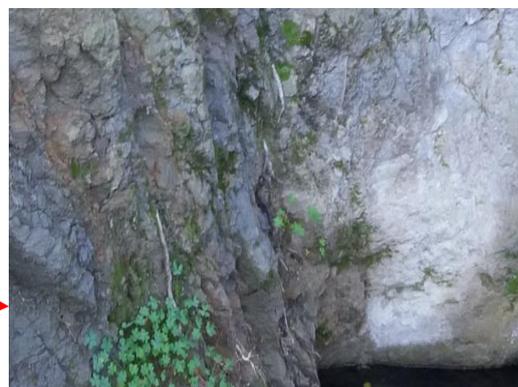


Fig.10 - Log stratigraphique du versant nord (côté est) de SAB.

b.2. Côté ouest du versant nord de SAB :

A la base de SAB (région Bouacem), nous constatons que les formations sédimentaires (marnes et grès fossilifères) atteignent une puissance importante, inclinées vers le nord.

Ensuite, on rencontre les formations de schiste recoupées par des granito-gneiss broyés. Au sommet, les granites recourent les micaschistes provoquant un métamorphisme de contact souligné par l'apparition de la pyrrophyllite en étoile et, des enclaves noires dues au métamorphisme de contact entre les granites et les schistes.



Photos 9 - Marnes gréseuses (à 272 m d'altitude).



Photo 10 - Grès microconglomératiques fossilifères.



Photo 11 - Grès fossilifères (Bivalve).



Photo 12 – Schistes recoupés par des granito-gneiss broyés (à 727 m d'altitude).



Photo 13 - Pyrophyllite en étoile (à 835 m d'altitude).



Photo 14 - Schistes traversés par des pegmatites de première et deuxième générations (à 895 m d'altitude).



Photo 15 - Enclave de schistes dans les formations granitiques (à 895 m d'altitude).

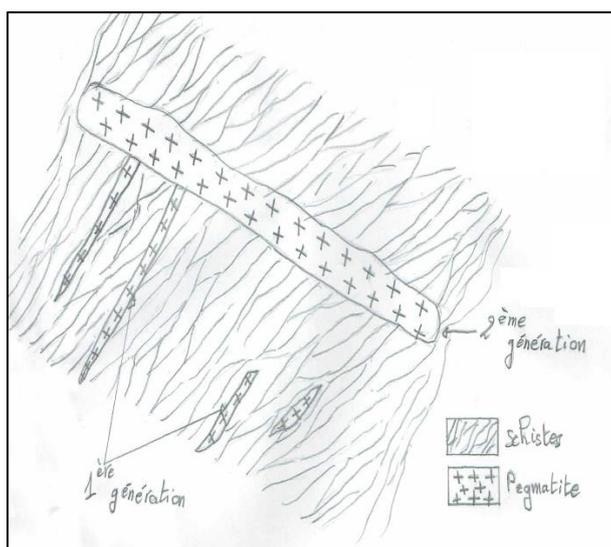


Fig.11 - Schéma représentant les schistes traversés par les pegmatites de première et deuxième générations, (Source: Notre sortie sur terrain).

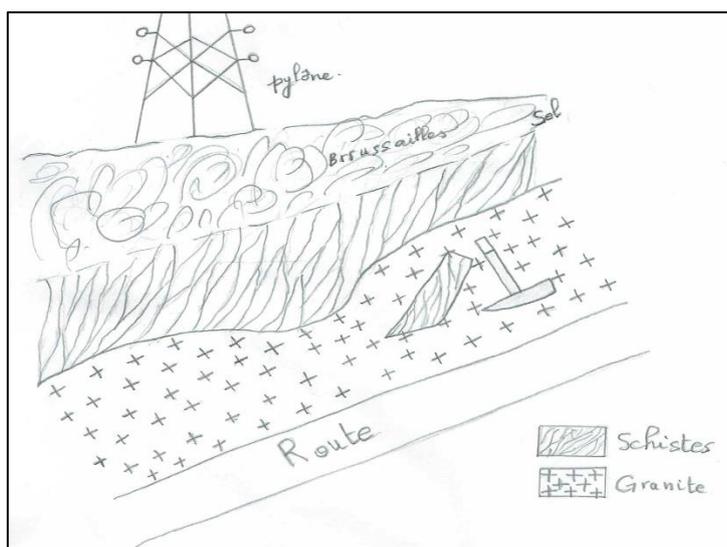


Fig.12 - Schéma représentant une enclave de schistes dans les formations granitiques, (Source: Notre sortie sur terrain).

Par ailleurs, on observe des calcaires massifs métamorphisés (cipolins) orientés N175 avec un pendage 39° au contact de blocs de granites. Le site est une grotte très spacieuse qui se trouve à 254 m d'altitude au niveau d'une ligne de sources (Ifri 01, Ifri 02, Ifri 03). Des dépôts de tufs massifs ont été également observés à l'intérieur.

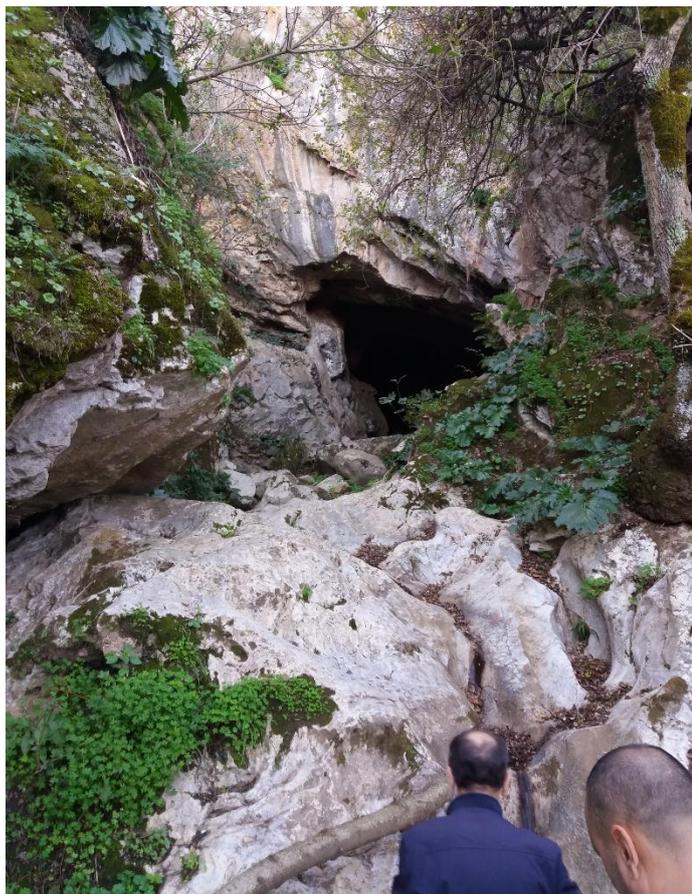


Photo 16 - Calcaires massifs métamorphisés (à 254 m d'altitude).

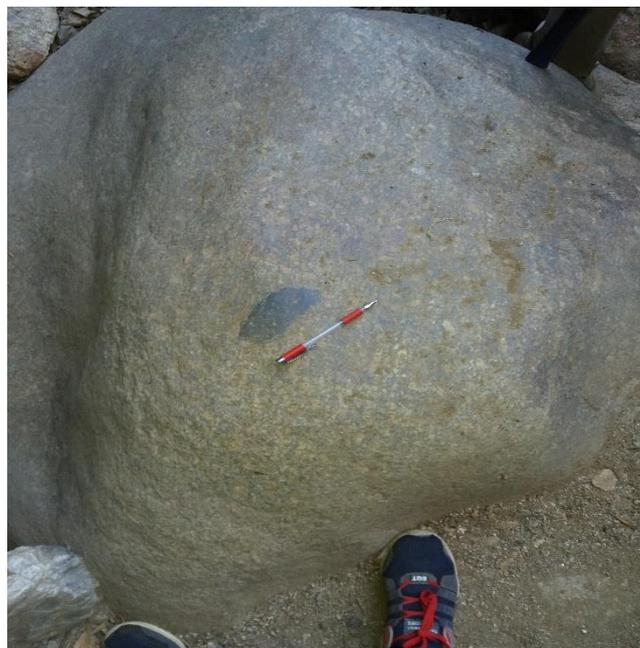
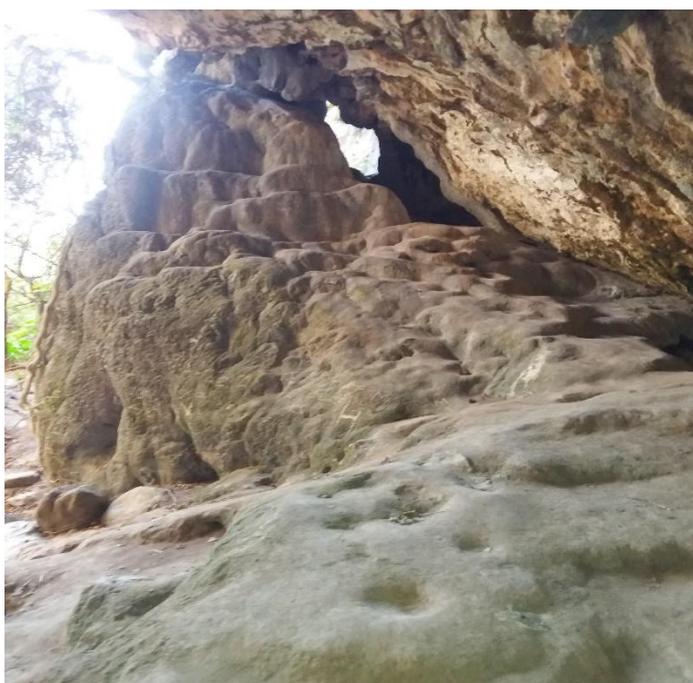


Photo 17 - Enclave noire dans un bloc de granite dans la grotte.



Photos 18 - Dépôts de tufs.

2. Tectonique :

Les conséquences du métamorphisme subies dans notre région d'étude, sont les transformations minéralogiques des roches par recristallisation, ainsi que les déformations cassantes (failles et décrochements) et parfois ductiles (formations plissées), suivies de développement de schistosité et de foliation.

La déformation cassante affecte tout le massif de Sidi Ali Bounab ainsi que le miocène post nappes.

D'après le diagramme de la caractérisation statistique des populations de fractures dans le massif de SAB, les fractures sont réparties en quatre directions N045, N065, N085, N135 (fig.11) dont :

- La N045 représente des décrochements très importants généralement senestres.
- Les N065 et N085 représentent quant à elles, soit la trace d'une déformation ductile, soit la trace d'une déformation cassante. Elles sont également très importantes, en particulier la N085.
- La N135 est caractérisée par des décrochements dextres, dont l'importance est relativement faible. (A.Bettahar 1990)

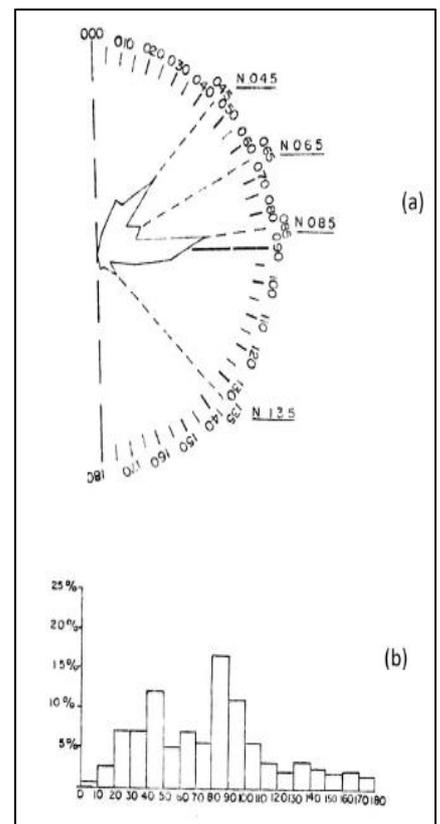


Fig.13 - Caractérisation statistique des populations de fractures dans le massif de SAB. Gde Kabylie, (A.Bettahar 1990)

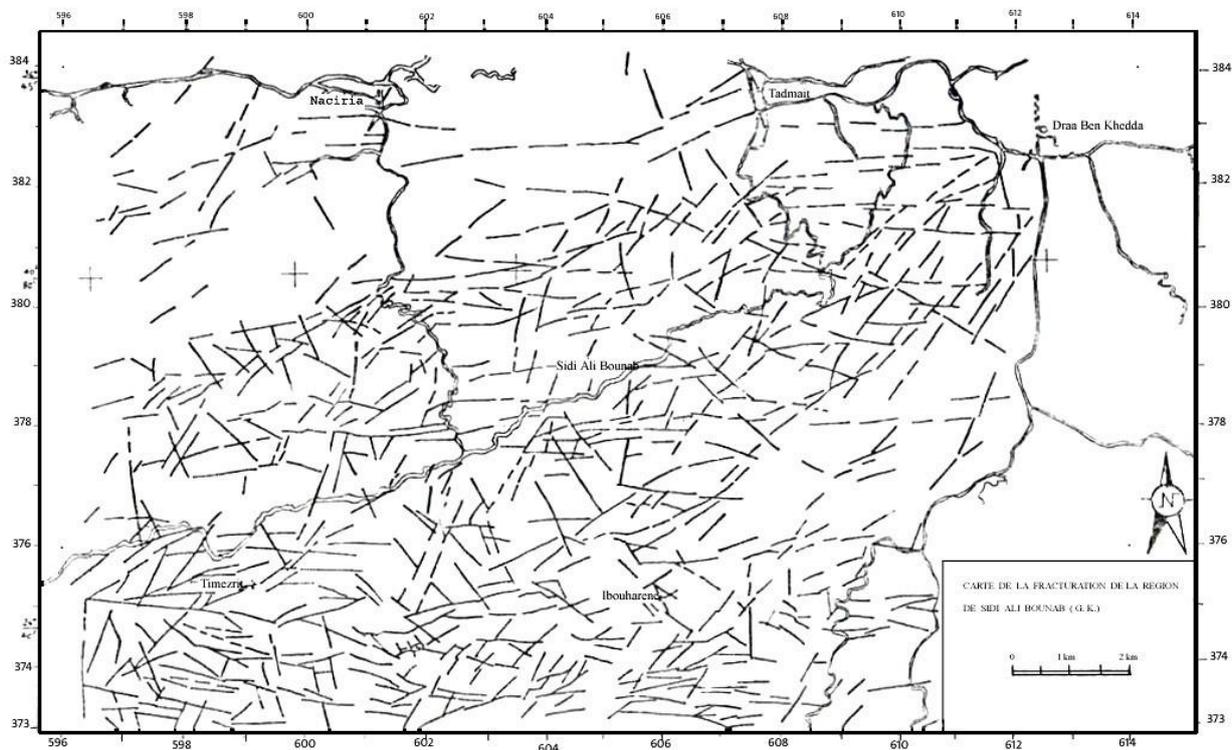


Fig.14 - Carte de la fracturation de la région de Sidi Ali Bounab (Gde Kabylie) (A. Bettahar 1990).

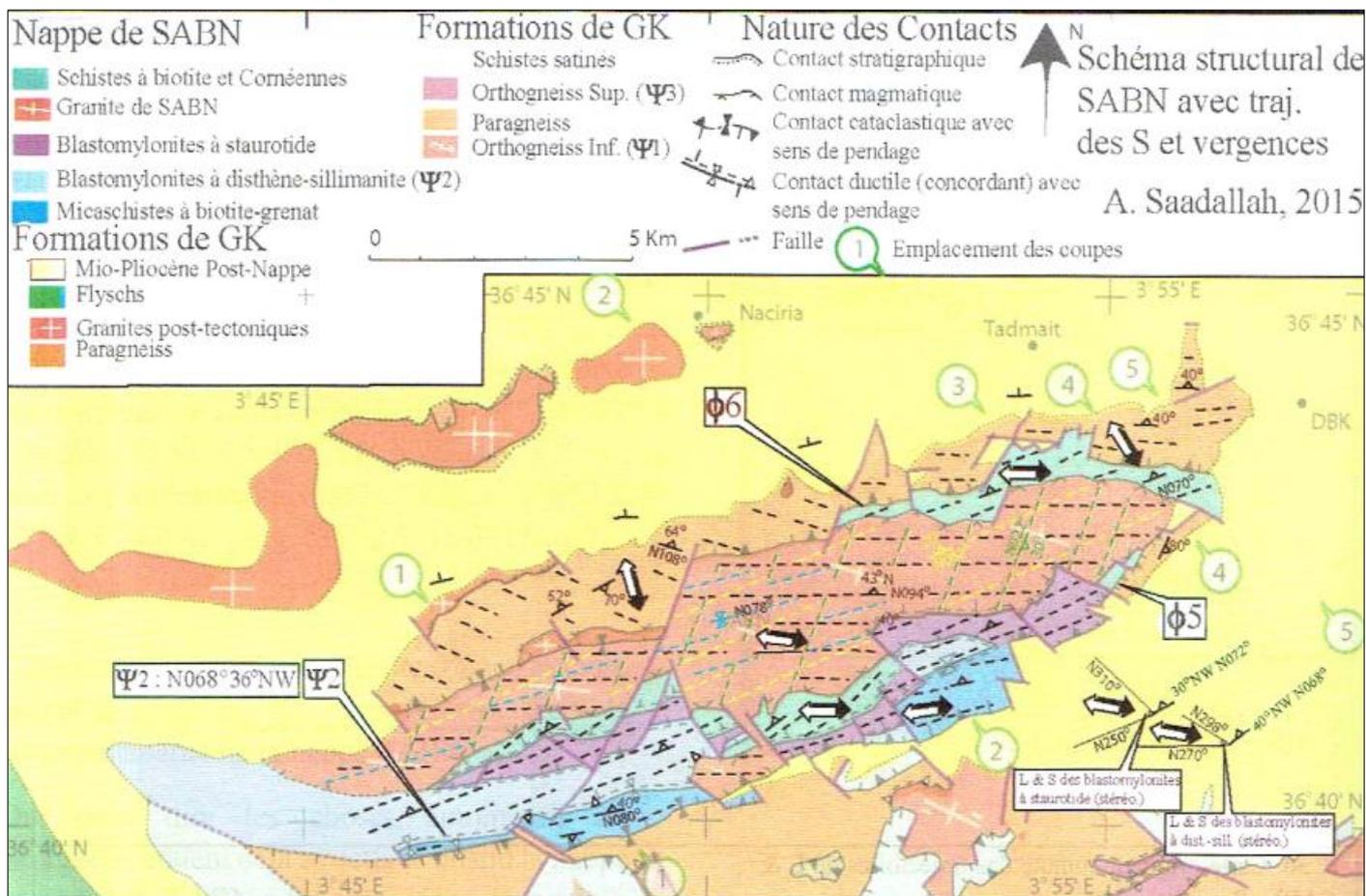


Fig.15 - Schéma structural et carte des trajectoires de linéation (L) et foliation (S) de SABN (Saadallah, 1992).

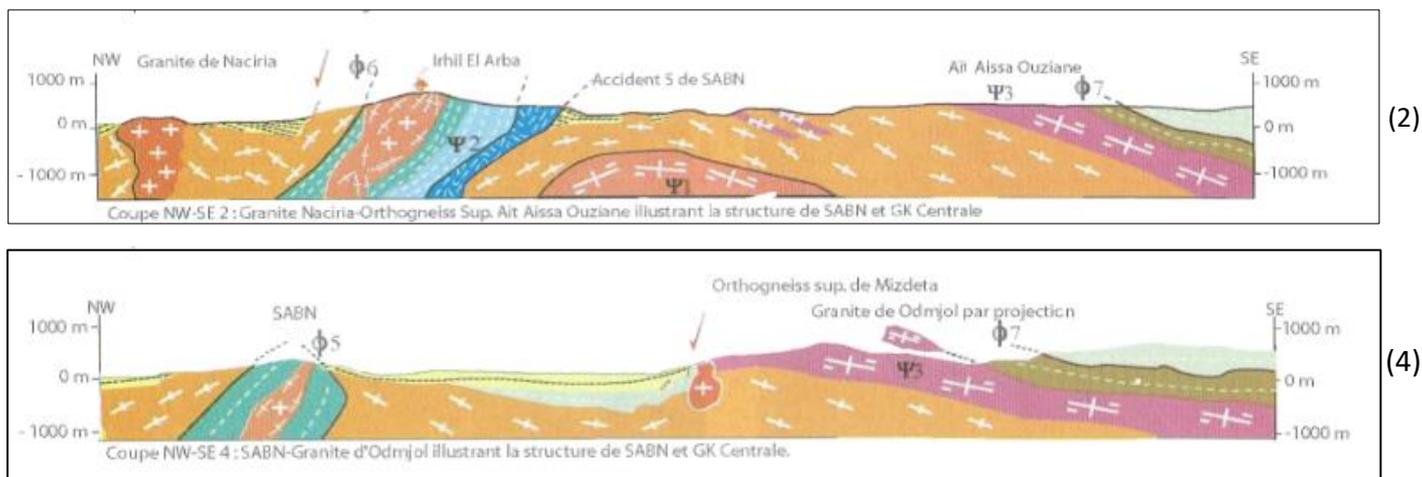


Fig.16 - Coupes sériées (2) et (4) illustrant la structure de Sidi Ali Bounab (A. Saadallah 2015).

Conclusion :

Le massif de Sidi Ali Bounab est constitué essentiellement de formations métamorphiques (gneiss, schistes) et magmatiques (granites), qui sont en discordance avec la couverture miocène post nappes (grès et marnes).

Cette région se caractérise par une tectonique développée et représentée par des déformations cassantes et parfois ductiles. Les fractures sont réparties en quatre directions principales N085 N045 N065 N135.

Chapitre III
Hydrogéologie

Introduction

Les aquifères fracturés, tel que ceux du socle cristallin métamorphique, se caractérisent par un intérêt croissant vu leur capacité à emmagasiner des ressources en eau. La compréhension de ces systèmes est un but essentiel en hydrogéologie, étant donné le caractère semi-aride du pays.

Ces milieux sont composés d'une roche relativement peu perméable, la matrice, présentant des fissures et/ou des failles de taille variable. Il en résulte des milieux très complexes pour lesquels l'hétérogénéité reste une caractéristique fondamentale.

1. Propriétés hydrogéologiques générales d'un aquifère fissuré :

Le milieu fissuré se distingue du milieu poreux, par le caractère discontinu. La fracturation est une discontinuité d'origine mécanique et tectonique (diaclasses, fentes, joints stylolitiques, joints, fractures et failles) qui est d'autant plus importante dans les roches dures. L'origine de cette fracturation en milieu de socle est :

- Le refroidissement des magmas granitiques lors de leur mise en place.
- Du aux phénomènes tectoniques après refroidissement des magmas.

Plus classiquement utilisée que la perméabilité, la conductivité hydraulique (K), exprimée en m/s. La porosité (ϕ) est quant à elle, définie comme le volume des vides pour un volume de roche unitaire, exprimée en %.

2. Répartition des points d'eau :

La ressource aquifère de Sidi Ali Bounab est représentée par de nombreuses sources généralement intarissables, réparties sur les deux versants nord et sud, situées souvent dans les talwegs (fig.18). Nous n'avons pu visiter que 22 sources, 02 forages et 01 puits. Notre inventaire des points d'eau (source, forage, puits) est bien en de ça de la réalisation du terrain.

En général les eaux de cet aquifère sont captées par :

- a. **Les sources** : sont nombreuses mais avec un débit faible intarissable pour la majorité des sources, il est entre 0,1 et 1 l/s, cela revient à la circulation lente des eaux dans les zones altérées de faible perméabilité.
- b. **Les forages** : captent l'eau à des profondeurs comprises le plus souvent entre 20 m et 80 m.
- c. **Les puits** : sont généralement peu profonds, bâtis en pierres sèches ; dans le cas de puits mécanisés, ils sont composés de buses en béton armé pourvues de barbacanes au droit des niveaux productifs, (fig.17) (BRGM ; 1986).

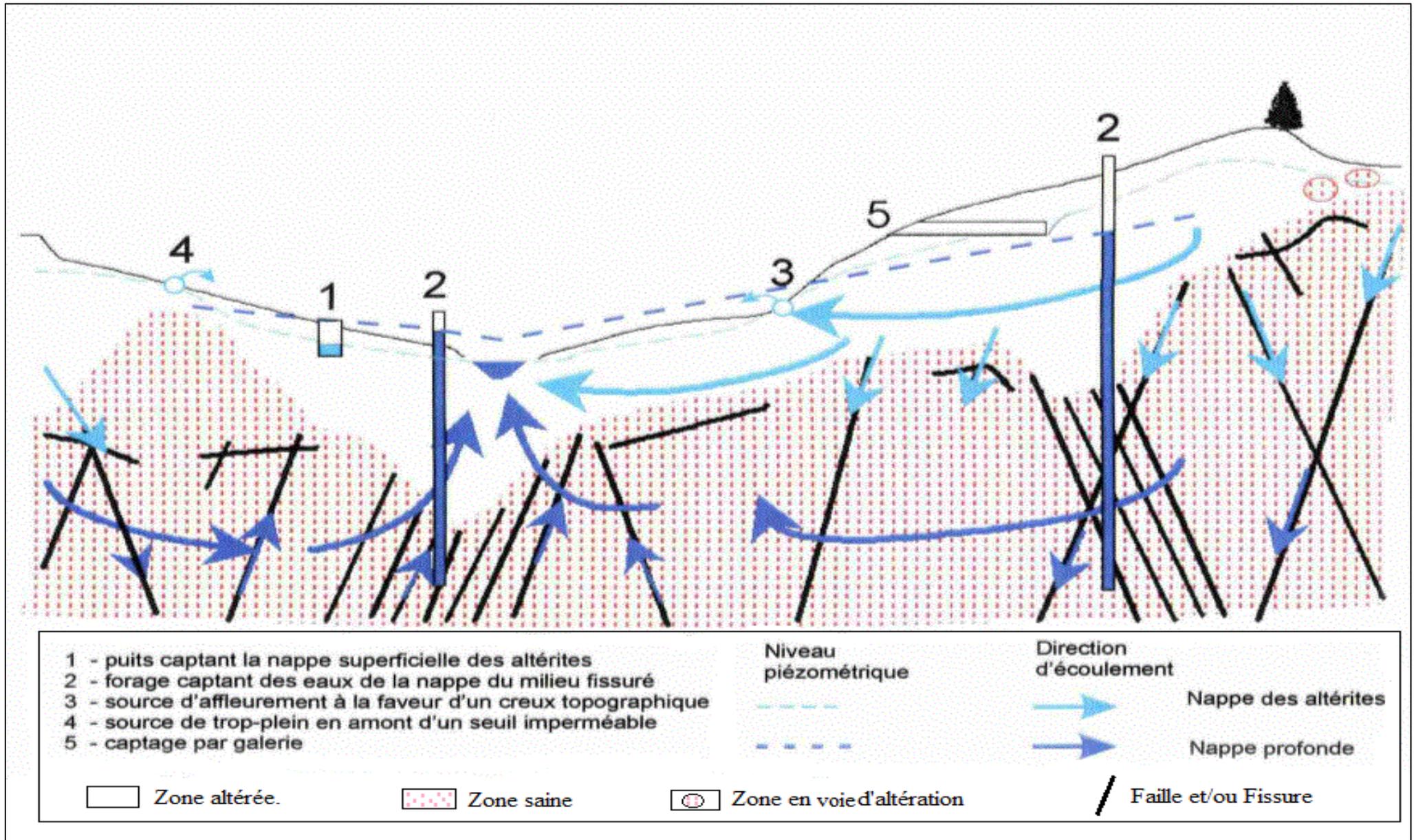


Fig.17 : Schéma d'écoulement souterrain en milieu fissuré (BRGM).

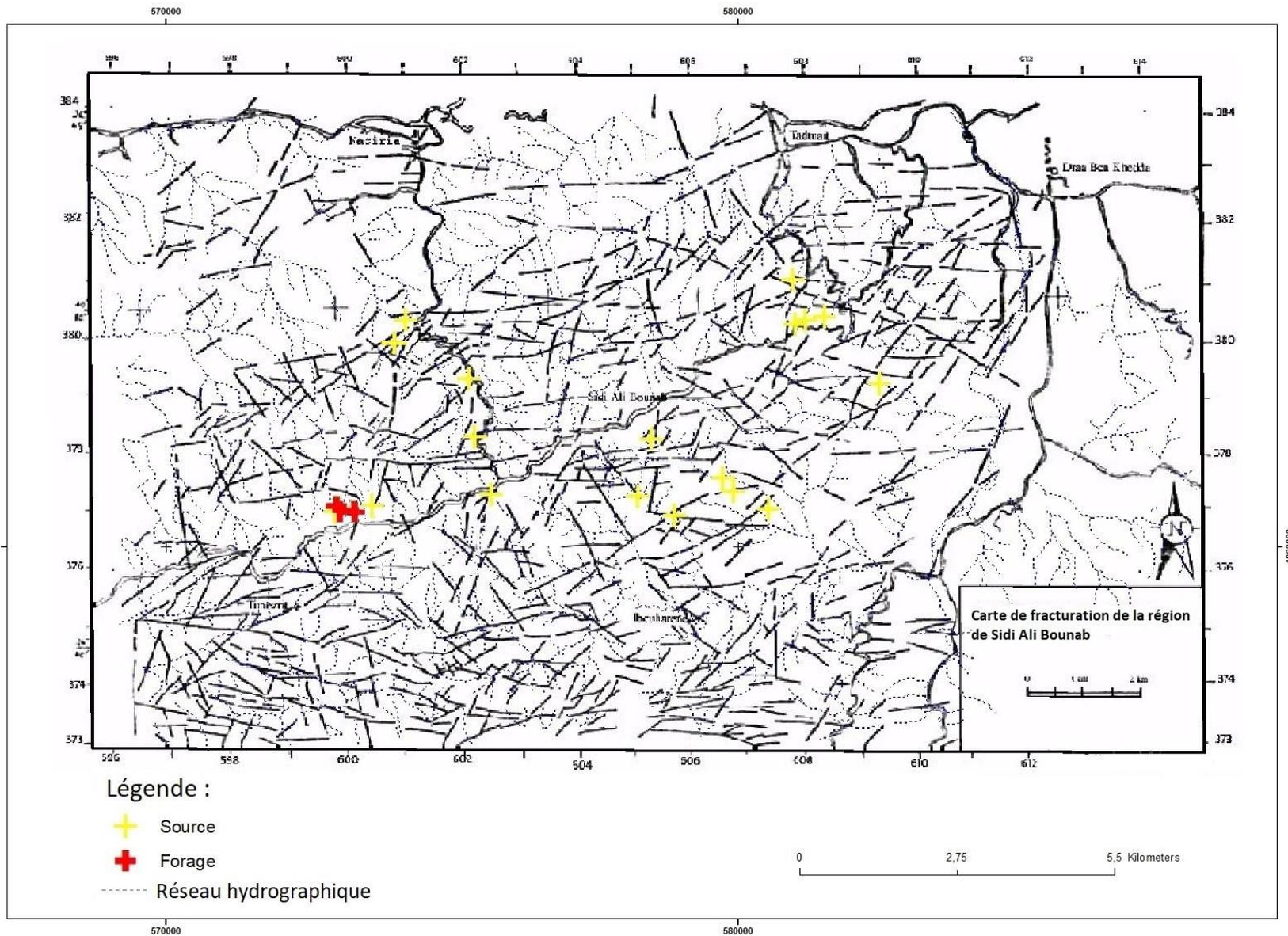


Fig.18 - Carte de localisation des points d'eau sur la superposition du réseau hydrographique et la carte de fracturation (A. Bettahar 1990).

La figure (18) montre que les sources se situent sur des fractures ou juste à proximité, ce qui nous permet de justifier tectoniquement l'émergence de ces sources.

Par ailleurs, le réseau hydrographique coïncide avec la carte de fracturation.

❖ **Calcul de gradient hydraulique et déduire le sens d'écoulement entre le forage 01 et le forage 02 :**

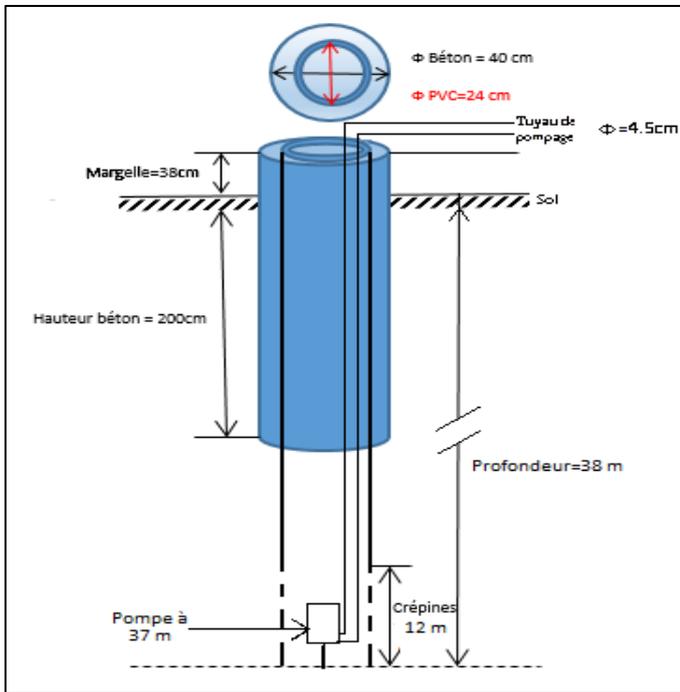


Fig.19 - Schéma du forage Ighil 01.

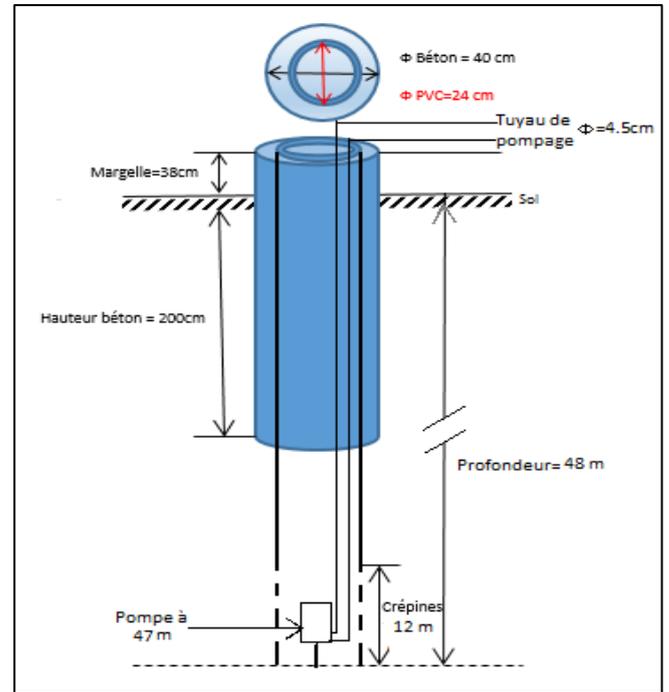


Fig.20 - Schéma du forage Ighil 02.

Le niveau piézométrique est la différence entre la surface de sol et la profondeur de l'eau (forage, puits, piézomètre), exprimé en mètre :

$$NP_{01} = 812 - 13 = 799 \text{ m}$$

$$NP_{02} = 800 - 18 = 782 \text{ m}$$

D'après les résultats des niveaux piézométriques, le sens d'écoulement se fait du forage 01 vers le forage 02.

Le gradient hydraulique est la perte de charge par unité de longueur :

$$i = \frac{\Delta h}{L} = \frac{799 - 782}{333,23} = 0.05$$

3. Conditions d'écoulement :

La circulation et l'infiltration des eaux en zone de socle dépend de :

- L'importance ou densité de fractures : représente le nombre des fractures par unité de surface.
- De l'ouverture et du remplissage des fractures par des matériaux peu perméables : les fractures parallèles aux directions des contraintes sont souvent les plus ouvertes, contrairement aux fractures perpendiculaires à cette direction sont les plus fermées.
- De la connexion entre les fractures : cette condition favorise l'infiltration, aussi bien que la recharge des nappes (BRGM).

4. Caractéristiques du débit des sources :

L'inventaire de sources est réalisé en période de hautes eaux, mais on a eu l'opportunité de sortir avant et après les premières pluies, ce qui nous a permis d'estimer la différence des débits.

Sachant que le débit d'une source augmente en période des hautes eaux par la recharge de la nappe, nous avons eu à vérifier ce constat. Les sources vérifiées marquent un débit plus élevé. (Tableau1.a, source n°19)

L'importance des débits dépend de la pluviosité, du taux de fracturation et de la pente des versants.

Conclusion :

Au point de vue hydrogéologique, l'aquifère de Sidi Ali Bounab, compte tenu de sa modeste perméabilité, en comparaison à celle des autres types de milieux (poreux ou karstique), se caractérise par la présence de nombreuses sources éparpillées et quelquefois concentrées en formants des lignes de sources, en plus des émergences qui diffusent à l'origine d'un réseau hydrographique très dense.

Deuxième partie :
Descriptions des points d'eau.

Chapitre I
Typologie des sources

1. Étymologie et histoire brève du terme « source » :

D'abord sorse (XIII^e siècle), féminin substantivé de sors, ancien participe passé de sourdre (XIII^e siècle), du latin surgere, « se lever, surgir », par l'intermédiaire d'un participe passé populaire sursus, classique surrectus. Enfin, la forme source apparaît au XIV^e siècle.

Le terme source a été longtemps en concurrence avec fontaine (Cf. B. Palissy, 1580 et P. Perrault, 1674). D'ailleurs la dite fontaine de Vaucluse est le type de source vauclusienne. (J. Margat, 1996).

2. Définitions d'une source :

Les définitions suivantes ont été puisées de références incontournables.

- Lieu et phénomène d'apparition et d'écoulement naturel d'eau souterraine à la surface du sol, assez bien individualisés et à l'origine en général d'un cours d'eau de surface. (Dictionnaire français d'hydrogéologie, 1977).

- Les sources représentent les points de sortie des eaux souterraines. (H. Schoeller, 1962).

- Eau coulant librement d'un rocher ou d'un sol quelconque par une ou plusieurs issues à débit individualisé (griffon) ou par un suintement (source diffuse). (Dictionnaire français d'Hydrologie de surface, M. Roche, 1986).

- Les sources sont les orifices (tangibles ou masqués) par où l'eau souterraine (ou une partie de cette eau) revient spontanément au jour. (Encyclopédie).

Remarque : Des termes relativement courants, sont associés à la dénomination de source, tels que griffon (orifice d'émergence) et exutoire (issue par laquelle l'eau sort d'un aquifère).

3. Différents types de sources :

On distingue deux modes de classification qui permettent de qualifier une source.

3a/ Selon le régime d'écoulement :

La régularité ou la variabilité du débit d'une source au cours du cycle hydrologique, permet de distinguer :

3a1/ Source pérenne (ou permanente) :

Indépendamment des épisodes pluvieux, c'est-à-dire, hautes et/ou basses eaux, l'écoulement reste permanent. Le débit peut diminuer, mais ne tarit jamais. Ces sources sont généralement situées aux points bas du réservoir. C'est le cas de Lalla Khedidja, au Djurdjura, et Bouyadif au versant sud de Sidi Ali Bounab.

3a2/ Source temporaire (ou saisonnière) :

Elle représente un exutoire de nappe qui permet l'évacuation de débits de trop-plein, à une cote supérieure, lors de la réalimentation de la nappe, en hautes eaux. Elle tarit au cours du cycle hydrologique. La fréquence de ce type de source, quel que soit le contexte hydrogéologique, est très élevée.

3a3/ Source intermittente :

Source à débit discontinu dont l'écoulement est périodiquement interrompu par intervalles plus ou moins réguliers, même en régime non influencé (période de tarissement).

Elles ne sont pas fréquentes. Elles se rencontrent en milieu karstique et lors des remontées de geysers (Islande).

3b/Selon les conditions hydrogéologiques :

3b1/Sources issues de milieux poreux homogènes :

3b1.1/Source de déversement :

Source située au contact du mur imperméable d'un aquifère, et issue d'une nappe libre.

*Source de talus (annexe 1a).

*Source de terrasse (annexe 1b).

*Sources reportées (annexe1c).

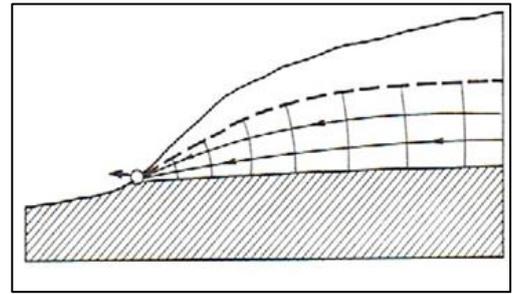


Fig.21 - Source de déversement (Castany et Margat, 1977).

3b1.2/ Source de débordement :

Source située au contact du toit imperméable d'un aquifère, à la limite d'une nappe libre et d'une nappe captive.

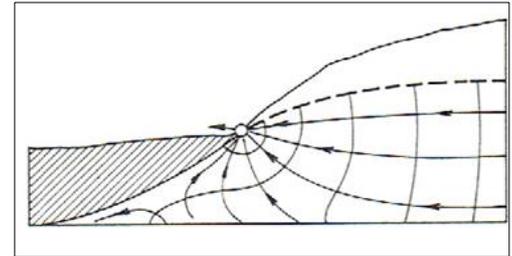


Fig.22 - Source de débordement (Castany et Margat, 1977).

3b1.3/ Source de trop-plein :

Source située au contact du mur imperméable d'un aquifère, issue d'une nappe libre de trop-plein, souvent comprise dans une ligne de source. On les rencontre souvent lorsque le niveau de base géologique est plus bas que le niveau de base topographique.

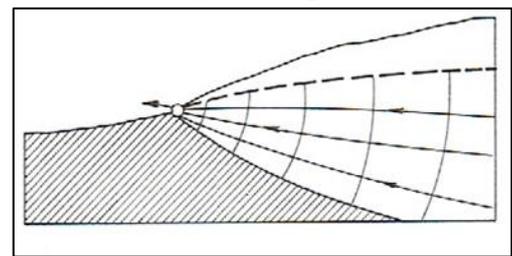


Fig.23 - Source de trop plein (Castany et Margat, 1977).

3b1.4/ Source de dépression (ou d'émergence) :

Source provoquée par l'intersection de la surface du sol avec la surface d'une nappe libre, sans incidence d'une limite imperméable de l'aquifère. On l'appelle aussi, source d'émergence ou de thalweg.

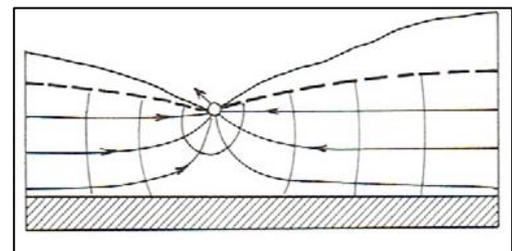


Fig.24 - Source de dépression (Castany et Margat, 1977).

3b2/Sources issues de milieux poreux hétérogènes :

3b2.1/Source vaclusienne (ou de karst) :

Type particulier de source de karst, formée par l'aboutissement d'un conduit subvertical pouvant être la branche ascendante d'un siphon inverse et pénétrable seulement par plongée, dont la fontaine de Vaucluse est le type classique.

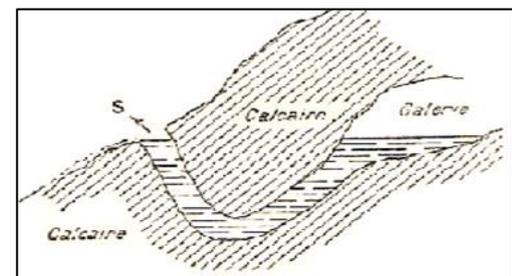


Fig.25 - Source vaclusienne (Castany et Margat, 1977).

3b2.2/Source intermittente :

Source à débit discontinu dont le débit est périodiquement interrompu par intervalles plus ou moins réguliers.

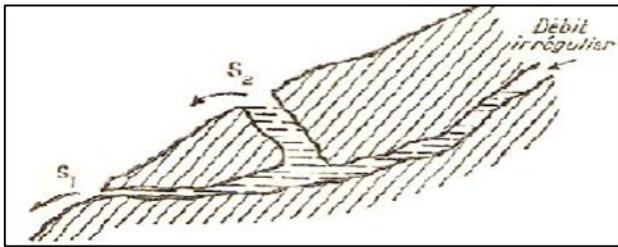


Fig.26 - Source intermittente par variation de débit

(Castany et Margat, 1977).

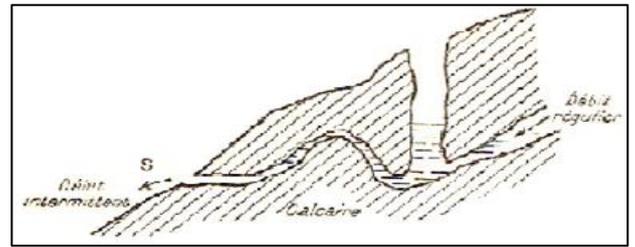


Fig.27 - Source intermittente à siphonnement

(Castany et Margat, 1977).

3b2.3/Résurgence :

Retour au jour d'une rivière souterraine provenant de l'engouffrement, de pertes d'un ou de plusieurs cours d'eau de surface dans un aquifère karstique.

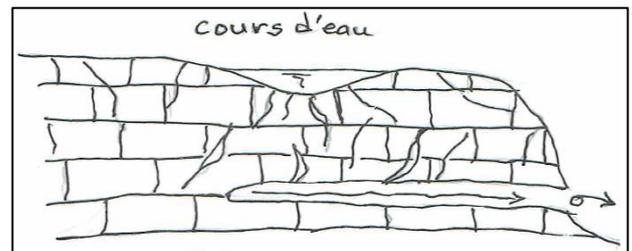


Fig.28 - Source de résurgence.

3b2.4/Exsurgence :

Émergence d'un réseau de fissures aquifères, d'une rivière souterraine, dont l'eau ne provient pas d'une perte connue d'un cours d'eau de surface, donc dont l'aire d'alimentation est entièrement comprise dans le domaine aquifère dont elle est issue.

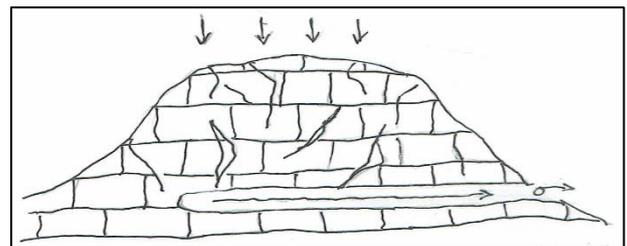


Fig.29 - Source d'exsurgence.

3b3/Sources issues de terrains fracturés :

Les réseaux de fractures ouvertes ou non dans les terrains cristallins ou calcaires favorisent les infiltrations d'eaux météoriques qui rejaillissent en surface lorsque les conditions hydrogéologiques le permettent. En général, leurs débits ne sont pas très importants. Elles apparaissent sous forme de :

3b3.1/Sources de failles et de zones de broyage :

Des lignes de sources le long de certaines failles peuvent apparaître. Les sources thermominérales émergent dans ce contexte. De direction ascendante, elles peuvent être jaillissantes.

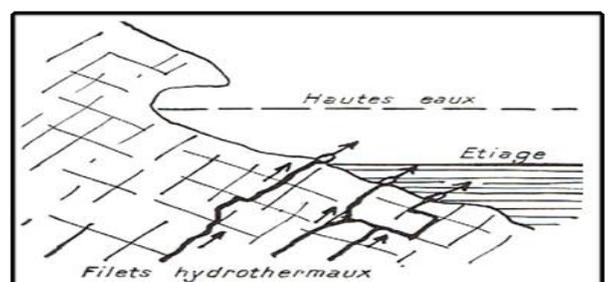


Fig.30 - Source de failles et de zones de broyage

(Castany et Margat, 1977).

3b3.2/Sources de diaclases et de fissures fines :

Ces sources sont observées en terrains calcaires et/ou cristallins. Le mouvement de l'eau, depuis l'infiltration jusqu'à l'émergence, est favorisé par la perméabilité de fissures.

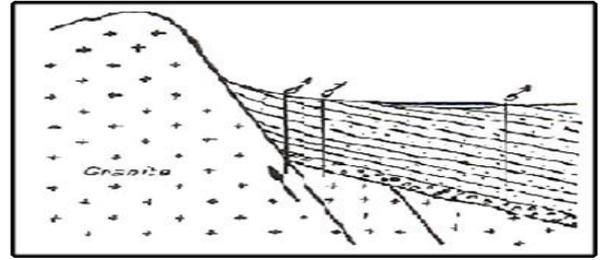


Fig.31 - Sources de diaclases et de fissures fines (Castany et Margat, 1977).

4. Classification des sources :

La variété des sources impose leur classification selon des critères différents, notamment :

4a/ L'origine des eaux :

Eaux météoriques, eaux juvéniles (eau d'origine profonde –magmatique/ eaux vadoses (eau de la zone non saturée), eaux mixtes (mélange des deux).

4b/ La composition chimique des eaux :

Suivant les anions et les cations dominants, on distingue : eaux bicarbonatées calciques, bicarbonatées magnésiennes, sulfatées calciques, chlorurées calciques, etc... Parfois, les eaux naturelles sont scindées selon le degré de minéralisation qui permet de distinguer des eaux douces (1 à 10 g/l), des eaux salées (10 à 50 g/l) et les saumures (>50g/l).

4c/La température des eaux :

Comparées à la moyenne annuelle de la température de l'air à l'emplacement de la source, on distingue des eaux isothermales, hypothermales et thermales (>20° C).

5. Régime des sources :

L'observation du phénomène de vidange des nappes a permis à E. Maillet et A. Boussines d'établir des lois de tarissement empiriques, applicables aux sources en régime « non influencé », c'est-à-dire à l'étiage. Celles-ci, scindées en deux, répondent aux formules respectives suivantes :

5a/ Sources pérennes :

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$$

Q_t : débit en m³/s à l'instant t

Q_0 : débit à l'instant t_0 pris comme origine du tarissement.

α : coefficient de tarissement, sans unité, dépend de la nature géologique du terrain.

t : temps en jours.

La résolution de cette équation par G. Castany, en passant par les logarithmes, donne :

$$\lg Q_t = \lg Q_0 - (0,4343\alpha) t$$

Fonction représentée par une droite dans un repère semi-logarithmique. Ainsi, l'ordonnée à l'origine donne graphiquement la valeur de Q_0 ; quant à α (coefficient de tarissement), il est déterminé par le coefficient angulaire de cette même droite.

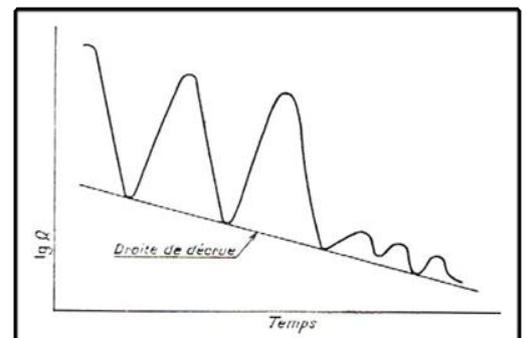


Fig.32 - Courbe de tarissement pour des décrues successives (G. Castany, 1963)

5b/Sources temporaires :

$$Q_t = \frac{Q_0}{(1 + \alpha t)^2}$$

Cette formule indique que le tarissement est plus rapide que dans le cas précédent.

La détermination graphique de Q_0 et de α , comme précédemment, mais sur un diagramme arithmétique, s'obtient après avoir opéré la transformation de l'équation ci-dessus, par :

$$\frac{1}{\sqrt{Q_t}} = \frac{1}{\sqrt{Q_0}} + \frac{\alpha}{\sqrt{Q_0}} t \text{ (équation d'une droite).}$$

Cependant, l'allure des hydrogrammes obtenus, quel que soit le type de source, est très variable.

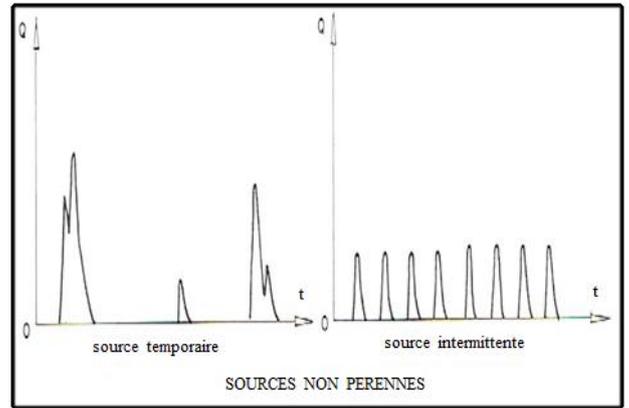
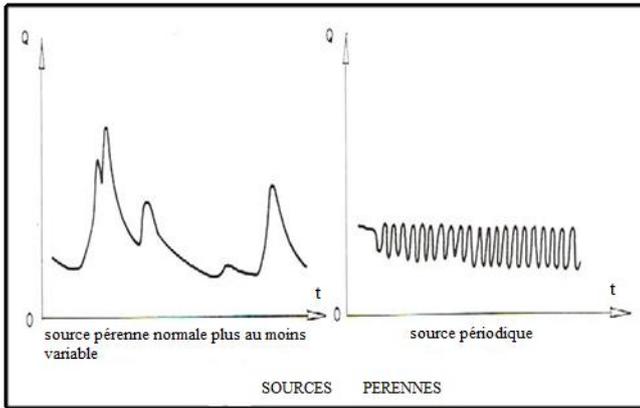


Fig.33 - Modèles de régime de sources pérennes

Fig.34 - Modèles de régime de sources non pérennes

(G. Castany et J. Margat, 1977)

6. Captage des sources :

Le captage des sources est matérialisé par un ouvrage de prise d'eau souterraine à des fins d'utilisation, par gravité. La mobilisation optimale de l'eau en est le but principal, quel que soit la configuration de l'émergence (ponctuelle, multiple, ou diffuse). L'ouvrage de collecte peut être rudimentaire ou élaboré (construit, dimensions adaptées, compartimenté, protégé,...). Cependant, il s'avère que nombreuses sont les sources qui ne sont pas captées, eu égard à leur faible débit, leur saisonnalité, et leur éloignement. Parmi les modes de captage relativement courants, on rencontre :

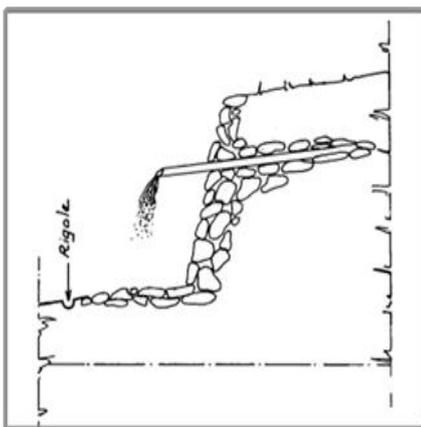


Fig.35 - Schéma d'un captage simple. (Comité interafricain d'étude hydraulique).

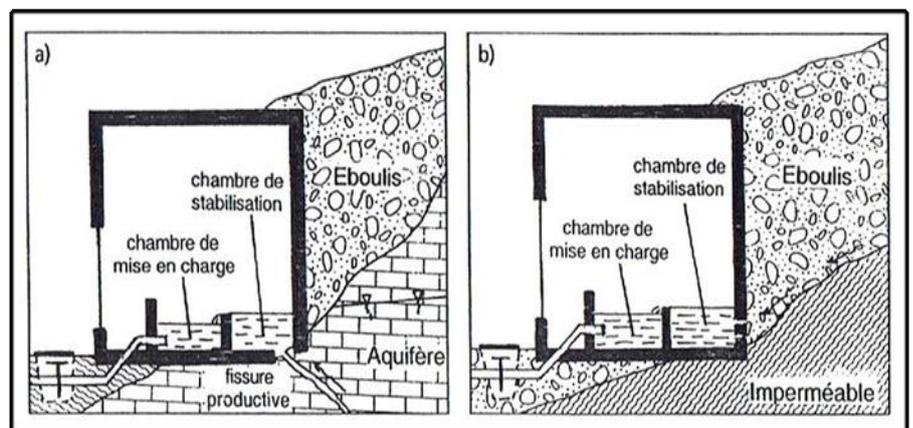


Fig.36 - Schémas de captage de source réglementaires. Source Karstique (a) et source de thalweg (Mudry, 2004).

7. Protection des sources :

Les périmètres de protection sont instaurés autour des captages, après une procédure technique et administrative. Ils correspondent à un zonage établi autour des points de captage d'eau potable, constituent le moyen privilégié pour prévenir et diminuer toute cause de pollution locale, ponctuelle et accidentelle qui peut altérer la qualité des eaux prélevées (Wisnchen, 2011).

Selon de Décret du 23 décembre 2007 relatif aux périmètres de protection quantitative des ressources en eau, trois paramètres ont été distingués :

7a/ Périmètre de protection immédiate :

A pour fonction d'empêcher la détérioration des ouvrages de prélèvement et d'éviter que des déversements ou des infiltrations de substances polluantes se produisent à l'intérieur ou à proximité immédiate du captage.

Selon la réglementation, toutes activités, installations et tous dépôts y sont interdits en dehors de ceux qui sont explicitement autorisés dans l'acte déclaratif d'utilité publique.

7b/Périmètre de protection rapprochée :

Doit protéger efficacement le captage vis-à-vis de la migration souterraine des substances polluantes. Son étendue est déterminée en prenant notamment en compte :

- Les caractéristiques physiques de l'aquifère et de l'écoulement souterrain.
- Le débit maximal de pompage.
- La vulnérabilité.
- L'origine et la nature des polluants contre lesquelles il est nécessaire de protéger les eaux souterraines.

Dans les situations complexes, le périmètre de protection rapprochée peut comporter plusieurs zones, disjointes ou non, délimitées suivant la vulnérabilité de l'aquifère et la distance de point de captage.

A l'intérieur de ce périmètre sont interdites les activités, installation et dépôts susceptibles d'entraîner une pollution de nature à rendre l'eau impropre à la consommation humaine et soumises à autorisation.

7c/Périmètre de protection éloignée :

Prolonge éventuellement le précédent pour renforcer la protection contre les pollutions permanentes ou diffuses.

(Périmètre de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine, A.LALLEMAND-BARRÉS et J-C. Roux, Édition BRGM).

Conclusion :

La typologie des sources est basée sur la variabilité du débit qui permet de distinguer des sources permanentes, saisonnières et périodiques, ainsi que sur les conditions hydrogéologiques en terme de l'homogénéité et l'hétérogénéité du terrain poreux aussi bien l'hétérogénéité du terrain fracturé.

La classification des sources repose sur des critères relatifs à l'eau ; l'origine de l'eau, composition chimique de l'eau (eau sulfaté calcique,...etc.) et la température de l'eau (eaux thermales, hypothermales, isothermales).

Vu la complexité structurale de notre région d'étude, la détermination du type de sources visitées est très difficile. Celles identifiées sont du type "de dépression" ou "de déversement", localisées en plein oued.

Les sources sont des exutoires naturels des nappes. L'eau est canalisée par gravité vers le lieu d'utilisation. Les sources importantes sont maintenant le plus souvent aménagées, notamment par des chambres de

captages et des dispositifs permettant le contrôle de la hauteur du seuil d'émergence. Elles peuvent aussi comporter des drains ou des galeries drainantes.

La protection des points de prélèvement d'eau destinée à la consommation humaine est réalisée par la mise en place de périmètres et de dispositifs de protection définis pour un débit maximal de prélèvement et destinés à faire obstacle aux éléments polluants susceptibles d'altérer de façon significative la qualité des eaux (BRGM, 1998).

Chapitre II
Inventaire des points d'eau

Introduction :

Un inventaire a été fait dans le but de voir l'importance de l'aquifère, son extension, son niveau de remplissage et confirmer le degré de fracturation ainsi que de déterminer la qualité physico-chimique de l'eau des sources de SAB et de leurs caractéristiques. La réalisation de ce travail est l'aboutissement de plusieurs sorties sur le terrain effectuées par nos propres moyens, suivant ces démarches :

- Contexte géologique, prise de photos, positionnement à l'aide d'un GPS (coordonnées X Y Z) et type de source.
- Prise de mesures : Température de l'eau et de l'air, pH, conductivité σ , débit de l'eau.
- Enquête éventuelle pour supplément d'informations.
- Prélèvement d'eau dans certaines sources (échantillonnage).
- Prise des remarques (aménagement, couleur et odeur...etc.).

En guise de complément d'information, nous avons consulté a maintes reprises les archives des services de :

- La Direction des ressources en eaux de la Wilaya de Tizi-Ouzou (DRE).
- L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de Tizi-Ouzou(ANRH).

La localisation in situ a été faite avec un récepteur GPS de marque (GARMIN, e Trex Venture) qui est doté d'une précision de 2 à 12 m. Le principe c'est de capter les signaux d'au moins six satellites et calcule de la position en fonction des informations reçues.

Confrontés aux nombreux systèmes d'information géographique adaptés au monde de la micro-informatique, la représentation graphique des différentes sources d'eau de notre zone d'étude c'est réalisé sur ArcGis pour bénéficier d'un produit performant, évolutif, largement diffusé auprès des utilisateurs.

La carte topographique utilisée est celle de Bordj Menaïel Est à l'échelle de 1/50 000 que nous avons découpée (Cf. annexe 6).

1. Inventaire :

a. Versant sud du massif de Sidi Ali Bounab :

a.1. Tala Bouyadif :

Située à 6 m d'un Oued et à 100 m en haut de la route (virage), dans la région d'Ath khercha, à une altitude de 215 m. La source est bétonnée (griffon non visible), avec un écoulement intarissable, qui alimente deux réservoirs dont le premier est situé à 6 m de la source, et le deuxième est au bord de la route, celui-ci est javellisé, situé à une altitude de 202 m. L'eau est propre et est destinée à l'AEP.

Contexte géologique : marbres (calcaire cristallin).



Photo 19 - Le premier réservoir non javellisé.



Photo 20 - Le deuxième réservoir javellisé.

a.2. Tala Oumazigh :

Située au bord de la route à une altitude de 313 m. C'est une source désaffectée à cause de la présence de l'assainissement des eaux usées, avec un réservoir abandonné. Cette source est ferrugineuse à l'origine (couleur ocre), difficile d'accès.

Contexte géologique : schistes plissés, broyés.



a.3. Source Ouidder :

Située au-dessous de la route à une altitude de 319 m, elle est aménagée par un bassin de réception en pierre sèche (2 m/1.80 m). L'épaisseur de la lame d'eau est d'environ 12 cm, chargée en feuilles de broussaille en décomposition. L'eau est utilisée pour l'irrigation.

Contexte géologique : schistes.



a.4. Tala Malek :

Située à une altitude de 624 m, aménagée avec un réservoir bétonné avec une profondeur de 2,30 m et une largeur de 4 m. L'eau est propre, destinée à l'AEP, avec un débit de 6.10^{-3} l/s, sans prise en compte des fuites du réservoir.

Contexte géologique : gneiss très fins riche en plagioclases et une faible portion de quartz. Ces gneiss sont en intercalations avec des micaschistes.



a.5. Iger Laasker :

Elle est située en plein oued, en terrain d'oliviers, au-dessous de la route, à une altitude de 370 m. L'eau est d'une couleur ocre, ferrugineuse, stockée dans un réservoir contenant une émergence. La source est intarissable avec un débit de 3.10^{-2} l/s sans prendre compte des fuites d'eau. Le griffon de la source est à 5 m plus haut du réservoir, aménagé et recouvert avec une dalle en béton. Elle date de plus de 1950. Une décharge publique se situe à 30 m d'environ avant d'arrivée à la source.

Contexte géologique : schistes massifs avec un pendage $N30^{\circ}/N12^{\circ}$ et des niveaux millimétriques de quartz. Ses schistes sont très fracturés en présences de failles qui traversent l'oued.



a.6. Source Assaridj :

Elle est située au pied de SAB en terrains agricoles à une altitude de 368 m, avec un ancien aménagement qui date d'avant 1954. C'est une source intarissable avec un débit qui diminue en basses eaux, destinée à l'AEP et à l'irrigation avec un débit 10^{-1} l/s. L'eau qui sort est évacuée par des tuyaux.

Contexte géologique : la source est en terrains marneux, ce qui indique que l'eau est d'origine d'altitudes plus hautes.



a.7. Source Avaziz :

Elle est située en terrain très boisé au-dessous de la route à une altitude de 416 m, difficile d'y accéder. C'est une source intarissable exploitée par pompage pour les besoins d'un poulailler qui est situé au bord de la route à 441 m d'altitude. L'eau est propre, claire, stockée dans un bassin bétonné d'une longueur et une largeur de 4/4 m et une profondeur de 1.50 m. Ce bassin contient quelques feuilles de végétation et un désinfectant de brique à chaux. Le griffon de la source est à trois mètres de distance au point de talweg.

Contexte géologique : schistes et micaschistes.



b. Versant nord du massif de Sidi Ali Bounab :

b.1. Source Ainseri :

Elle est située dans une ligne de sources au bord de la route à une altitude de 348 m. L'eau est propre, claire, destinée à l'AEP. La source est aménagée par un petit bassin bétonné, recouvert avec une assiette en plastique. A 2 m d'un suintement, se trouve un réservoir abandonné, pollué.

Contexte géologique : gneiss, très fracturés.



b.2. Ighzer Ihedaden :

Elle est située au bord de la route en plein cour d'eau à une altitude de 503 m. aménagée par un réservoir de 4 m de largeur, 2 m de longueur et 2 m de profondeur qui date de 1950. L'eau est très trouble en raison d'une ouverture qui se trouve sur le toit de réservoir, soumis à l'air libre.



b.3. Tala Mouali Kaci :

Elle est située en bas de la route à une altitude de 631 m. L'eau est évacuée du griffon par un tuyau de 4 m. Source intarissable, d'origine ferrugineuse (dépôts de couleur ocre) avec apparition d'une couleur irisée couvrant des plaques d'un sol marécageux, cette eau est destinée à l'irrigation.

Contexte géologique : gneiss quartzeux, riche en feldspaths, faible en micas.



b.4. Tighilt Nali Aissa :

Elle est située en bas de la route à une altitude de 609 m, alimentée par la source Tala Mouali Kaci avec la même irisation. Le tuyau qui alimente la source est brisé, du fait, l'eau est stagnée dans un petit bassin aménagé par briques, impropre, d'une odeur désagréable liée au baignage des sangliers.



b.5. Source El Ainser :

Elle est située au bord de la route à une altitude de 272 m, aménagée par un bac de réception en brique, d'une longueur de 1 m et une largeur de 40 cm. Cette source est désaffectée, abandonnée. L'eau est claire.

Contexte géologique : marnes gréseuses, fissurées.



b.6. Source Ifri :

Elle est située au-dessous de la route à côté d'oued Ifri à une altitude de 253 m, intarissable, l'eau est claire, propre, destinée à l'AEP avec un débit de $2,3 \cdot 10^{-1}$ l/s. La source est construite en béton. D'après les témoignages, la source est émergée après un séisme qui a affecté la région et subit le changement de l'émergence d'une autre source vers celle-ci (S1).

À trois mètres avant d'arriver à cette dernière, se trouve une source aménagée par un réservoir bétonné dont l'eau est claire, elle est utilisée pour les soins des enfants d'après les gens de la région (S2).



Source utilisée pour les soins des enfants (S2).



Source principal (S1)

À 20 mètres en avant, se trouve une autre source aménagée par un réservoir bétonné en 1858, mais transférée en 2012 vers un autre réservoir plus bas utilisé pour l'irrigation (S3).

Ses trois sources forment une ligne de sources.

Contexte géologique : Cipolins (calcaires cristallins).



Source transférée vers un réservoir utilisé pour irrigation (S3)

b.7. Source Outchoug :

Elle est située au bord de la route à 725 m d'altitude, intarissable, l'eau est claire, propre, destinée à l'AEP avec un débit de $8.1 \cdot 10^{-2}$ l/s.

Cette source est l'évacuation de l'eau d'une source difficile d'accès, située à côté d'un oued à une altitude de 817 m.



b.8. Source Imeghninen :

Située à côté d'un cimetière à une altitude de 708 m, elle est aménagée depuis 1940 avec un réservoir de 2,10 m de largeur, 2,5 m de longueur et 2,3 m de profondeur. L'eau est claire, propre et destinée à l'AEP. Cette source est alimentée par la source Iverqaq.

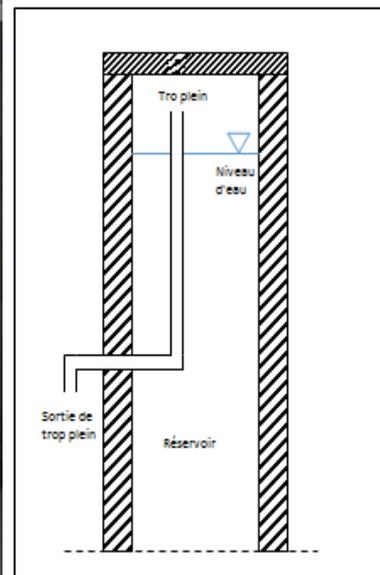


Fig.37 - Schéma pour montrer la conduite de trop plein.

b.9. Tala Lioua :

Située au sommet de SAB en plein forêt à 815 m d'altitude, elle est aménagée avec un réservoir bétonné construit en parpaing avec 1 m de longueur et 1.50 m de largeur, et une petite porte qui permet l'accès à l'eau, la hauteur de la lame d'eau est de 90 cm. L'eau est claire, limpide et destinée à l'AEP. Le griffon est non visible ce qui empêche la mesure du débit.

Contexte géologique : schistes à biotites.



À 30 m en dessous de la source se trouve une autre source à 814 m d'altitude, qui est perdue après une année de son aménagement.



b.10. Amdoun Guighil :

Située au sommet de SAB en dessous de la route en terrain agricole à 791 m d'altitude. Cette source émerge dans une mare avec 5 m de profondeur, dont l'eau n'est pas claire, remplie de végétation (algues,...etc), destinée à l'irrigation.

Contexte géologique : schistes à biotites.



b.11. Tala Gighil :

Située au sommet de SAB en dessous de la route en plein oued avec 836 m d'altitude, elle est aménagée avec une dalle en béton, l'eau sort par un circuit dont le diamètre est de 5.2 cm, avec un débit de $9.3 \cdot 10^{-2}$ l/s.

L'eau est propre, claire et destinée à l'AEP

Contexte géologique : granito-gneiss.



b.12. Forage Ighil 1 :

Le forage est situé au sommet de SAB à 812 m d'altitude, protégé dans une petite cabine en brique. Il alimente un poulailler et une ferme. Sa pompe est placée à 37 m de profondeur avec un pompage de 800 litres pendant 5 minutes.

L'eau est destinée à l'AEP.



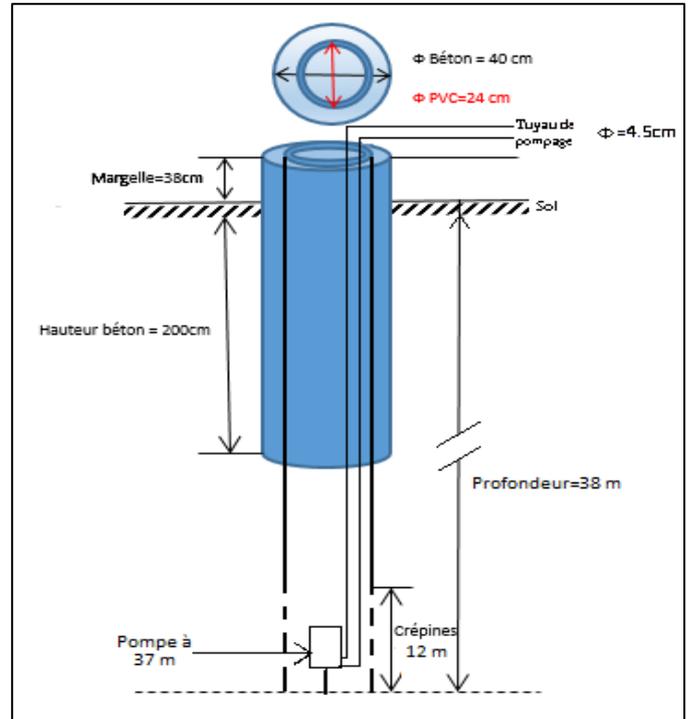


Fig.38 – Schéma descriptif du forage Ighil 01.

b.13. Puits Ighil :

Le puits de diamètre 1,54 m est situé dans un terrain très boisé en plein talweg à 801 m d'altitude, protégé par une toile en plastique, sa paroi est recouverte de mousse et de fougère. Le niveau de l'eau est à 4,55 m du sol. Contient une eau claire qui est exploitée par une pompe pour les besoins d'irrigation.

Contexte géologique : schistes à biotite.

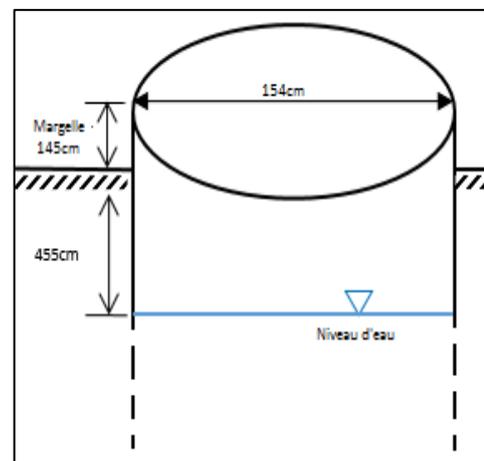


Fig.39 – Schéma descriptif du puits Ighil.

b.14. Forage Ighil 2 :

Il est situé au sommet de SAB à 50 m du puits Ighil à 800 m d'altitude. L'eau est propre, claire, destinée à l'AEP et aussi pour les besoins d'une ferme. L'aménagement de ce forage est le même avec « forage Ighil 01 » sauf la profondeur (48 m) et la margelle qui est scellée.



N°	Localité	Nom de source	Inventaire			Mesures physico-chimiques								Observation.	
			coordonnées géographiques			Date	Heure	Débit (l/s)	Température (°C)		pH	Conductivité (µs/cm)	Type de source		Analyse
			X	Y	Z (m)				eau	air					
1	Versant Sud de SAB	Bouyadif	36°42'25"N	3°55'23"E	230	13/10/2020 21/10/2020	10h15 9h30	/	19.4 21.6	22 23.1	7.2 7.12	1090 1101	Dépression	Oui	*Eau destinée à l'AEP. *Griffon non visible *Captage bétonné et transféré vers un réservoir *Débit non mesuré parce que le niveau de l'eau dans le réservoir est supérieur au niveau de la sortie de l'eau, et le réservoir ne contient pas de trou de trop plein. * L'eau est transférée du réservoir vers l'aménagement par un canal (PEHD) 90mm de diamètre, le canal s'amincit en avançant vers l'aménagement.
2		Tala Oumazigh	36°41'35"N	3°53'33"E	313	13/10/2020	10h59	/	/	/	/	/	Déversement	Non	*Source abandonnée à cause d'une fuite des réseaux d'assainissements des eaux usées (réservoir sec). *L'eau est ferrugineuse à l'origine (dépôts de couleur ocre).
3		Ouidder	36°41'27"N	3°53'41"E	319	13/10/2020	12h35	/	17	17.4	6.9	1262	Déversement	Non	*Source intarissable. *Eau chargée de broussaille en décomposition *Débit non mesuré parce que Bac de réception non visible.
4		Tala Malek	36°41'57"N	3°52'43"E	624	13/10/2020 21/10/2020	14h 13h40	5.10 ⁻³ /	21.5 21.5	22.2	8.21 8.09	768 770	/	Oui	*Eau claire *Source intarissable. *fuite dans le réservoir. *Débit non mesuré à cause de la baisse de niveau de l'eau dans le réservoir.
5		Avaziz	36°41'25"N	3°52'33"E	416	21/10/2020	11h23	/	15.5	17	7.3	615	Dépression	Oui	*Eau propre avec présence de quelques feuilles de végétation. *Brique de chaux à l'intérieure Utilisée pour les besoins du poulailler. *Débit non mesuré, accès impossible à la source à cause de réservoir qui se remplit de bas en haut (1.80m de profondeur et 12m ² de superficie).
6		Iger Laasker	36°41'14"N	3°52'59"E	370	21/10/2020	12h23	2,7.10 ⁻²	20.5	24.2	7.8	864	/	Oui	*Source trouble à cause de lessivage. *Source très ferrugineuse (dépôts de couleur ocre)
7		Assaridj	36°41'17"N	3°54'5"E	368	21/10/2020	15h36	10 ⁻¹	20.6	20.9	7.2	1447	/	Oui	*Eau destinée à l'AEP. *Source intarissable.
8	Versant Nord de SAB	Ainseri	36°43'26"N	3°54'24"E	348	6/11/2020	11h09	/	24.5	17.3	7.4	797	/	Non	*Eau claire, destinée à l'AEP. *Débit non mesuré, accès impossible à la source.
9		Ighzer Ihdaden	36°43'5"N	3°54'46"E	503	6/12/2020	11h50	/	15.3	22.6	6.9	882	Dépression	Non	*Eau trouble à cause de l'ouverture sur le toit du réservoir. *Non consommable. *Débit non mesuré, le griffon se trouve à l'intérieur du bassin.
10		Tala Mouali Kaci	36°43'3"N	3°54'32"E	544	6/12/2020	12h35	1,7.10 ⁻²	18	20.8	6.6	613	/	Oui	*Eau de couleur ferrugineuse. * Traces d'irisations
11		Tighilt N'Ali Aissa	36°43'1"N	3°54'25"E	609	6/12/2020	/	/	/	/	/	/	/	Non	*Eau polluée (huileuse). *Pas de mesures, conduite cassée non visible. *Eau trouble (irisation d'arc).

Tableau1.a – Inventaire des sources visitées au niveau des versants sud et nord de SAB

Num°	Localité	Inventaire					Mesures physico-chimiques							Observation		
		Nom de la source	Coordonnées géographiques			Date	Heure	Débit(l/s)	Température(°C)		pH	Conductivité (µs/cm)	Type de source		Analyse	
			X	Y	Z(m)				air	eau						
12	Versant Nord de Sidi Ali Bounab	Ainsser	36°43'5" N	3°49'51" E	272	26/11/2020	10h	/	12	13.7	7.82	739	/	Non	*Source aménagée en bac de récupération en briques (1m/40cm). *Source désaffectée, abandonnée. *Eau claire. *Débit non mesuré, l'eau se remplit de bas en haut dans le bac.	
13		Ifri	36°42'54" N	3°49'42" E	254	26/11/2020	10h20	2.3 10 ⁻¹	16.8	17	7.8	839	Déversement	Oui	*Se trouve sur une ligne de source ; *Eau claire et propre destinée à l'AEP. *Source intarissable. *Aménagée.	
14		Ifri 2	36°42'54" N	3°49'39" E	257	26/11/2020	10h55	/	/	/	/	/	/	/	Non	*Source aménagée en un réservoir bétonné en 1858, mais transféré en 2012 vers un autre réservoir. *Utilisée pour l'irrigation
15		Ifri 3	36°42'55" N	3°49'43" E	252	26/11/2020	11h20	/	16.8	17.7	7.38	945	/	Non	*Source aménagée en un réservoir bétonné. *Eau claire	
16		Ouchtoug	36°41'59" N	3°50'39" E	725	26/11/2020 19/01/2021	12h12 10h46	8.1 10 ⁻² 1.8 10 ⁻¹	14.5	12.5	7.4	435	/	Oui	*Source principale située à 848m d'altitude transférée par une conduite PEHD 30mm de diamètre. *Eau claire, propre, destinée à l'AEP.	
17		Imaghninen	36°42'32" N	3°50'35" E	708	26/11/2020	15h55	/	14	13.1	7.98	298	/	Non	*Source aménagée depuis 1940 en un réservoir de 2,3*2,10*2,5 m d'épaisseur. *Contient trois robinets. *L'eau est claire, propre, destinée à l'AEP. *Cette source est alimentée par la source Iverraq. *Débit non mesuré, le niveau de l'eau n'atteint pas le tuyau de trop plein.	
18		Tala Lioua	36°41'12"N	3°49'01"E	815	19/01/2021	13h40	/	10.2	12.5	7	295	/	Non	*Source aménagée par un bassin couvert qui forme une petite cabine en béton (1m/1.5m). *Profondeur de lame d'eau 90cm. *Eau claire, propre et limpide. *Débit non-mesuré, griffon non-visible.	
19		Tala Lioua 2	36°41'12"N	3°49'02"E	814	19/01/2021	14h	/	/	/	/	/	/	Non	*Source perdue.	
20		Amdoun Gighil	36°41'15"N	3°49'21"E	791	19/01/2021	14h25	/	10.5	12.5	7.61	196	/	Non	*La source émerge dans une mare de 5m de profondeur, Débit non mesuré. *l'eau n'est pas claire, remplie de végétation (algues...etc) *Destinée à l'irrigation.	
21		Tala Ighil	36°31'36"N	3°50'50"E	836	19/01/2021	16h53	9.3.10 ⁻²	9.4	12.9	6.8	204	/	Non	*Source aménagée par une dalle en béton, le circuit d'eau est en fer (φ=5.2cm). *Eau claire, propre, destinée à l'AEP.	

Tableau1.b - Suite de l'inventaire des sources visitées au niveau des versants sud et nord de SAB

Inventaire							Mesures physico-chimiques					Observation.	
N°	Localité	Nom	coordonnées géographiques			Date	Heure	Température (°C)		pH	Conductivité (µs/cm)		Analyse
			X	Y	Z (m)			eau	air				
1	Versant Nord de SAB	Forage Ighil 1	36°41'15"N	3°49'14"E	812	19/01/2021	11h46	14.9	9.4	7.9	258	Oui	Eau claire, propre destinée à l'AEP et couvre les besoins d'un poulailler et d'une ferme.
2		Puits Ighil	36°41'13"N	3°49'03"E	801	19/01/2021	14h30	12.5	10.1	7.6	506	Non	Eau claire, remplie de broussaille, destinée à l'irrigation.
3		Forage Ighil 2	36°41'16"N	3°41'01"E	800	19/01/2021	13h04	14	10.7	6.8	345	Non	Eau claire, propre, destinée à l'AEP, et pour les besoins d'une ferme

Tableau1.c - Forages et puits visités au niveau du versant nord de SAB.

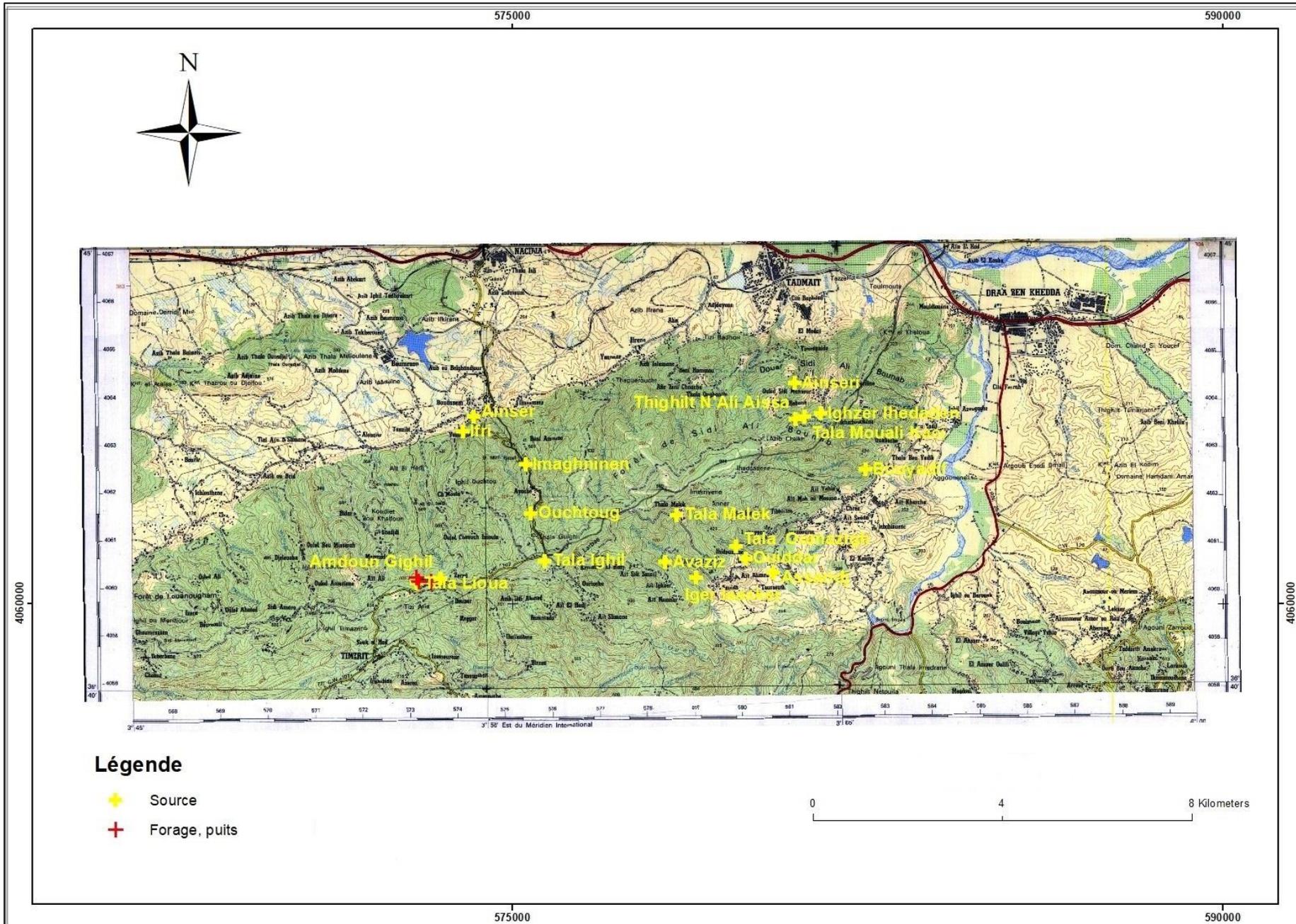


Fig.40 - Carte des points d'eau implantés sur la carte topographique de Bordj Menaïel Est (1/50 000 INCT).

Conclusion :

La région de Sidi Ali Bounab contient beaucoup de sources à caractères intarissables. De septembre 2020 à janvier 2021, et, surtout avant l'arrivée des premières pluies, c'est-à-dire en période d'été, nous avons pu visiter 18 sources (07 au versant sud et 11 au versant nord). La plupart des sources sont permanentes avec un débit qui varie de 5.10^{-3} à 10^{-1} l/s. L'inventaire des sources permet de constater que certaines d'entre elles, sont abandonnées et/ou transférées, polluées, tandis que d'autres sont aménagées et exploitées pour les besoins de l'AEP et l'agriculture. Par ailleurs, ces dernières ne comportent pas, toutes, de périmètres ou de dispositif de protection.

Troisième partie :
Traitement des données.

Chapitre I
Hydroclimatologie

Introduction

Pour mieux caractériser le régime climatique de notre région d'étude, nous avons sélectionné six stations pluviométriques (Baghlia, Draa Ben Khedda, Tizi-Ouzou, Nezlioua, Draa El Mizan, Chabet El Aneur) et une station climatique (Boukhalfa), dont les données de mesure des précipitations couvrent le territoire de Sid Ali Bounab sur une période de 10 ans (2008-2018).

Les caractéristiques relatives à ces stations sont représentés dans le tableau suivant :

Station	X (UTM)	Y (UTM)	Z (m)	Code ANRH	Période d'étude
Baghlia	576741.04	4073585.53	30	02.20.02	2008-2018
Draa Ben Khedda	588268.31	4066001.98	90	02.18.04	2008-2018
Boukhalfa	593060.81	4063587.92	160	02.18.06	2008-2018
Tizi-Ouzou	593429,96	4 063 296,88	2342	02.18.10	2008-2018
Nezlioua	568812.79	4046808.63	590	02.19.06	2008-2018
Draa El Mizan	573950.66	4042793.22	530	02.19.02	2008-2018
Chabet El Aneur	562337.28	4054927.98	235	09.05.12	2008-2018

Tableau 2 - Caractéristiques des stations pluviométriques utilisées.

La climatologie se base sur des observations et des relevés d'un maximum de paramètre possible comme les précipitations, la température, l'humidité, le vent pour pouvoir quantifier les ressources en eau. Dans cette étude, en ce qui concerne les paramètres climatiques, nous avons fait appel aux données récentes, recueillies dans les services (ANRH de Tizi-Ouzou, station météorologique de Tizi-Ouzou).

1. Les paramètres climatiques :

a. Pluviométrie :

Les précipitations constituent la composante fondamentale de l'hydrologie. Elles jouent un rôle primordial dans l'alimentation des nappes souterraines et aussi dans le comportement hydrologique des cours d'eau. L'étude de ce facteur est basée sur la collecte des données, la quantité et la qualité de ces dernières conditionnent la fiabilité des résultats obtenus.

a.1. Évolution annuelle des précipitations :

C'est la variation annuelle de la pluviométrie sur la région. Les hauteurs moyennes des précipitations annuelles enregistrées par les stations d'observations sont compilées dans le tableau suivant :

Station \ Année	Baghlia	Draa Ben Khedda	Boukhalfa	Tizi-Ouzou	Nezlioua	Draa El Mizan	Chabet El Aneur
2008-2009	933.2	966.9	665.3	1010.8	944.0	641.9	862.9
2009-2010	888.4	885.8	1034.0	963.8	870.7	725.7	768.2
2010-2011	930.7	970.8	807.5	1016.6	987.4	768.9	894.6
2011-2012	1045.4	1039.3	949.1	1033.9	1128.6	853.1	1048.5
2012-2013	873.1	953.5	847.0	936.8	969.2	730.6	821.9
2013-2014			1063.9	835.2	784.1		795.4
2014-2015			832.5	969.4	917.9		
2015-2016			710.5	772.1	724.3		
2016-2017			716.8	618.7	691.2		
2017-2018				947.8	899.7		

Tableau 3 - Précipitations annuelles (mm) des sept stations utilisées (période 2008-2018).

Selon le tableau ci-dessus, seul les stations Neqlioua et Tizi Ouzou présentent des données complètes pour cette période d'étude.

a.1.1. Comblement des lacunes :

La méthode utilisée est l'homogénéisation par la droite de régression linéaire qui permet :

- D'établir une relation mathématique pouvant exister entre deux séries de données pluviométriques (x et y).
- D'effectuer une extension d'une série courte (y) à l'aide d'une autre (x) plus longue dépourvue de lacunes.
- De déterminer à partir de la méthode des moindres carrés, la droite de régression qui est de la forme $y=ax+b$; avec R (coefficient de corrélation) qui doit être supérieur ou égal à 0.7.

Voici un exemple qui explique cette méthode :

Station Période d'étude	Neqlioua	Draa El Mizan
2008-2009	944.0	641.9
2009-2010	870.7	725.7
2010-2011	987.4	768.9
2011-2012	1128.6	853.1
2012-2013	969.2	730.6
2013-2014	784.1	621.5*
2014-2015	917.9	705.2*
2015-2016	724.3	584.0*
2016-2017	691.2	563.3*
2017-2018	899.7	693.8*

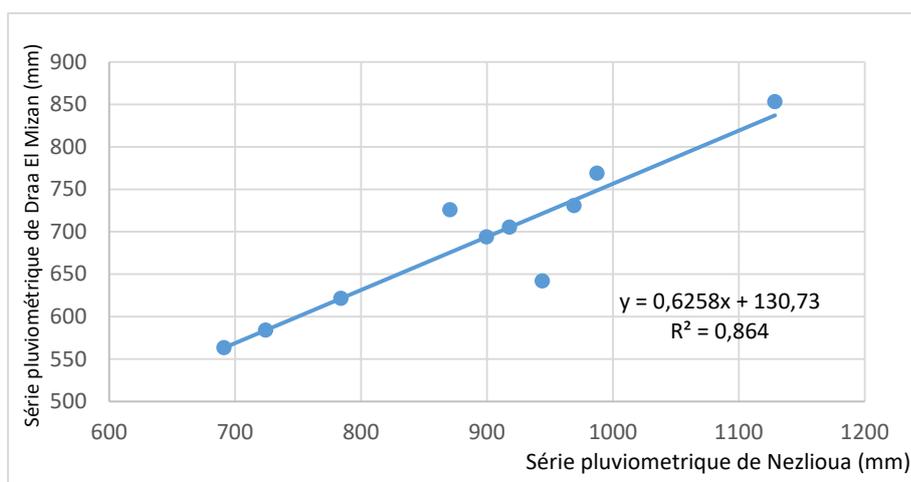


Tableau 4 - Comblement des lacunes de la station Draa El Mizan par les données de la station Neqlioua.

Fig.41 - Graphe de la droite de régression en vue du comblement des lacunes de la station Draa El Mizan.

*Résultats comblés.

Les données pluviométriques de toutes les stations après le comblement des lacunes sont représentées dans le tableau suivant :

Station Année	Baghlia	Draa Ben Khedda	Boukhalfa	Tizi-Ouzou	Neqlioua	Draa El Mizan	Chabet El Ameur
2008-2009	933.2	966.9	665.3	1010.8	944.0	641.9	862.9
2009-2010	888.4	885.8	1034.0	963.8	870.7	725.7	768.2
2010-2011	930.7	970.8	807.5	1016.6	987.4	768.9	894.6
2011-2012	1045.4	1039.3	949.1	1033.9	1128.6	853.1	1048.5
2012-2013	908.4*	953.5	847.0	936.8	969.2	730.6	821.9
2013-2014	893.4*	923.4*	1063.9	835.2	784.1	621.5	795.4
2014-2015	920*	945.2*	832.5	969.4	917.9	705.2	842.4*
2015-2016	835.1*	875.6*	710.5	772.1	724.3	584.0	692.3*
2016-2017	820.7*	863.8*	716.8	618.7	691.2	563.0	666.7*
2017-2018	912*	938.6*	897.3*	947.8	899.7	693.8	828.3*
Moyenne (mm)	825.2	844	852.4	905.5	891.7	688.8	822.1

Tableau 5 - Comblement des lacunes des précipitations moy. annuelles (mm) des sept stations utilisées (2008-2018).

a.2. Répartition annuelle des précipitations :

L'évolution des précipitations annuelles des différentes stations est représentée dans les graphes ci dessous :

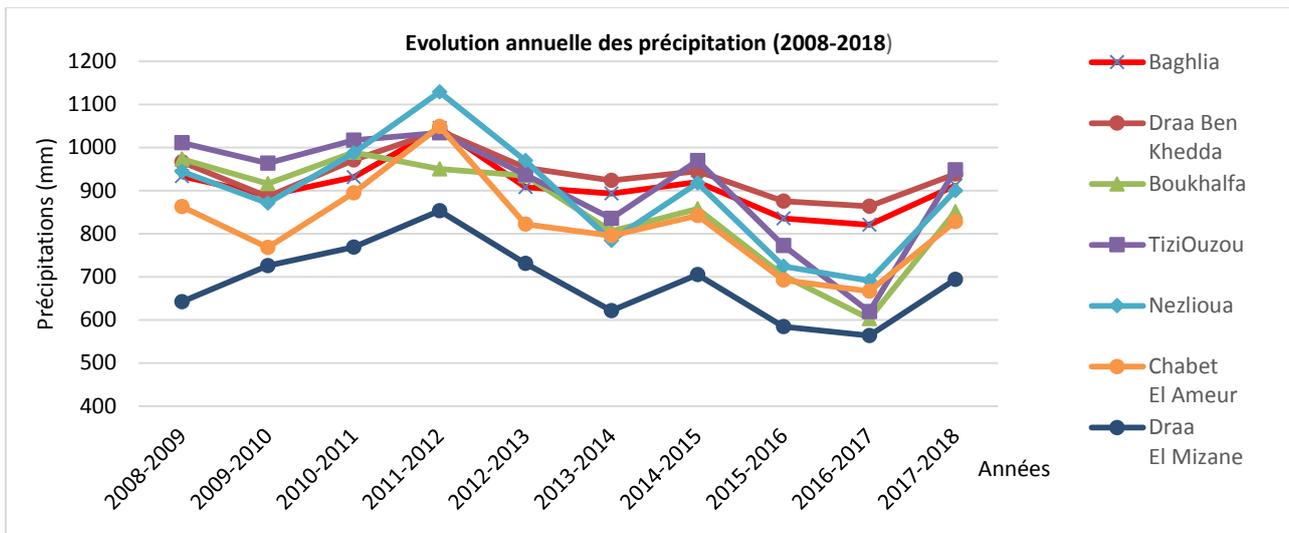


Fig.42 - Variations annuelles des précipitations (2008-2018) pour les sept stations utilisées.

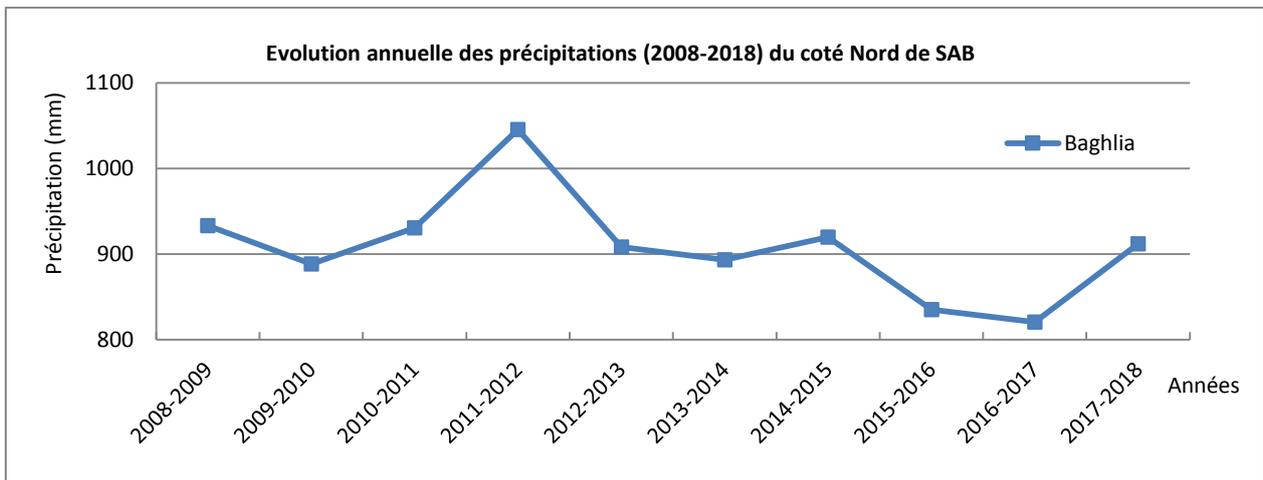


Fig.43 - Variations annuelles des précipitations (2008-2018) de la station Baghlia.

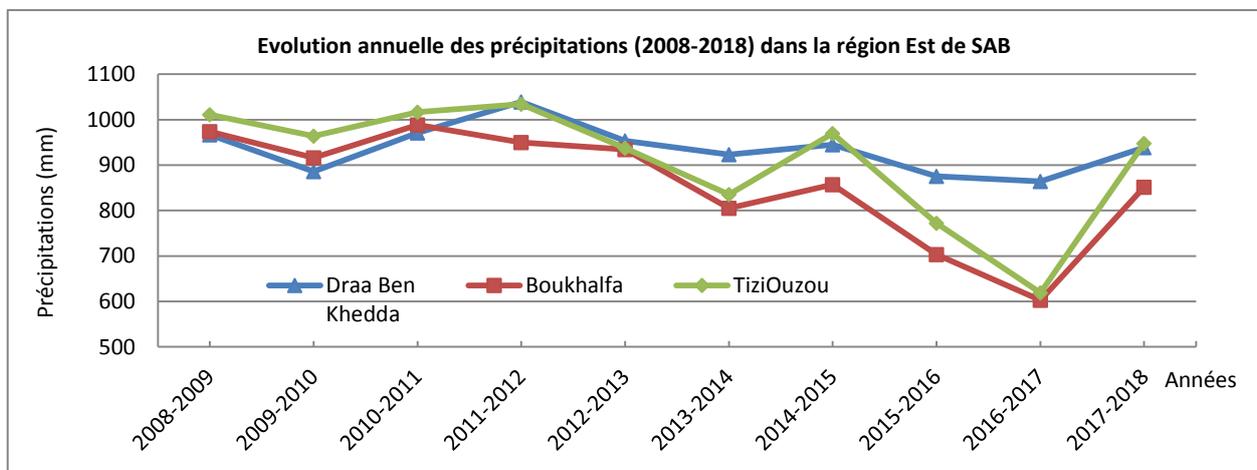


Fig.44 - Variations annuelles des précipitations (2008-2018) des régions qui se trouvent à l'est de SAB.

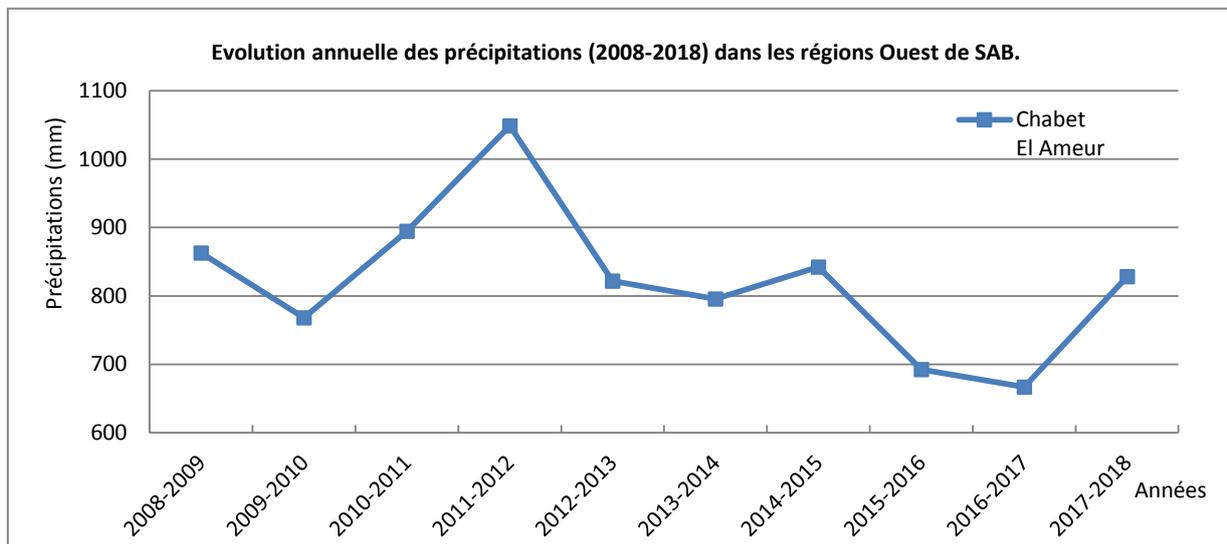


Fig.45 - Variations annuelles des précipitations (2008-2018) de la station de Chabet El Aneur.

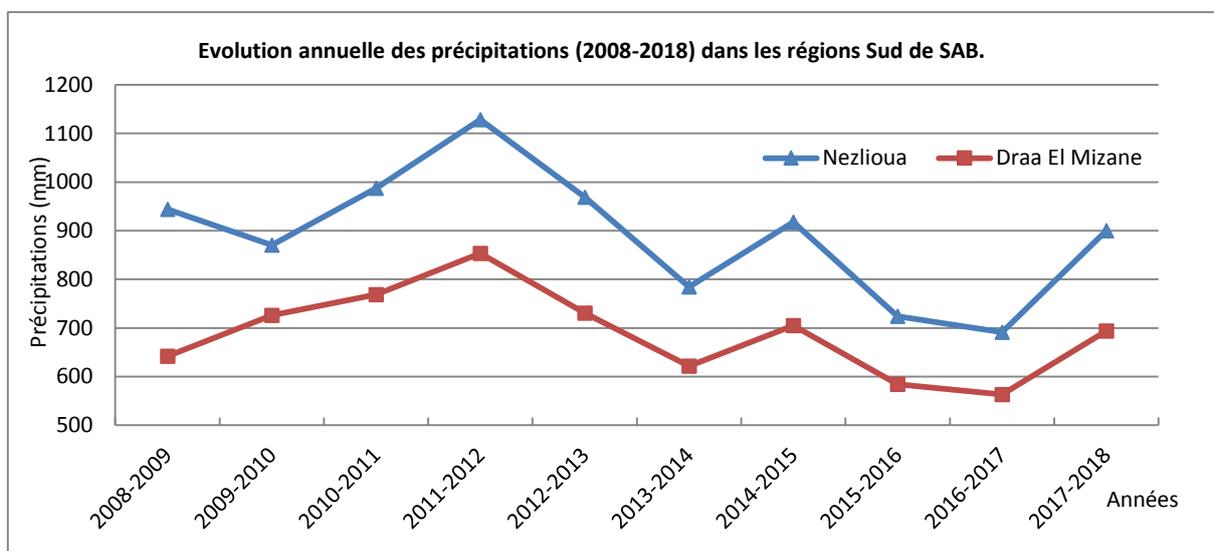


Fig.46 - Variations annuelles des précipitations (2008-2018) des régions qui se trouvent au sud de SAB.

D'après les figures ci-dessus on a :

- La station Baghliia qui caractérise le nord de Sidi Ali Bounab a un régime pluviométrique qui varie entre 800 mm et 1000 mm avec un excès de 1045,4 mm en (2011-2012), (Fig.43).
- Les stations Draa Ben Khedda, Boukhalfa et Tizi-Ouzou qui caractérisent la partie orientale de Sidi Ali Bounab montrent deux régimes pluviométriques différents à partir de l'année (2012-2013) avec une diminution de la lame d'eau précipitée pour la station Boukhalfa (602,5 mm en 2016-2017) avec un excès de 1039,3 mm en (2011-2012) pour la station Draa Ben Khedda et Tizi-Ouzou, (Fig.44).
- La station Chabet El Aneur se caractérise par un régime pluviométrique qui varie entre 700 mm et 900 mm avec un excès de 1048,5 mm en (2011-2012), (Fig.45).
- Du côté sud de Sidi Ali Bounab, la station Neqlioua et Draa El Mizan se caractérisent respectivement par un régime qui varie entre 700 mm et 1000 mm avec un excès de 1128 mm en (2011-2012) et entre 550 mm et 850 mm avec un excès de 853,1 mm, (Fig.46).

a.3. Estimation de la précipitation moyenne annuelle de la zone d'étude pour une période de dix ans (2008-2018) :

Pour avoir un résultat plus fiable de la lame d'eau moyenne précipitée pour la période de (2008-2018), nous avons choisi la méthode des polygones de Thiessen et la méthode arithmétique

a.3.1. Méthode des polygones de Thiessen :

C'est une méthode purement géométrique. Elle suppose que la pluie en tout point est celle enregistrée au poste pluviométrique le plus proche. Les stations étant géoréférencées, la lame d'eau précipitée interannuelle est calculée pour chaque station pluviométrique sur (n) années d'observations communes.

Il faudrait délimiter la zone d'influence de chaque poste pluviométrique et calculer la surface correspondante.

❖ La précipitation moyenne est calculée par l'expression :

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i * P_i}{S}$$

Avec : Si : Surface d'influence du pluviomètre i en (Km²).

Pi : Précipitation au poste i en (mm).

S : Surface du bassin versant en (Km²).

❖ Principe de la méthode :

1. Les stations pluviométriques sont reportées selon leurs coordonnées géographiques (X, Y).
2. Des séries de droites sont tracées reliant les postes pluviométriques 2 à 2, sans s'entrecouper, formant ainsi des triangles.
3. Au milieu de chaque côté du triangle, une médiatrice est tracée.
4. L'intersection des médiatrices des triangles délimite la zone d'influence de chaque poste pluviométrique, une fois jointe entre elles.
5. La surface affectée à chaque poste pluviométrique est planimétrie, permettant de calculer la précipitation moyenne (P_{moy}) sur l'ensemble du bassin.

La carte utilisée est celle du bassin versant de Bougdoura, Sidi Ali Bounab se trouve à la limite nord-ouest de ce bassin.

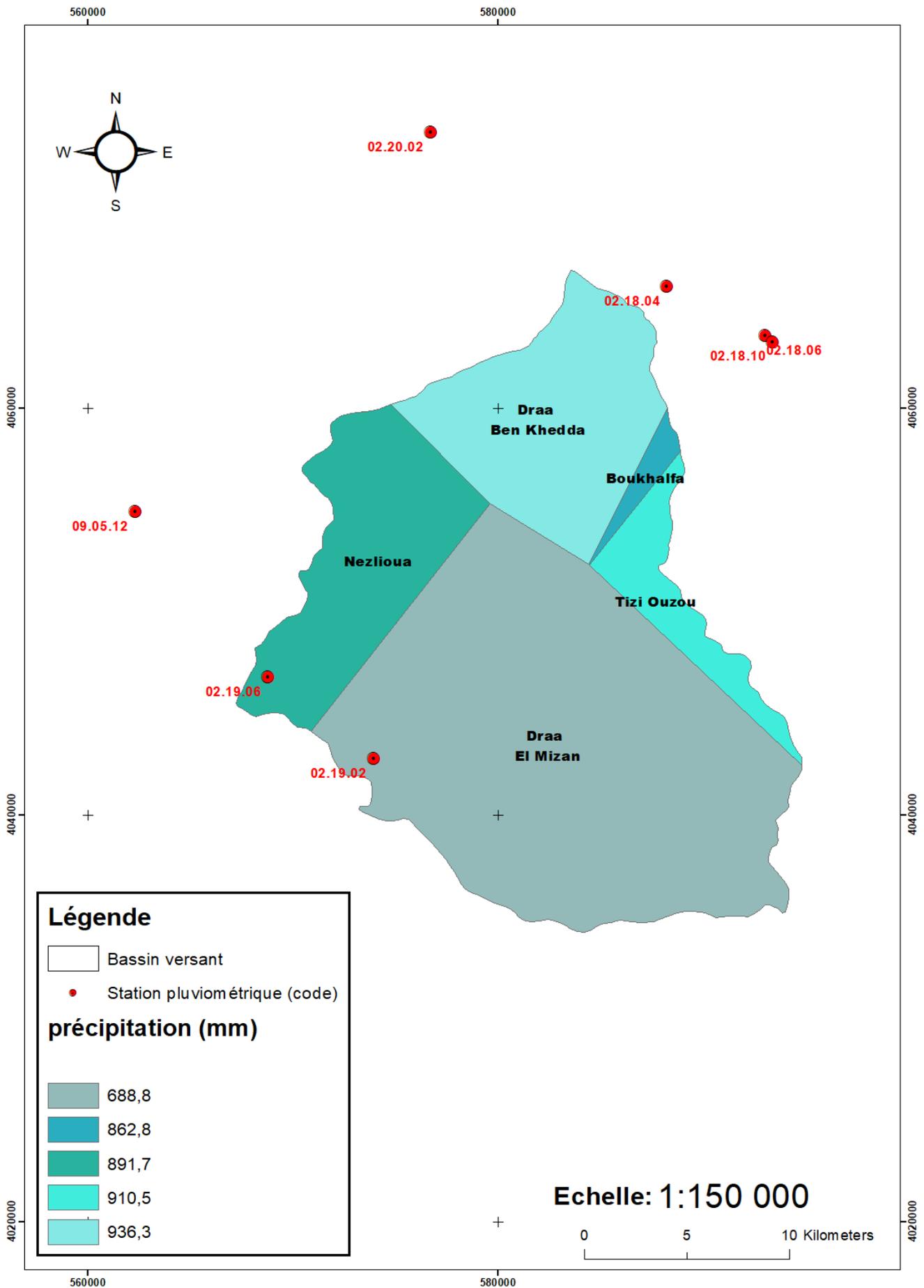


Fig.47 - Carte de la répartition annuelle des précipitations dans le bassin versant de Bougdoura (2008-2018), par la méthode des polygones de Thiessen.

Des sept stations utilisées, cinq stations rentrent dans le champ du bassin de Bougdoura et les deux autres sont négligées. Les résultats finaux obtenus par cette méthode sont représentés dans le tableau suivant :

Stations \ Paramètres	Surface Si (Km ²)	Precipitations Pi moy (mm)
Draa Ben Khedda	99.2	936.3
Boukhalfa	6.8	862.8
Tizi-Ouzou	30.4	910.5
Draa El Mizan	300.6	688.8
Nezlioua	88.9	891.7

Tableau 6 – Calcul de la lame d’eau moy. précipitée sur le BV de Bougdoura par la méthode de Thiessen.

D’après La méthode de Thiessen, la lame d’eau précipitée sur le bassin versant de Bougdoura est de 784.85 mm.

a.3.2. La méthode arithmétique :

Cette méthode consiste à calculer la moyenne arithmétique des précipitations moyennes annuelles observées au niveau de chaque station. C’est la méthode la plus simple et la plus rapide. Elle est donnée par l’expression suivante :

$$\bar{P} = \frac{\sum_1^n P_i}{N}$$

Avec :

\bar{P} : lame d’eau précipitée (mm).

P : précipitations annuelles de chaque station d’observation (mm).

N : nombre de station.

Les résultats obtenus par cette méthode donnent une lame d’eau précipitée de 858.02 mm

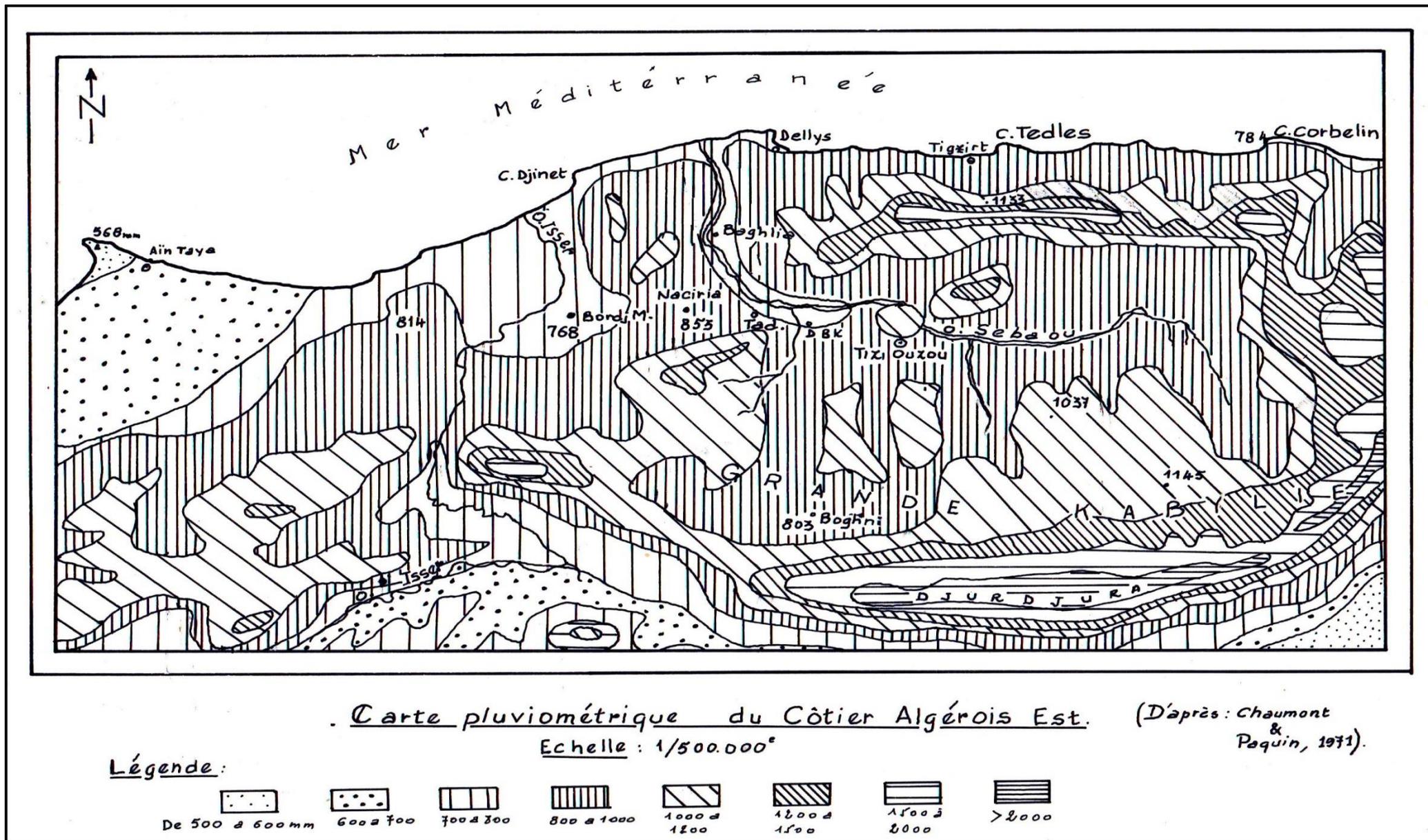


Fig.48 - Carte pluviométrique du cotier Algérois Est (Chaumont et Paquin 1971), modifiée par C. AIGOUN.

b. Température :

Elle joue un rôle important dans le climat d'une région par son influence sur les autres paramètres climatiques (vent, Humidité). Pour cette étude nous avons utilisé les données de la station météorologique de Boukhalfa.

Le tableau suivant représente les températures mensuelles en (°C) de cette station au cours de la période (2008-2017).

Mois Temperature	Sep	Oct	Nov	Dec	Janv	Fév	mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	moy
T moy max (°C)	31.6	28.6	20.5	17.3	14.9	17.1	20.2	22.8	28	33.1	36.8	36.3	25.6
T moy (°C)	21.3	18.6	13.6	11.2	9.4	11.3	11.9	14.2	17.5	21.4	24.6	24.8	16.7
T moy min (°C)	18.5	16.3	11.8	8.59	6.1	7.71	8.75	10.8	14.6	18.8	21.8	23.6	13.09
Ecart Type	9.7	8.42	6.0	5.23	4.7	5.3	5.8	6.7	8.0	9.8	11.3	11.2	-

Tableau 7 – Valeurs des températures mensuelles enregistré à la station de Boukhalfa (2008-2017).

Selon les variations des températures moyennes mensuelles de la période (2008-2017), les valeurs les plus élevées sur toute la période sont enregistrées aux mois (juillet et aout) avec des degrés allant jusqu'à 36,8°C.

Les valeurs les plus basses sont enregistrées en période hivernale (janvier et février) avec 6,1 et 7,7 °C.

La valeur de la température moyenne annuelle est de 16.7°C.

c. Le vent :

Le vent influence d'une façon directe le régime climatique d'une région, car il absorbe une partie du rayonnement solaire et modifie sa propagation, ce qui influence sur les paramètres précipitations et évaporation.

Mois Années	Sep	Oct	Nov	Dec	jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Moy (m/s)
2008-2009	1,5	1,0	1,2	0,8	1,5	1,3	1,4	1,1	1,2	1,8	1,8	1,7	1,4
2009-2010	1,1	0,7	0,5	1,2	2,1	1,5	1,1	0,8	1,0	1,3	1,8	1,3	1,2
2010-2011	1,4	1,0	0,9	0,9	0,2	1,2	0,7	1,1	xx	xx	xx	xx	
2011-2012	1,1	0,5	0,6	0,3	0,3	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	
2012-2013	0,7	0,6	1,1	0,9	1,5	1,6	2,6	1,9	1,9	1,7	1,8	1,3	1,5
2013-2014	1,3	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	
2014-2015	xx	xx	xx	xx	1,0	2,0	1,3	1,7	xx	xx	xx	xx	
2015-2016	2,8	2,3	1,7	1,4	2,2	2,5	2,5	2,1	2,7	2,5	2,8	2,5	2,3
2016-2017	1,8	1,7	1,5	1,4	1,5	2,2	2,1	2,2	2,2	2,7	2,4	2,9	2,1

Tableau 8 - Valeurs mensuelles des vitesses du vent (m/s) enregistrées à la station de Boukhalfa (2008-2017).

Selon le tableau ci-dessus, on remarque que les données mensuelles des vitesses du vent ne sont pas complètes, il y a que les deux périodes (2008-2010) et (2015-2017) qui sont complètes.

La vitesse moyenne annuelle passe de 1,2m/s (2009-1010) à 2,3m/s (2015-2016).

d. L'humidité :

Ou l'état hydrométrique, c'est le rapport exprimé en pourcentage de la tension de vapeur maximale correspondante à la température T.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	jan	Fév	Mars	avril	Mai	Juin	Juil	Août	Moy (%)
Humidité (%)	66	70	77	82	80	79	76	73	69	61	56	57	71

Tableau 9 - Valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative enregistrées à la station de Boukhalfa (2007-2017).

Selon le tableau ci-dessus, la valeur la plus élevée de l'humidité est enregistrée en mois de décembre avec 80% et la valeur minimale est enregistrée en mois aout avec 57%.

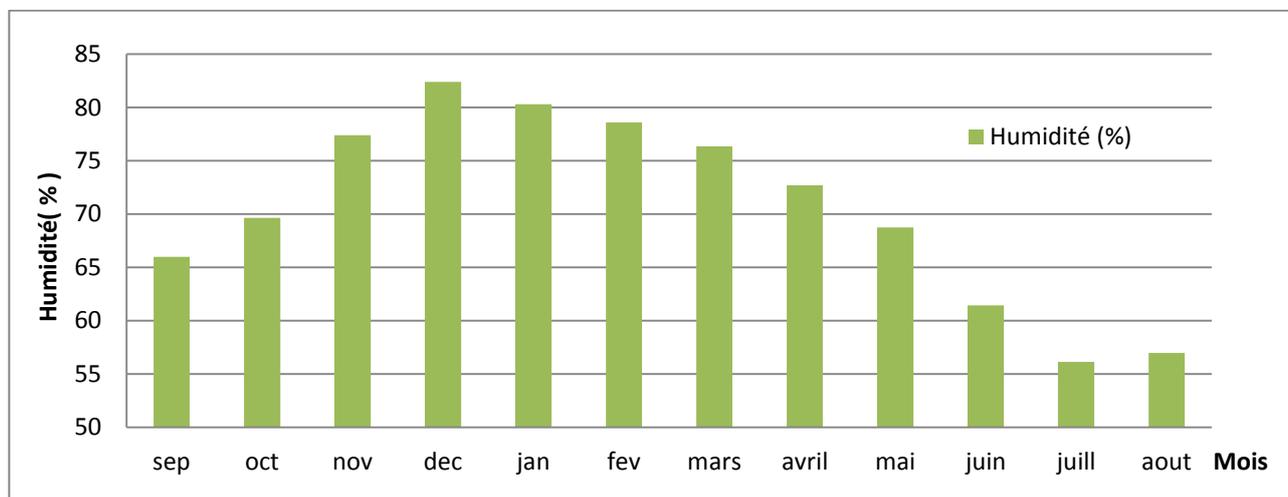


Fig.49 - Variations mensuelles de l'humidité au niveau de la station de Boukhalfa (2007-2017, ONM).

Conclusion :

Les données climatologiques permettent d'attribuer à la région d'étude un climat avec deux saisons remarquables, une, humide, froide et pluvieuse, qui s'étend du mois d'octobre à mai et, une saison sèche et chaude, allant du mois de mai à septembre.

Le climat de cette région est influencé par l'exposition à la mer, surtout pour le versant nord, qui est plus arrosé que le versant sud et qui montre un couvert végétal plus dense.

La lame précipitée moyenne sur le bassin versant du Bougdoura, calculée par les deux méthodes, de Thiessen et arithmétique, est respectivement de 784.85 mm et de 858.20 mm.

Chapitre II
Hydrochimie

Introduction :

L'eau, au contact des terrains qu'elle rencontre, se charge en divers éléments qui vont influencer sur sa qualité. Certains de ces éléments sont présents naturellement dans le sol, et vont définir la qualité naturelle de l'eau brute. Ainsi l'eau à l'état naturel peut contenir :

Des matières organiques, des matières dissoutes provenant des terrains traversés, des particules en suspension et d'autres éléments d'origine anthropique.

Le but de cette étude est l'appréciation de la qualité physico-chimique de l'eau des sources dans la région de Sidi Ali Bounab (versant sud et versant nord) avant l'arrivée des premières pluies.

Les paramètres physico-chimiques (température, conductivité, pH) ont été mesurés in situ et concernent 17 sources, 02 forages et 01 puits. Quant aux analyses chimiques (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{2+} , Al^{3+} , SO_4^{2-} , NO_3^- , O_2), elles ont été effectuées au niveau des laboratoires de la SEAAL et de l'ADE de Tizi Ouzou et sont relatives seulement à 08 sources et 01 forage, en raison de la contrainte des laboratoires. Les critères de sélection adoptés sont dictés par l'altitude des sources, leur position de versant et à certains détails d'observation.

Par ailleurs, nous avons procédé à l'échantillonnage de certaines sources.

1. Les méthodes d'études :

Pour traiter l'eau, il est besoin de la connaître et donc de pouvoir la caractériser le plus précisément possible.

Les méthodes utilisées sont : potentiométrique, titrimétrique et colorimétrique, volumétrique et spectrométrique.

a. Mesures sur le terrain :

a.1. Méthodes d'analyse potentiométriques :

Ces méthodes mettent en œuvre le plus souvent des électrodes spécifiques qui sont utilisées par immersion dans l'eau, l'appareil utilisé est le multi paramètre (T° , conductivité, pH) de type WTW Multi 3420.

a.1.1. Potentiel d'hydrogène (pH) :

La mesure de pH se fait avec le pH mètre doté d'une électrode en verre. Cette mesure exprime si l'eau est à réaction acide ou alcaline, elle n'a pas de signification hygiénique, mais elle représente une notion très importantes pour la détermination de l'agressivité de l'eau.

a.1.2. Conductivité :

La conductivité est mesurée par un conductimètre, elle augmente avec la teneur en sels dissous et varie en fonction de la température, elle est exprimée en siemens et ses sous multiples, l'unité la plus utilisée en traitement d'eau est le microsiemens par cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

- Corrections en fonction de la température : la conductivité d'un liquide dépend largement de la température. Cette dernière sera relevée très exactement au cours de la mesure. En dehors de 25°C , effectuer une correction de la conductivité électrique mesurée à $\theta^\circ\text{C}$ d'après la formule :

$$C_{25^\circ} = CT \times f \quad (\text{Rodier, 2009}).$$

CT : Conductivité obtenue à la température lue sur le thermomètre.

F est donné par un tableau spécial (Cf. annexe 17).

a.1.3. Température :

C'est un paramètre climatique important dont les fluctuations simultanées, de l'eau et de l'air sont indicatrices de la vulnérabilité des eaux souterraines, car elles ne seraient pas profondes.

Nom	T°C de l'eau	T°C de l'air	pH	Conductivité (µs/cm)
Bouyadif	19.4	22	7.2	1090
Ouidder	17	17.4	6.9	1262
Tala Malek	21.5	22.2	8.21	768
Avaziz	15.5	17	7.3	615
Iger Laasker	20.5	24.2	7.8	864
Assaridj	20.6	20.9	7.2	1447
Ainseri	24.5	17.3	7.4	797
Ighzer Ihedaden	15.3	22.6	6.9	882
Tala Mouali Kaci	18	20.8	6.6	613
Ainsser	12	13.7	7.82	739
Ifri	16.8	17	7.8	839
Ifri 3	16.8	17.7	7.38	945
Ouchtoug	14.5	12.5	7.4	435
Imeghninen	14	13.1	7.98	298
Tala Lioua	10.2	12.5	7	295
Amdoun Gighil	10.5	12.5	7.61	196
Tala Ighil	9.4	12.9	6.8	204
Forage Ighil 01	14.9	9.4	7.9	258
Puits Ighil	12.5	10.1	7.6	506
Forage Ighil 02	14	10.7	6.8	345
Min	9.4	9.4	6.6	196
Max	24.5	24.2	8.21	1447
Moy	15.89	16.33	7.38	669.90
Ecart-type	4.04	4.62	0.45	357.80

Tableau 10 - Résultats des mesures in situ.

N°	Nom	TA (ml)	CO ₃ ²⁻ (mg/l)	TAC (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	TH (mg/l)	THCa ²⁺ (mg/l)	THMg ²⁺ (mg/l)	THCl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	No ₃ ⁻ (mg/l)	Fe ²⁺ (mg/l)	Al ³⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)
1	Tala Mouali Kaci	0	0	81	98.8	148	34.4	15.25	145.9	40	0.08	0.62	0	70	4
2	Bouyadif	0	0	299	365	434	132.8	25.09	130	63	2.8	0.03	0	70	12
3	Avaziz	0	0	148	181	172	48	12.79	86.36	49	0.07	0.04	0	70	4
4	Tala Malek	0	0	169	206	234	195.2	3.44	123.1	65	0.07	0.02	0.001	60	3
5	Assaridj	0	0	398	486	500	128.8	43.79	203.5	82	0.04	0.09	0	140	5
6	Ouchtoug	0	0	114	139	174	66.4	1.97	57.57	10	4.43	0.04	0	20	1
7	Ifri	0	0	212	259	246	96	1.48	101.3	77	0.06	0	0.002	70	5
8	Ainser	0	0	120	146	186	38.4	22.14	181.7	52	0.76	0.03	0.005	100	4
9	Forage Ighil 1	0	0	78	95	86	27	04	28	02	5.53	/	/	20	2
Min		0	0	78	95	86	27	01.48	28	02	0.04	0	0	20	1
Moy		0	0	179.90	219	242.20	85.22	14.44	117.50	48.90	1.54	0.11	0.001	68.89	4.44
Max		0	0	398	486	500	195.20	43.79	203.50	82	5.53	0.62	0.005	140	12
Ecart type		0	0	107.25	131	136.60	57.31	14.10	56.28	27.71	2.16	0.21	0.002	36.89	3.13

Tableau 11 - Résultats des analyses chimiques effectuées au niveau des laboratoires de la SEAL et de l'ADE.

2. Interprétation des analyses :

L'appréciation des résultats dépend étroitement de l'usage auquel l'eau est destinée ; il n'y a pas de règles précises pour cela, mais certains éléments permettent de discuter des différentes caractéristiques déterminées par l'analyse.

1. Paramètres physico-chimiques :

Pour mieux étudier les effets de ce traitement sur les paramètres physico-chimiques des eaux, nous avons représentés les résultats obtenus par les figures suivantes :

➤ La conductivité électrique :

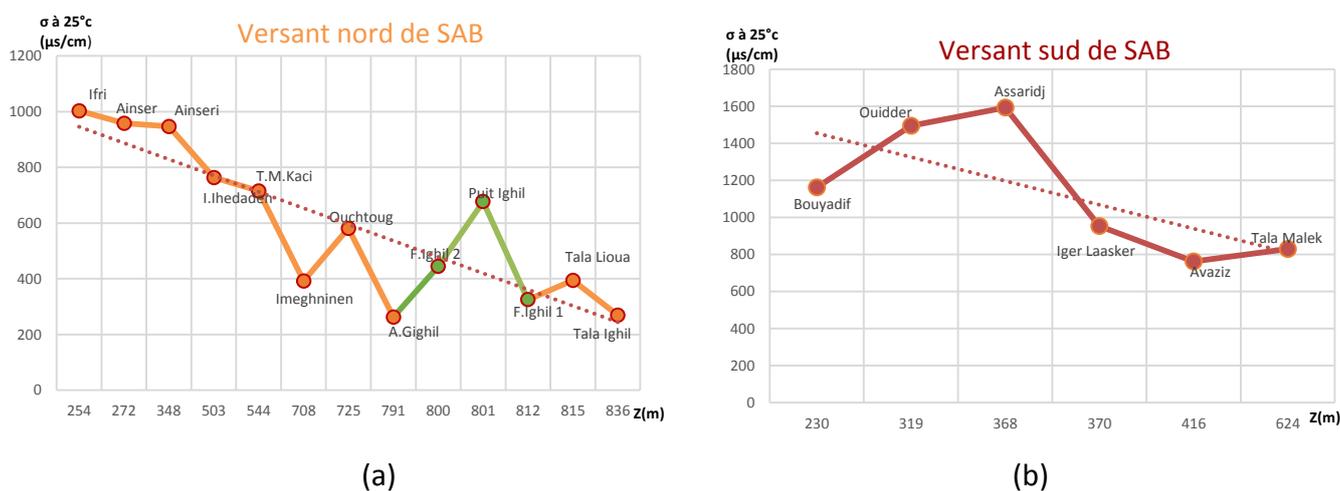


Fig.50 - Evolution de la conductivité en fonction de l'altitude au versant nord (a) et au versant sud (b) de SAB.

L'histogramme réalisé pour les sources de versant nord de SAB, montre globalement que la conductivité diminue en allant vers les hautes altitudes, ce qui permet de dire que l'origine de l'eau vient de hautes altitudes et se charge lors de son passage à travers les formations, plus détaillé, on a les sources Ouchtoug et Tala Lioua qui marquent des conductivités plus élevées par rapport à leurs sites.

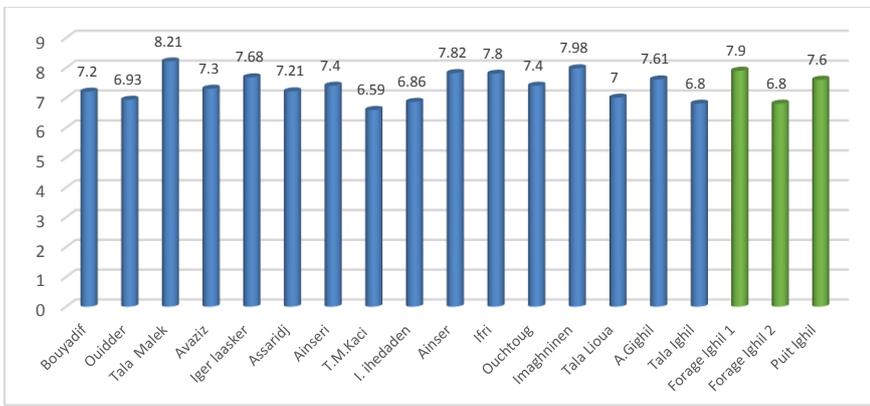
Et pour les points, forage lghil 01 et forage lghil 02 ainsi que le puits lghil, représentés en couleur verte sur l'histogramme, on explique l'augmentation de conductivité en fonction de l'altitude par la profondeur de ces derniers, c'est-à-dire, si on met en considération leurs profondeurs, l'origine de l'eau doit être à des altitudes plus basses et donc leur classification change dans l'histogramme.

Pour le versant sud de SAB, l'histogramme montre la même courbe de tendance, et donc la conductivité diminue en allant vers les hautes altitudes, avec les deux sources Assaridj et Ouidder qui marquent les conductivités les plus élevées par rapport à la source Bouyadif qui est moins élevée que ses deux premières.

Parmi toutes les sources étudiées dans les deux versants nord et sud de SAB, les sources Assaridj, Ouidder et Bouyadif obtiennent les conductivités les plus élevées avec 1447, 1262, 1090 μs/cm malgré leurs basses altitudes 368, 319, 230 m rangés respectivement.

➤ Le pH :

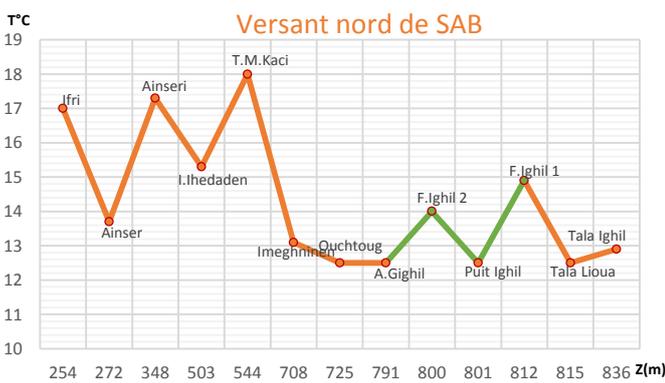
Le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. Il intervient dans les réactions avec le dioxyde de carbone et l'alcalinité.



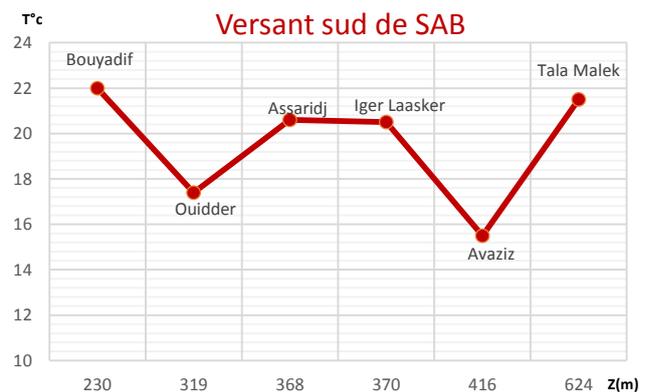
– Le pH des sources varie entre 6.59 et 8.21, les valeurs obtenues sont conformes à la norme (6.5 à 8.5).

Fig.51 - Histogramme de variation du pH des eaux des différents points d'eau.

➤ La température :



(a)



(b)

Fig.52 - Histogramme de variation la température en fonction de l'altitude pour le versant nord (a) et le versant sud (b) de SAB.

Les températures enregistrées sont comprises entre 12.5 et 17.3°C pour le versant nord de SAB et entre 15.5 et 22°C pour le versant sud de SAB, les valeurs obtenues sont conformes à la norme (<25°C).

2. Les paramètres chimiques :

- La dureté est un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et magnésium (Rodier, 1996).
- Il y a trois grandes classes de dureté :

TH <15°F : eau douce.
 TH >15°F : eau légèrement douce.
 TH >50°F : eau très dure.

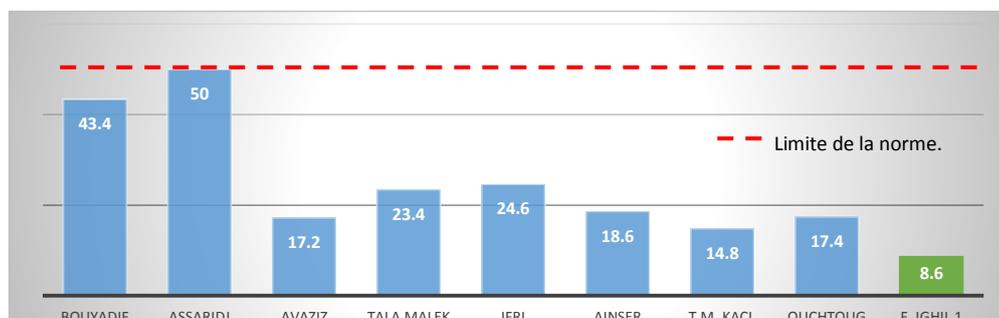


Fig.53 - Histogramme de variation du titre hydrotimétrique en °F.

Les valeurs de la dureté obtenues pour les eaux de sources sont comprises entre 14.8 et 50°F ou 148 et 500 mg/l de CaCO₃, ce qui montre un caractère marqué d'eau légèrement douce. Le forage montre un caractère marqué eau douce, les valeurs sont conformes à la norme (100 à 500 mg/l de CaCO₃).

Les sources Assaridj et Bouyadif enregistrent les duretés les plus élevées (43.4 et 50°F) avec un grand écart par rapport aux autres sources, et donc, on relie sa avec une concentration élevée avec les cations Ca²⁺ et/ou Mg²⁺.

Le forage Ighil 01 enregistre la valeur la plus basse et donc la seule eau douce parmi les plans d'eau examinés. En effet, l'eau est profonde et moins vulnérable que l'eau de surface.

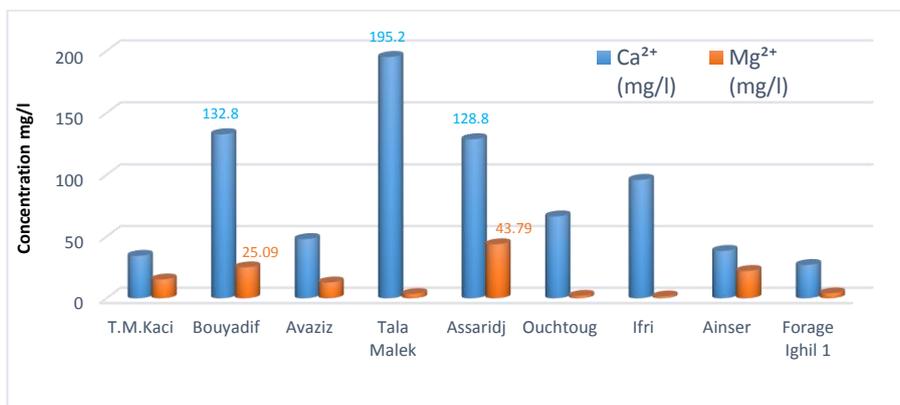


Fig.54 - Histogramme de variation des teneurs en Ca²⁺ et Mg²⁺.

L'histogramme montre que les concentrations de calcium les plus élevées sont enregistrées pour les sources Tala Malek suivi de Bouyadif puis Assaridj, et celles de magnésium sont enregistrées pour Assaridj ensuite Bouyadif.

La source Assaridj était auparavant développée sous la forme d'un canal qui amène l'eau du pied du SAB sur les marnes du miocène au réservoir d'eau. C'est pourquoi l'eau a besoin du temps pour arriver et dissoudre les formations marneuses en cours de route, ceci explique la concentration élevée en Ca²⁺.

Et pour les fortes concentrations de Mg²⁺, les engrais utilisés en agriculture sont riches en magnésium, c'est l'explication la plus logique puisque la source se trouve au milieu des terres agricoles.

Au niveau de la source Bouyadif se trouve les formations marbres, ce qui explique les concentrations élevées en calcium.

- Les relations entre les principaux anions en fonction de la conductivité, montrent une meilleure corrélation avec les bicarbonates à une concentration très élevée par rapport à celle des chlorures et des sulfates qui ont des droites pratiquement parallèles, identiques et se rejoignent pour les teneurs élevées et donc la même évolution pour les Cl et SO₄.

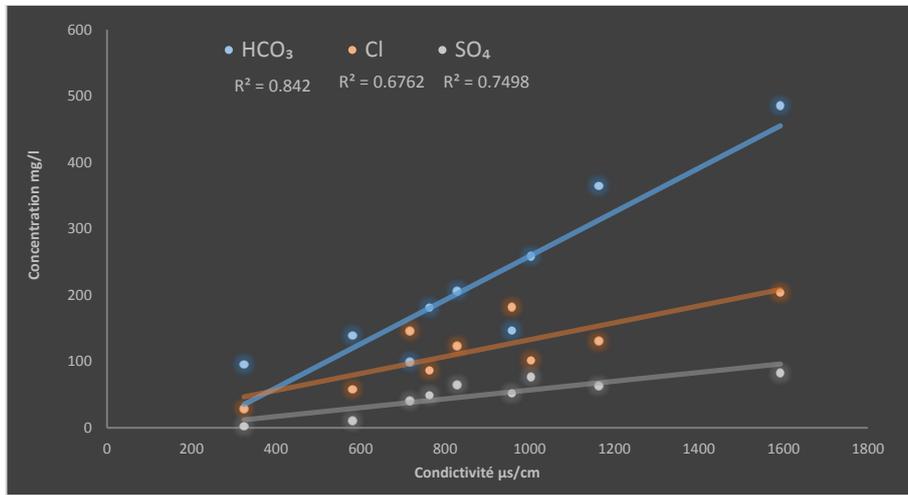


Fig.55 - Relation entre teneurs en HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} et la conductivité.

- La conductivité des cations principaux est très bien corrélée avec le sodium, beaucoup moins avec le calcium et le magnésium, qui est un peu plus important que le calcium.

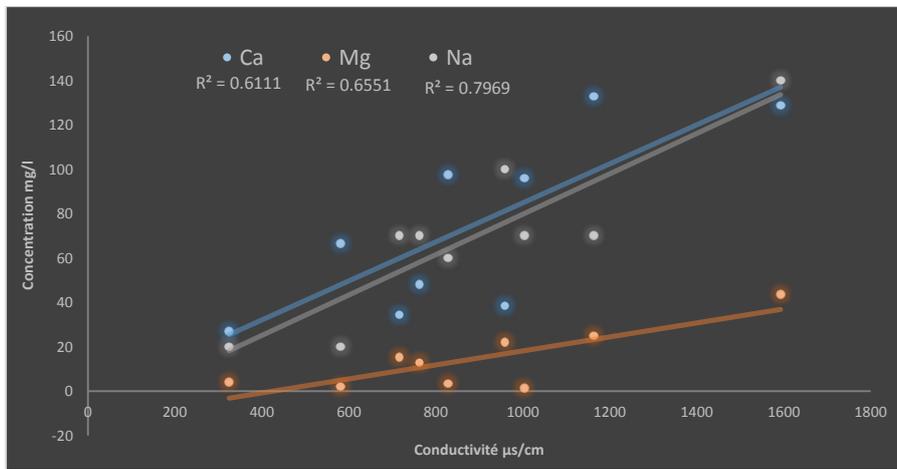


Fig.56 - Relation entre teneurs en Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et la conductivité.

• **Autres éléments :**

a. Le Fer (Fe^{2+}) et l'Aluminium (Al^{3+}) :

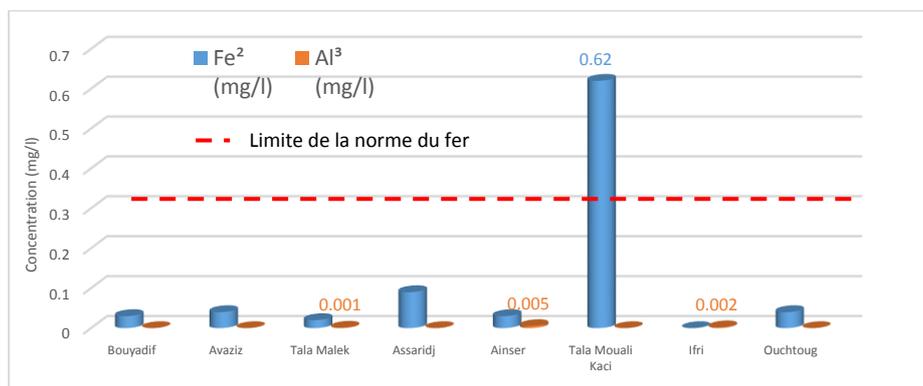


Fig.57 – Histogramme des concentrations en Fe^{2+} et en Al^{3+} .

La concentration des ions de fer varie de 0.02 et 0.09 mg/l, à l'exception de la source Ifri qui n'en contient pas du tout (0 mg/l) ; par contre, l'eau de la source Tala Mouali Kaci en accuse un excès (0.62 mg/l) qui dépasse largement la norme de potabilité (<0.3 mg/l). Cela confirme que le voile de couleur irisée couvrant les flaques du sol marécageux trouvées dans cette source.

En milieu asphyxiant le fer se déplace à l'état ferreux soluble, précipite à l'état ferrique sous l'effet de la dessiccation ou de l'oxygénation, c'est le cas du voile trouvées à Tala Mouali Kaci qui proviennent de l'oxydation par des bactéries (ferre-bactéries), du fer ferreux soluble à hydroxyde ferrique, il est l'indice de l'acidité qui a favorisé la mobilisation du fer (Les bases de la production végétale-Tom I : le sol, D.SOLTNER 1992).

Les concentrations des ions d'aluminium sont presque toutes nulles sauf 3 sources avec des concentrations très inférieures à la norme (< 0.2 mg/L).

b. Oxygène dissous O₂ :

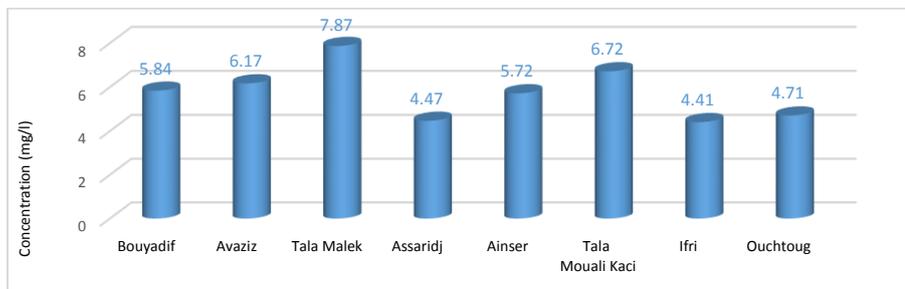


Fig.58 – Histogramme des concentrations en O₂ dissous.

Classe	mg/l
Très bonne	>8
Bonne	6
Moyenne	4
Mauvaise	3
Très mauvaise	<3

Tableau 12 - Normes de potabilité selon la concentration en oxygène dissous.

Les résultats enregistrés varient entre 4.41 et 7.87 mg/l, l'eau est donc classée de moyenne à bonne selon le tableau n°12, mais aussi ne doit pas dépasser 8mg/l selon la norme de potabilité algérienne.

La concentration en oxygène dissous est un paramètre essentiel pour le maintien de la vie. Donc, ce paramètre indique le degré de pollution de l'eau, c'est-à-dire que si l'eau est polluée, aucun être vivant ne peut y vivre.

3. Balance ionique d'eau :

Les ions se divisent en cations, à charge positive, et en anions à charge négative. Dans les cations et anions identifiés dans les eaux, il y a ceux qu'on qualifie de majeurs, et les mineurs, présents évidemment en faible quantité et souvent le reflet d'eaux particulières ou polluées.

Les cations majeurs comprennent donc le calcium(Ca²⁺), le magnésium(Mg²⁺), le sodium(Na⁺) et le potassium(K⁺). Dans les anions majeurs, on compte les bicarbonates(HCO₃⁻), les chlorures(Cl⁻) et les sulfates(SO₄²⁻).

La balance ionique représente l'équilibre entre les cations et les anions présents dans l'eau.

$$\text{Somme des cations}[\text{még/l}] = \text{Somme des anions}[\text{még/l}]$$

Cette balance ionique, effectuée en utilisant une unité commune, milliéquivalent par litre (még/l), permet de vérifier si l'analyse a été bien faite.

$$[\text{még/l}] = \frac{[\text{mg/l}]}{\text{Masse molaire}} \times \text{Valence}$$

Pour que la neutralité de la solution soit respectée et le pourcentage d'erreur doit être égale ou inférieur à 5%.

$$\frac{\sum|\text{cations}| - \sum|\text{anions}|}{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}} = \leq 5\%$$

Les valeurs résultats chimiques obtenus sont conformes à l'exigence de la balance ionique et ce, pour les eaux des 08 sources analysées. Le tableau suivant en fait la récapitulation :

Source	Versant sud de SAB				Versant nord de SAB				
	Bouyadif	Tala Malek	Avaziz	Assaridj	T.M.Kaci	Ainser	Ifri	Ouchtoug	Forage Ighil 1
Balance ionique %	4.51	2.28	1.37	2.66	3.55	2.55	3.66	2.20	2.36

Tableau 13 – Comparaison des résultats chimiques avec la balance ionique.

4. Représentations graphiques :

À partir de la composition chimique en éléments majeurs, les eaux peuvent être classées en différents faciès hydrochimiques et comparées sur divers diagrammes.

La représentation graphique sur le diagramme de Piper pour le versant sud de SAB met en évidence :

- ✓ Deux sources à faciès bicarbonaté calcique et magnésien.
- ✓ Deux sources à faciès chloruré et sulfaté calcique voire magnésien.

La représentation graphique sur le diagramme de Piper pour le versant nord de SAB met en évidence :

- ✓ Deux sources à faciès chloruré sodique.
- ✓ Une source à faciès bicarbonaté calcique.
- ✓ Une source à faciès bicarbonaté et chloruré calcique.
- ✓ Un forage à faciès bicarbonaté calcique.

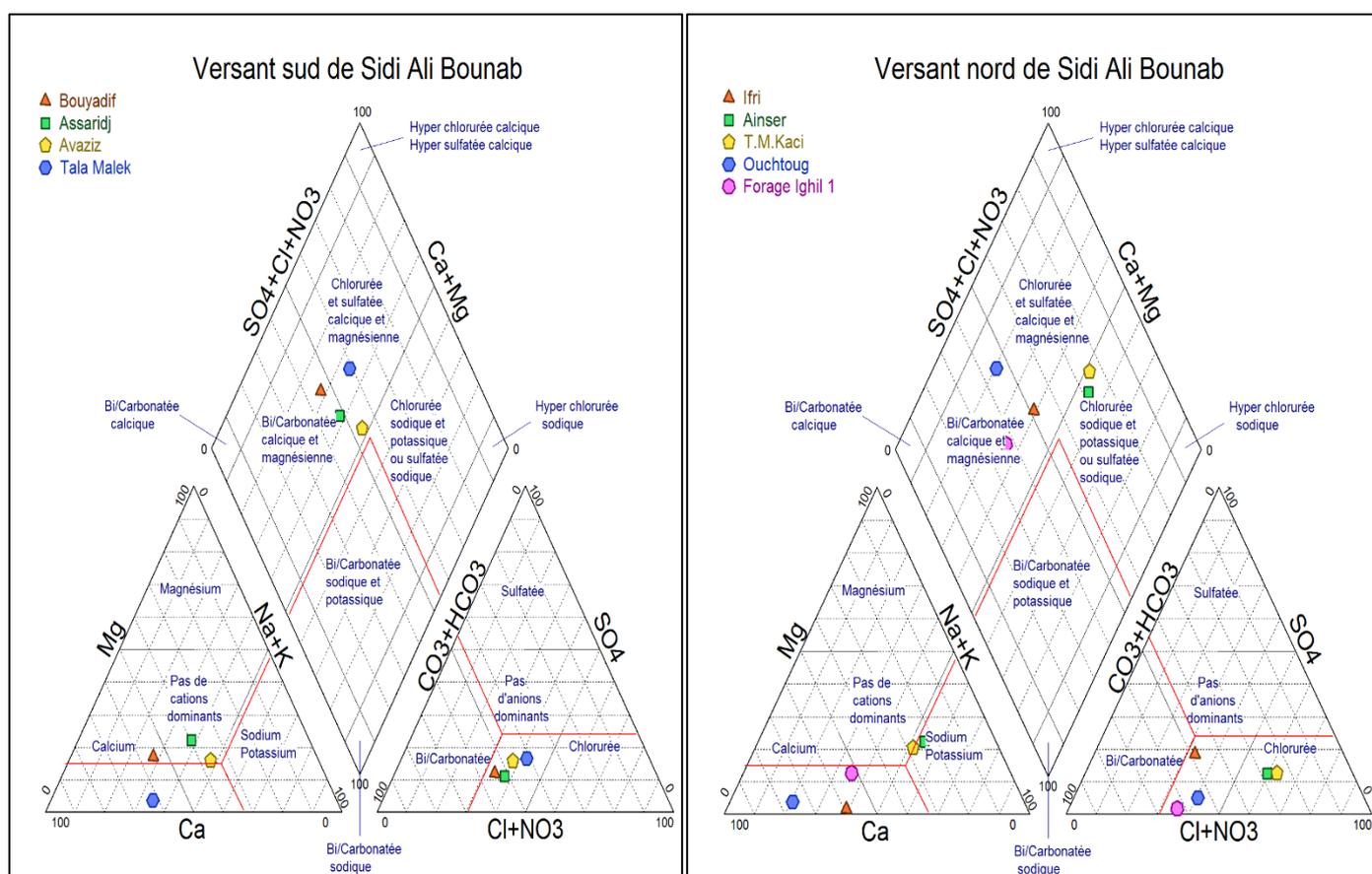


Fig.59 - Représentation des résultats d'analyses des eaux de sources sur le diagramme de Piper.

Les diagrammes de Schoeller-Berkaloff (Figure.60) montrent les mêmes tendances. Les lignes figuratives globalement parallèles traduisent un enrichissement plus ou moins marqué des eaux en éléments chimiques.



Fig.60 – Représentation des résultats d’analyses des eaux de sources sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

Conclusion :

Cette étude dans la région de Sidi Ali Bounab nous a permis d’évaluer la qualité des eaux sur le plan hydrochimique.

Les résultats des analyses chimiques permettent de déterminer deux faciès : bicarbonaté et chloruré. Le pole cationique pouvant varier de : calcique, magnésien à sodique.

Par ailleurs, ces résultats permettent de qualifier les eaux de SAB de bonne qualité eu égard aux normes de potabilité édictées par l’OMS et les normes algériennes (2014), et ce pour la majorité des sources étudiées.

En effet, les teneurs des éléments majeurs n’excèdent pas les valeurs des concentrations des normes en vigueur. Quant aux éléments mineurs (Fe^{2+} , Al^{3+} , NO_3^-), seul le Fer montre une valeur excédentaire de 0.62 mg/l au niveau de la source de Tala Mouali Kaci. Cependant, cette valeur reste conforme aux exigences des normes de l’irrigation, soit 5 mg/l.

D’après la classification simplifiée de Vuataz (in MAZOR), les éléments majeurs des eaux issues des roches cristallines sont :

HCO_3^- , anions majeurs puis selon études récentes certains cas Cl^- (biotites et inclusions fluides) et même SO_4^{2-} (sulfates et oxydation des pyrites), Na^+ et Ca^{2+} cations majeurs pour les formations granitiques.

HCO_3^- , anions majeurs, Na^+ et cations majeurs pour les formations schisteuses.

In fine, parmi les 8 eaux de sources analysées, on classe 7 eaux potables plus l’eau de forage, et une source non potable, selon les normes de potabilité citées.

CONCLUSION GENERALE

Le massif de Sidi Ali Bounab est constitué de roches métamorphiques (cipolin, schistes, gneiss) et magmatiques (granites), d'âge Paléozoïque, en discordance avec les formations gréseuses et marneuses du Miocène Post- Nappes.

La fracturation, fissuration et l'altération superficielle ont en fait un réservoir particulier, appelé un aquifère fissuré.

Plusieurs exutoires distribués sur ses deux versants, à différentes altitudes, coulent de façon permanente, même lorsque la saison pluviométrique enregistre un niveau bas, en l'occurrence, celui de 2021.

Au point de vue géomorphologique, un réseau hydrographique dense caractérise le relief du massif de Sidi Ali Bounab.

A la faveur des talwegs, qui coïncident à des directions de failles, émergent des sources de dépression dont les débits, quoique modestes, restent pérennes.

Le climat de types méditerranéen caractérisé par deux saisons alternées, dont l'une est froide et pluvieuse et l'autre sèche et chaude régit la pluviosité de cette région. Ainsi, la lame précitée moyenne sur la période (2008-2018) du bassin versant de l'Oued Bougdoura, a été estimée, par la méthode de Thiessen, à 784,85 mm. Ce sont ses apports, qui alimentent l'écoulement souterrain de l'aquifère, et par conséquent, celui des sources. L'insuffisance apparente de cette ressource éparpillée dans l'espace mérite d'être mobilisée efficacement, pour être rentabilisée. Des potentialisées souterraines existent, car des forages en altitudes (deux) assez profond, alimentent des fermes d'élevage.

S'agissant de la qualité des eaux analysées, il s'avère qu'elle est conforme aux normes en vigueur pour les éléments majeurs (Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}). Quant à certains éléments mineurs, en l'occurrence (Fe^{2+} , Al^{3+} , NO_3^-), seul le Fe^{2+} accuse un dépassement léger (0,6 mg/l). Cependant, cette teneur excédentaire reste en-deçà de la concentration préconisée pour l'irrigation (5 mg/l). L'unique source qui se singularise par l'absence de conformité aux normes de potabilité, est la source Tala Mouali Kaci.

RECOMMANDATIONS

Les aléas climatiques qui nous guettent, en particulier celui du réchauffement, rehaussés par le contexte aride dont est qualifiée notre zone géographique, il devient impérieux de se soucier au plus tôt, de la protection et de la mobilisation de la moindre ressources en eau à proximité de chez soi. Si bien qu'on ne saurait trop insister sur :

1 /L'éducation du rapport à l'eau du citoyen par la protection des points d'eau, et la lutte contre son gaspillage par la voie de tous les canaux (école, famille, associations,...)

2 /Aménager des accès à toutes sources en vue de leur aménagement, de leur identification, de leur protection (périmètres), de leur entretien et de leur adduction, si nécessaire.

3 / Elaborer un calendrier de contrôle de la qualité des eaux des sources.

4 / Encourager toute initiative contributive.

5 / Dresser une carte de situation des sources affichée à la connaissance du public, avec des indications utiles (nom, coordonnées, débit, potabilité,...).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Thèses :

BENHASSAINE M. (1980) : Recherches sur les modelés du relief et les formations superficielles dans la vallée de l'Oued Sébaou (Grande Kabylie, Algérie). Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, université de Paris I (Panthéon-Sorbonne), 196 p.

BETTAHAR A. (1990) : Massif de Sidi Ali Bounab (Grande Kabylie) mise en place d'un granite au cours d'un cisaillement tangentiel à vergence NW a N.

RAYMOND D. (1976) : Evolution sédimentaire et tectonique du Nord-Ouest de la Grande Kabylie au cours du cycle alpin. Thèse de doctorat ès sciences, université de Paris, 152 p.

SAADALLAH A. (2015) : La Grande Kabylie dans le contexte algérien vu par les géosciences. Ed. Ingese, 235p.

2. Ouvrages :

BRGM (1998) : Les périmètres de protection en milieu fissuré, exemples et principes d'application, 55 p.

CASTANY G. (1963) : Traité pratique des eaux souterraines. Ed. Dunod, Paris, 657 p.

CASTANY G. et MARGAT J. (1977) : Dictionnaire français d'hydrogéologie. Ed. BRGM, Orléans, 249 p.

DEGREMONT S. A. (1989) : MEMENTO TECHNIQUE DE L'EAU, 9^{ème} Ed. 1459 p.

Normes de potabilité déduites du Journal officiel de la république algérienne n°13 (Décret exécutif n° 14-96 du 4 mars 2014 modifiant et complétant le décret exécutif n° 11-125 du 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine).

ROCHE M. (1986) : Dictionnaire français d'Hydrologie de surface avec équivalents en Anglais, Espagnol, Allemand. Ed. Masson, Paris, 288 p.

RODIER J. (2009) : L'analyse de l'eau. Ed. Dunod, Paris, 1526 p.

ROUX J-C. (1989) : Aquifère et eaux souterraines en France ouvrage collectif. Ed. BRGM.

SCHOELLER H. (1962) : Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique, recherche, exploitation, et évaluation des ressources. Ed. Masson, 642 p.

TROMBE F. (1977) : Les eaux souterraines. Ed. P.V.F que sais-je.

Vuataz (in MAZOR) : Classification simplifiée des éléments majeurs des eaux issues des roches cristallines.

3. Sites Internet :

LALLEMAND-BARRÉS A. et Roux J-C. : Périmètre de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine, Ed. BRGM.

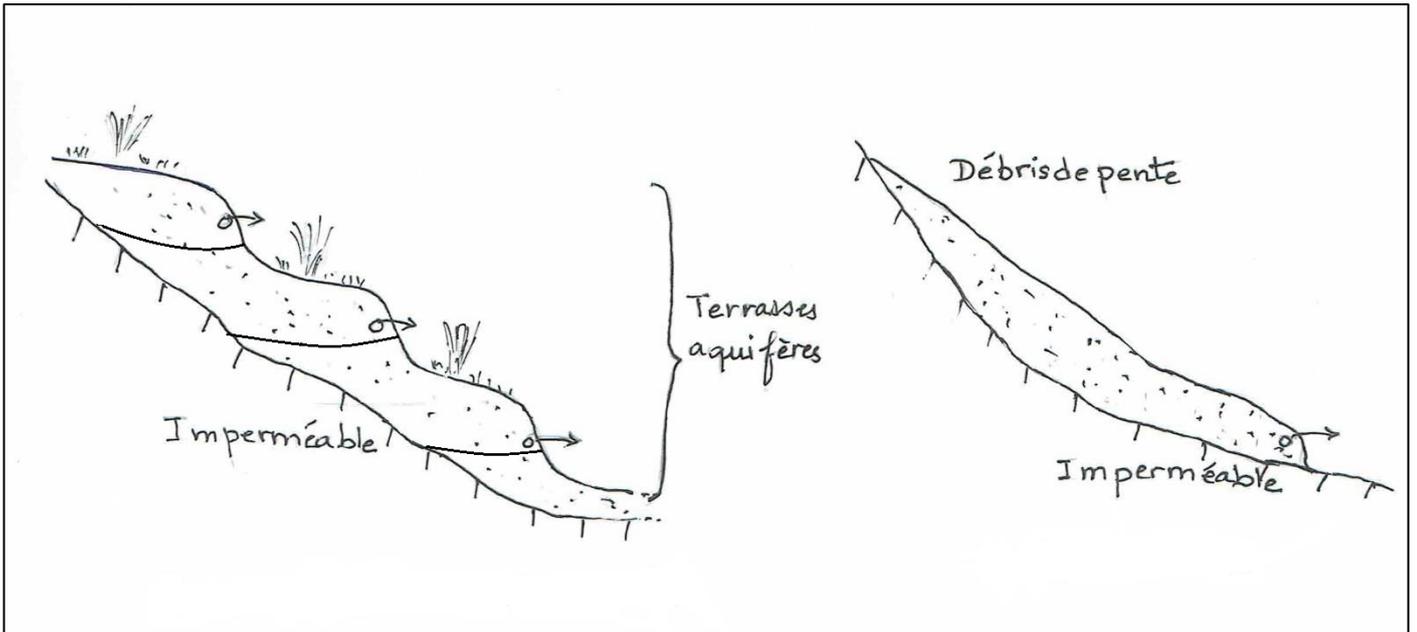
BENMEDDAH Kh. (2018) : Etablissement de carte de ressources en eaux souterraines de Tipaza, 96p.

BRGM (1986) : Structure et hydrodynamique des milieux fissurés aquifères, Ph. Leblanc, 109 p.

LERAY S. (2012) : Caractérisation des aquifères de socle cristallin et de leur ressources en eau - Apport des données d'«âge» de l'eau. Thèse de docteur de l'université de RENNES 1, université de RENNES 1, 192p.

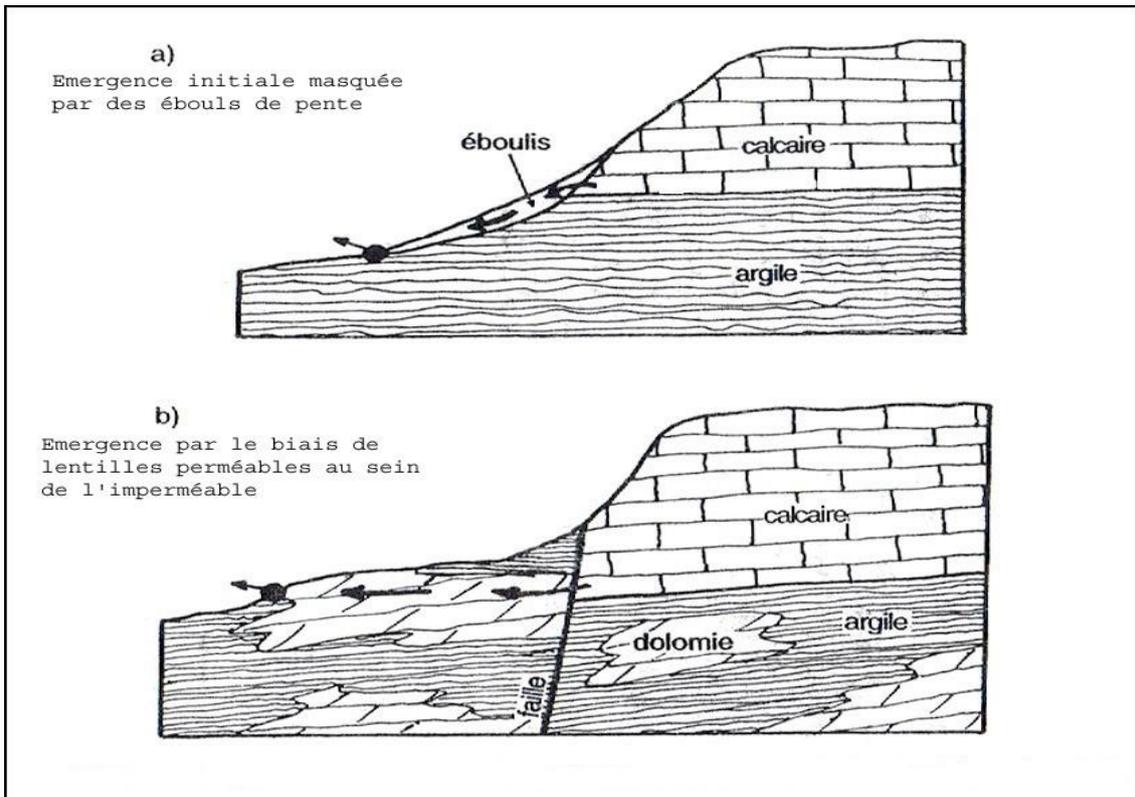
ROQUES C. (2013) : Hydrogéologie des zones de failles du socle cristallin : implications en termes de ressources en eau pour le massif Armoricaïn. Thèse de doctorat, université de RENNES 1, 256 p.

ANNEXES



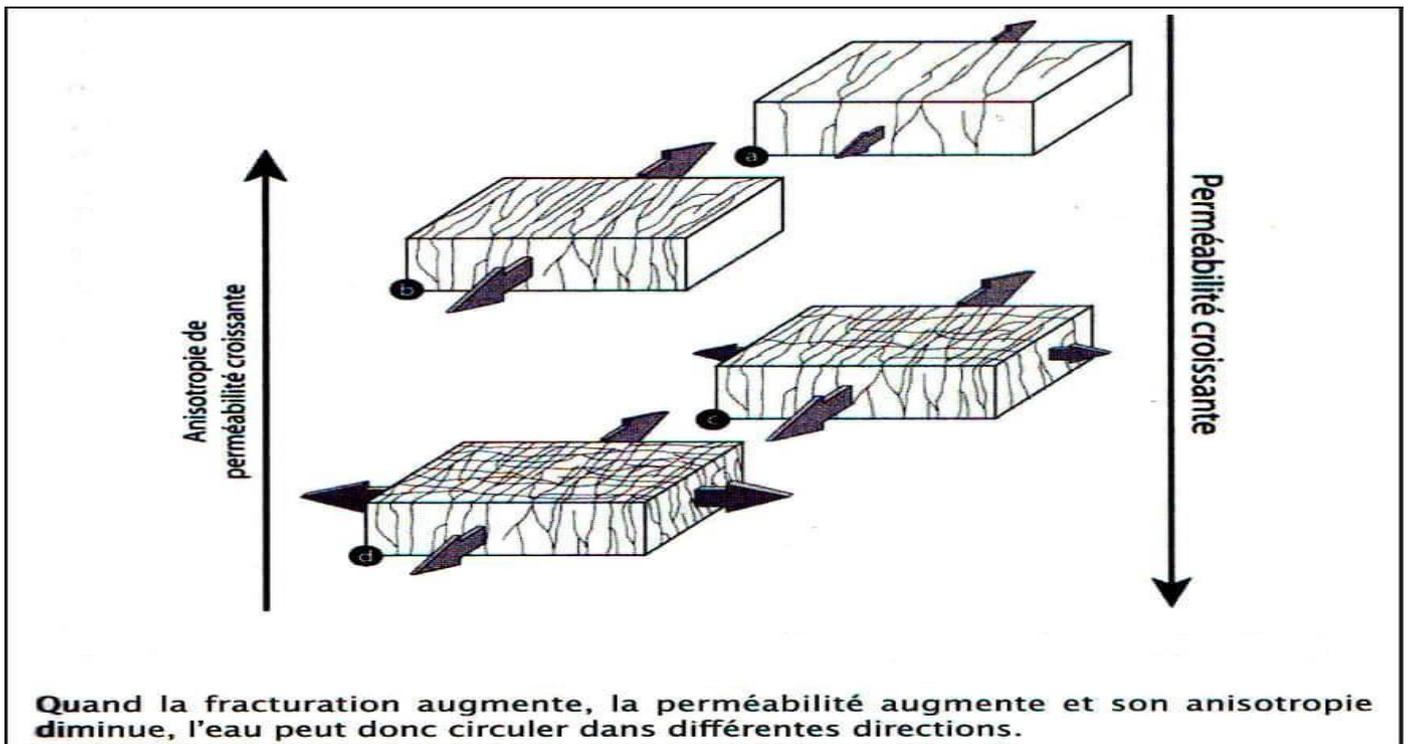
Annexe 1a - Source de terrasses alluviale (étagée)
(F. TROMBE, 1977).

Annexe 1b - Source de talus
(F. TROMBE, 1977).

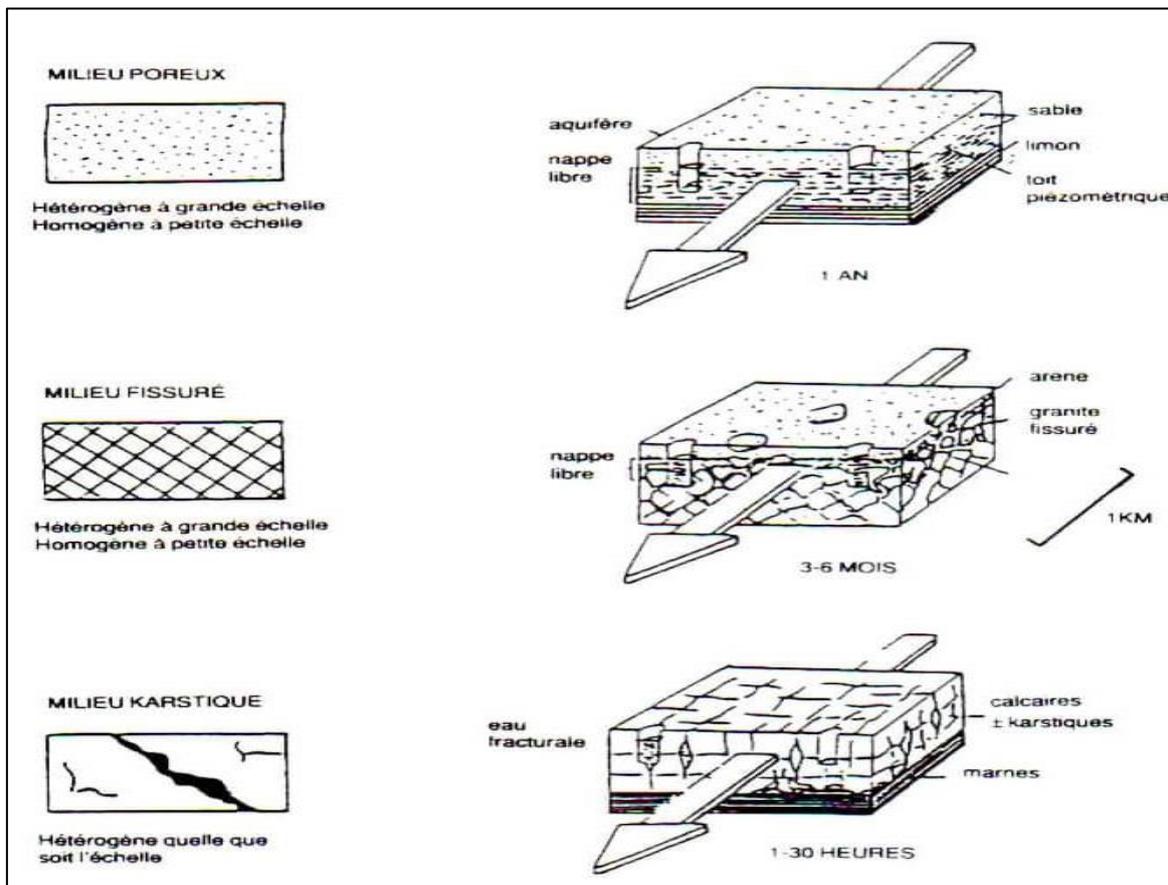


Annexe 1c - Source reportée, (F. TROMBE 1977).

Annexe 2a – Variation de la perméabilité en fonction de la fracturation (d'après Bazzalgette, 2004).



Annexe 2b – Hétérogénéité physique des aquifères et variabilité des vitesses d'écoulement, (adapté de Droigne, 1971).



Annexe 3 - Listes des sources d'archive (Direction des Ressources en Eaux de Tizi Ouzou).

Num°	Région	Nom de source	X (Lambert)	Y (Lambert)	Z(m)	Date	Débit (l/m)	X (UTM)	Y (UTM)
1	Draa El Mizan	Tala Mamar	604+200	367+560	310	23/10/1947	0.75	577,225.00	4,051,143.77
2	Draa El Mizan	Ighzer ou Debagh	604+650	367+000	305	23/10/1947	2	577,673.33	4,050,582.43
3	Draa El Mizan	Taouint N'Hou Gherbi	604+125	367+100	275	23/10/1947	1	577,148.65	4,050,683.98
4	Draa El Mizan	Puits (El Ainseur)	603+375	367+300	215	23/10/1947	2	576,399.27	4,050,886.20
5	Draa El Mizan	Tala El Ainseur	600+450	376+500	750	11/11/1947	2.25	573,501.54	4,060,094.91
6	Draa El Mizan	Tala N'Télmathine	600+575	376+375	720	11/11/1947	/	573,626.16	4,059,969.54
7	Draa El Mizan	Tala Ihissithéne	600+650	376+175	730	11/11/1947	Faible	573,700.57	4,059,769.32
8	Draa El Mizan	Taouint Oussaka	601+125	376+500	700	11/11/1947	1	574,176.49	4,060,092.93
9	Draa El Mizan	Tala Tabhirine	601+275	376+325	690	11/11/1947	1	574,325.97	4,059,917.49
10	Draa El Mizan	Tala Slimane	599+900	375+750	620	11/11/1947	2	572,949.37	4,059,346.53
11	Draa El Mizan	Tala N'Ait Amar Moussa	600+940	374+150	570	13/11/1947	5	573,987.54	4,058,743.47
12	Draa El Mizan	Tala N'El Had	601+725	374+175	570	13/11/1947	5	574,769.62	4,057,766.15
13	Draa El Mizan	Tala Hallil	602+550	374+850	420	13/11/1947	7	575,596.55	4,058,438.73
14	Draa El Mizan	Tala Oubaziz	602+550	374+100	400	13/11/1947	3	575,594.34	4,057,688.73
15	Draa El Mizan	El Bir	600+160	369+000	430	18/11/1947	0.6	573,189.46	4,052,595.72
16	Draa El Mizan	El Ainseur Boudhghagh	600+700	369+400	375	18/11/1947	8.5	573,730.61	4,052,994.13
17	Draa El Mizan	Tala Laghrous	596+025	369+200	360	19/11/1947	Faible	569,055.31	4,052,807.95
18	Draa El Mizan	Assaidj France	599+400	361+550	380	28/10/1947	3	569,055.31	4,052,807.95
19	Draa El Mizan	Taouint Bourdiche	608 + 350	380 + 350	400	/	0.3	588970.59	4049649.19
20	Draa El Mizan	Tala Tebahinets	598 + 910	374 + 850	660	/	4.6	571957.07	4058449.54
21	Draa El Mizan	Tala Bouzerou	599 + 275	374 + 425	535	/	150	572320.79	4058023.46
22	Draa El Mizan	El Anseur	599 + 450	374 + 060	468	/	4	572494.7	4057657.94
23	Draa El Mizan	Tala Aslouch	598 + 860	373 + 800	570	/	12	571903.98	4057399.68
24	Draa El Mizan	Source Imarach	598 + 080	374 + 000	645	/	9	571124.62	4057601.98
25	Draa El Mizan	Tala Zoursal	596 + 750	374 + 050	630	/	33.3	569794.86	4057655.91
26	Draa El Mizan	Imdaunet	598 + 150	373 + 300	500	/	7	571192.55	4056901.77
27	Draa El Mizan	Tala Ighil	602 + 600	377 + 600	840	/	24	575654.9	4061188.69
28	Draa El Mizan	Source d'Agouni Ichoukrène (1)	602 + 350	377 + 575	801	/	4	575404.85	4061164.43
29	Draa El Mizan	Source d'Agouni Ichoukrène (2)	602 + 250	377 + 700	777	/	6	575305.22	4061289.72
30	Draa El Mizan	Tala Ifournane (captage N°09)	602 + 050	377 + 600	806	/	20	575104.94	4061190.31
31	Draa El Mizan	Captage Tala gh'Ighil (N° 1,5,6,7)	602 + 450	377 + 990	760	/	7.1	575506.06	4061579.13
32	Draa El Mizan	Tala Boulma	603 + 250	378 + 000	750	/	12	576306.03	4061586.79
33	Draa El Mizan	El Anasseur	601 + 750	377 + 675	790	/	8.5	574805.18	4061266.19
34	Draa El Mizan	Tala Amar	600 + 650	377 + 550	650	/	3	573704.89	4061144.42
35	Draa El Mizan	Tala Hebja	600 + 050	377 + 375	550	/	5	573104.42	4060971.18
36	Draa El Mizan	Taouinte Tassemat	598 + 980	375 + 800	800	/	Faible	572029.86	4059399.33
37	Draa El Mizan	Tala Tameziante	598 + 960	376 + 075	820	/	Faible	572010.67	4059674.39
38	Draa El Mizan	Acherchour N Sidi Younès	598 + 675	376 + 025	808	/	1.8	571725.54	4059625.23
39	Draa El Mizan	Amdoun N'Ait Bekas ou ali	599 + 100	376 + 225	800	/	1	572151.1	4059823.98
40	Draa El Mizan	El Anseur N'Ait Bekas ousli (puits)	599 + 220	375 + 875	730	/	1	572270.06	4059473.62
41	Draa El Mizan	Tala Taouinine	599 + 550	376 + 300	750	/	4	572601.29	4059897.65
42	Draa El Mizan	Abaziz	600 + 125	376 + 225	730	/	2	573176.03	4059820.96
43	Draa El Mizan	Tala Ainseur	599 + 900	375 + 820	590	/	1	572949.86	4059416.62

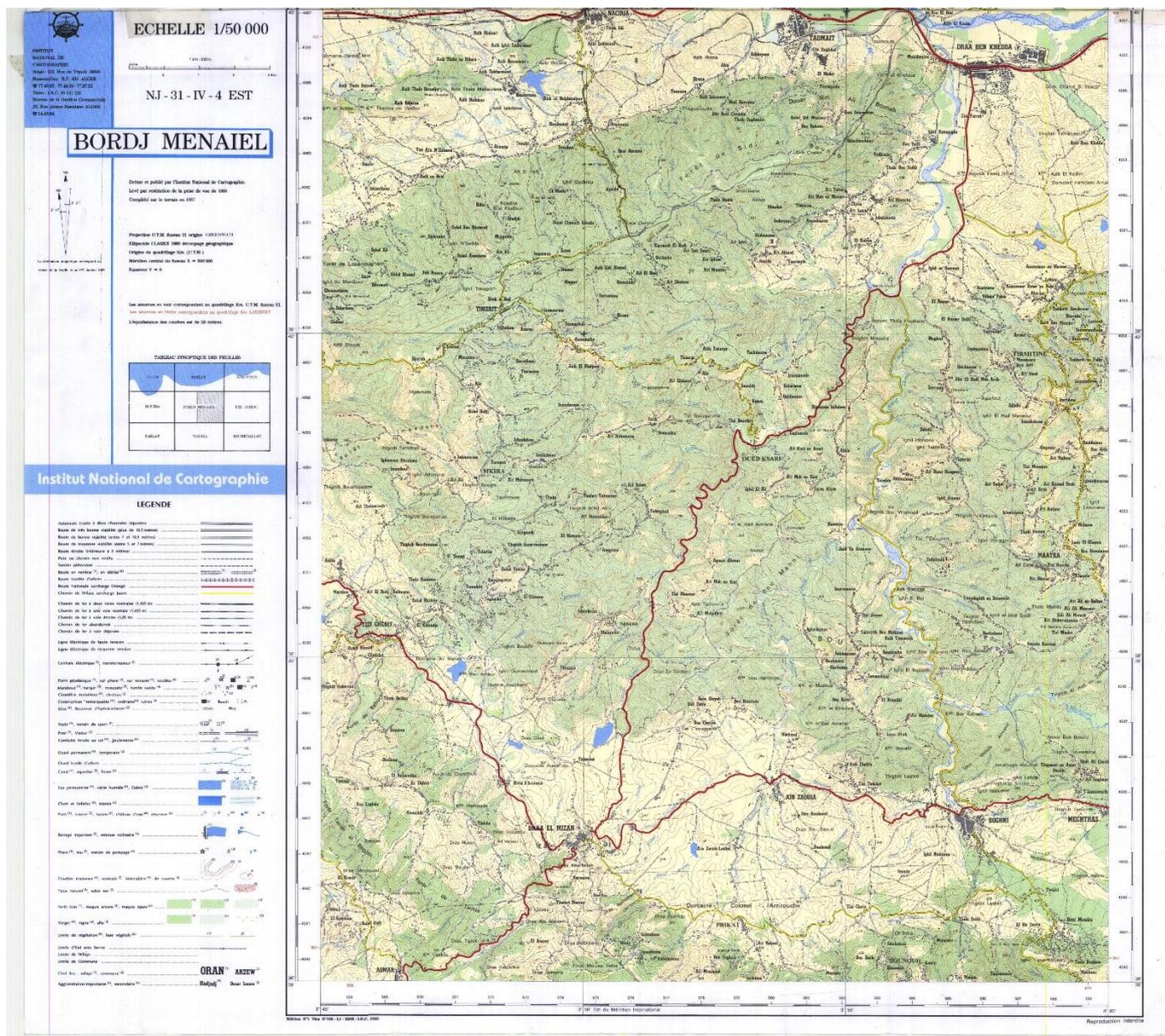
Annexe 4 - Listes des sources d'archive (Direction des Ressources en Eaux de Tizi Ouzou).

44	Draa El Mizan	Tala N'AiT Fadel	599 + 275	375 + 525	718	/	1.2	572324.03	4059123.46
45	Draa El Mizan	Tala Malek	605 + 110	378 + 400	685	/	5	578167.08	4061981.34
46	Draa El Mizan	El Bir Iayadhène	596 + 225	366 + 602	313	/	5	569247.86	4050209.42
47	Draa El Mizan	Tala Mamar	604 + 200	367 + 560	310	/	0.7	577225.28	4051143.83
48	Draa El Mizan	Puits (El Anseur)	603 + 375	367 + 300	215	/	2	576399.55	4050886.26
49	Draa El Mizan	Tala N'Ali	599 + 500	365 + 825	300	/	14	572520.38	4049422.69
50	Tizi Ghenif	El Bir Iayadhène	596+225	366+602	313	23/10/1947	5	569,247.61	4,050,209.34
51	Tizi Ghenif	Source Didhan	596+425	367+175	260	23/10/1947	2.4	569,449.29	4,050,781.75
52	Tizi Ghenif	El Ainseur Ouazoug	596+500	367+350	318	23/10/1947	5	569,524.81	4,050,956.53
53	Tizi Ghenif	Tala Hamada	597+650	367+225	417	23/10/1947	0.7	570,674.37	4,050,828.12
54	Tizi Ghenif	Tala Hamada 2	597+200	367+570	455	23/10/1947	0.2	570,225.42	4,051,174.46
55	Tizi Ghenif	Tala Ousseumoum	598+070	367+970	450	23/10/1947	Faible	571,096.55	4,051,571.89
56	Tizi Ghenif	Tala Yala	598+525	367+825	492	23/10/1947	Faible	571,551.09	4,051,425.54
57	Tizi Ghenif	El Ainseur	598+550	367+525	465	23/10/1947	20	571,575.20	4,051,125.46
58	Tizi Ghenif	Source Habroud	595+200	365+710	480	23/10/1947	7.1	568,220.03	4,049,320.37
59	Tizi Ghenif	Source Du Marabout	595+425	365+450	402	23/10/1947	18.6	568,444.24	4,049,059.70
60	Bordj Menaiel	Tala N'Barane	598+450	377+525	535	10/11/1947	1	571,504.70	4,061,125.79
61	Bordj Menaiel	Ainseur Boudjaboub	598+750	377+500	490	10/11/1947	4	571,804.60	4,061,099.91
62	Bordj Menaiel	Tala Amdhoun	589+850	377+925	630	10/11/1947	Faible	571,905.84	4,061,524.61
63	Bordj Menaiel	Tala Tissedhoua	599+650	377+200	650	10/11/1947	15	572,703.65	4,060,797.26
64	Bordj Menaiel	Tala Tebazizt	599+100	377+600	590	10/11/1947	Faible	572,154.87	4,061,198.88
65	Bordj Menaiel	Tala Younés	598+650	376+025	815	11/11/1947	15	571,700.27	4,059,625.21
66	Bordj Menaiel	Abazéz	600+125	376+225	730	10/11/1947	2	573,175.75	4,059,820.87
67	Bordj Menaiel	Tala L'Ainseur	599+900	375+820	590	10/11/1947	1	572,949.58	4,059,416.53
68	Camp du Maréchal	Tala Malek	605+110	378+400	685	1/11/1947	5	578,166.79	4,061,981.24
69	Camp du Maréchal	Tala Bouzal	606+500	377+550	360	1/11/1947	1.3	579,554.21	4,061,127.17
70	Camp du Maréchal	Tala Mouh Larbi	605+850	376+900	400	1/11/1947	4	579,902.29	4,060,476.14
71	Camp du Maréchal	Abaziz	606+250	377+250	390	1/11/1947	5.6	579,303.35	4,060,827.90
72	Camp du Maréchal	Tala N'Ait Chenacha	605+900	380+800	485	2/11/1947	5	578,963.75	4,064,378.94
73	Camp du Maréchal	El Ainsser Tamda Tassemat	605+125	381+000	300	3/11/1947	20	578,189.39	4,064,581.20
74	Camp du Maréchal	Tala	604+900	380+050	360	3/11/1947	3	577,961.63	4,063,631.86
75	Camp du Maréchal	El Ainsser Tagounitz	604+075	380+625	390	3/11/1947	24	577,138.37	4,064,209.27
76	Camp du Maréchal	Tala Mendoun	608+350	380+375	518	3/11/1947	2.9	581,412.29	4,063,928.79
77	Camp du Maréchal	Tala Oukarâa	608+200	380+600	508	3/11/1947	0.3	581,263.01	4,064,172.22
78	Camp du Maréchal	Tala Ouffela	608+075	380+475	518	3/11/1947	1.6	581,137.66	4,064,047.59
79	Camp du Maréchal	Tala Tarkoubt	607+550	380+350	569	3/11/1947	0.1	580,612.33	4,063,924.12
80	Camp du Maréchal	Tala Gu'Ighzer	607+550	380+225	575	3/11/1947	1.2	580,611.96	4,063,799.12
81	Camp du Maréchal	Tala N'Ait Hamou	607+200	378+440	450	4/11/1947	/	580,256.77	4,062,015.13
82	Camp du Maréchal	Tala Gué El Taine dite Tiaouinine	607+050	379+440	711	4/11/1947	6	580,109.70	4,063,015.57
83	Camp du Maréchal	Captage de Irllemenat (aubrarés)	606+900	380+725	448	6/11/1947	7.5	579,963.46	4,064,301.02
84	Camp du Maréchal	Tala N'safsaf	606+475	380+475	460	6/11/1947	15	579,537.76	4,064,052.26
85	Camp du Maréchal	Acif Oubraras	606+500	380+600	450	6/11/1947	16	579,563.12	4,064,177.19
86	Camp du Maréchal	Tala Netakhrbine	606+250	378+890	772	1/11/1947	1	579,308.15	4,062,467.91
87	Camp du Maréchal	Tala Bouada	606+625	378+710	648	1/11/1947	1.2	579,682.60	4,062,286.81
88	Camp du Maréchal	Tala Afia	606+750	378+950	713	1/11/1947	4	579,808.29	4,062,526.45

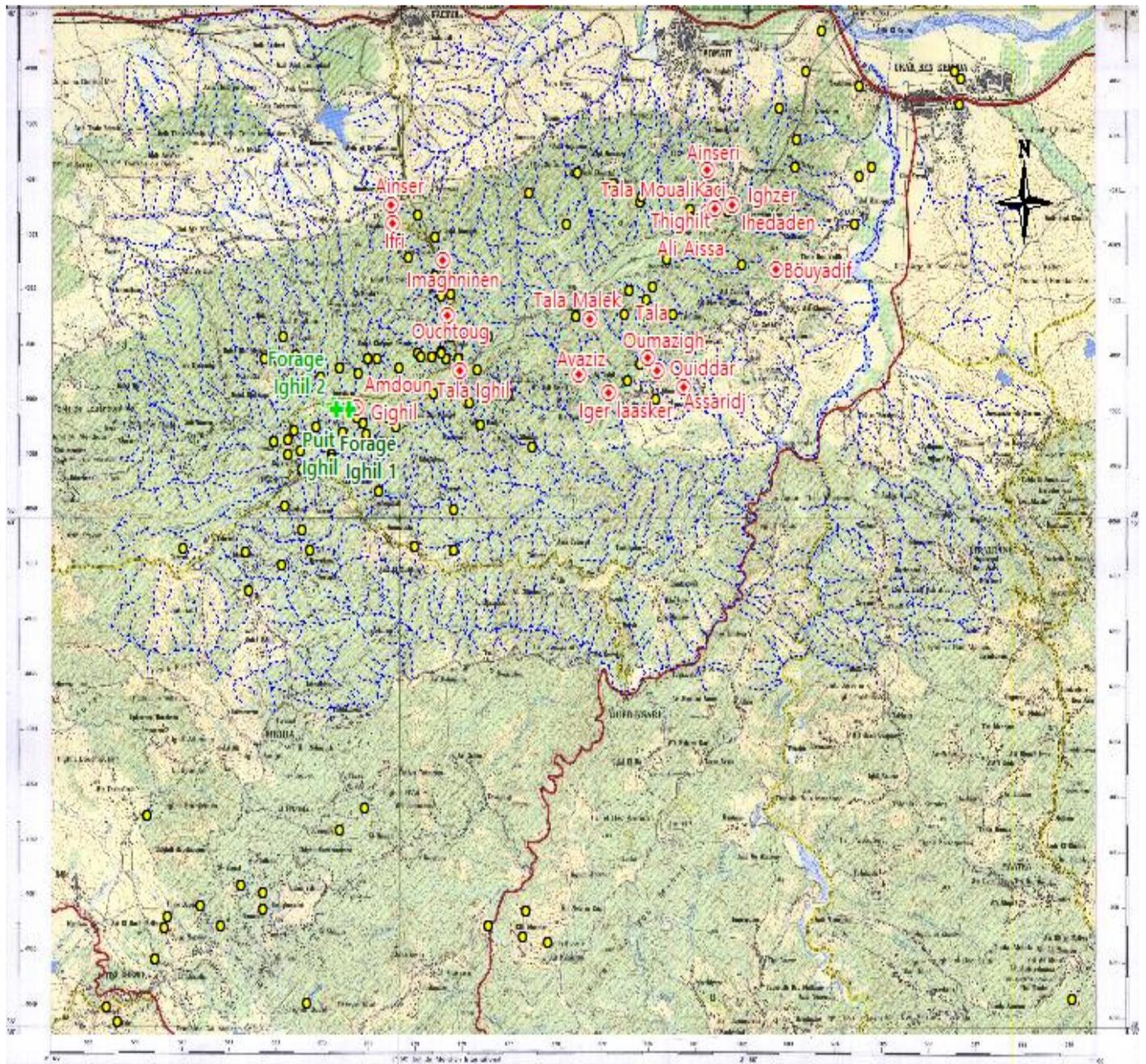
Annexe 5 - Listes des sources d'archive (Direction des Ressources en Eaux de Tizi Ouzou).

89	Camp du Maréchal	Tala Zahnoun	606+150	378+450	698	1/11/1947	20	579 206.87	4 062 028.20
90	Camp du Maréchal	Source N'toulmout	610 + 000	382 + 900	150	5/3/1946	/	583 069.91	4066467.09
91	Camp du Maréchal	Source sans nom	609 + 900	384 + 045	125	4/16/1943	/	582 517.98	4065793.69
92	Camp du Maréchal	Source sans nom	610 + 000	382 + 900	460	4/16/1943	23	581 288.39	4064197.25
93	Camp du Maréchal	Tala Bou Medoun	609 + 450	382 + 225	510	4/16/1943	3	581 412.58	4063921.88
94	Camp du Maréchal	Tala Tichtiouin	608 + 225	380 + 625	230	4/20/1943	3	582 891.28	4065217.59
95	Haussonviller	Tala Iril	602+600	377+600	840	4/11/1947	24	575 654.62	4,061,188.60
96	Haussonviller	Tala Imeghnin	602+225	378+725	640	4/11/1947	/	575 282.94	4 062 314.70
97	Haussonviller	Tala Takdimte	602+425	378+755	600	4/11/1947	0.5	575 483.01	4 062 344.11
98	Haussonviller	Tala Imerabténe	602+100	379+100	580	4/11/1947	/	575 159.05	4 062 690.06
99	Haussonviller	Tala laïchéne	602+075	379+800	505	4/11/1947	/	575 136.10	4 063 390.13
100	Haussonviller	Tala Tadderth	601+510	379+400	428	4/11/1947	/	574 569.97	4 062 991.79
101	Haussonviller	Taouinte	601+300	379+750	350	4/11/1947	/	574 361.01	4 063 342.41
102	Haussonviller	Tala Tegunathine	601+700	380+200	390	4/11/1947	/	574 762.30	4 063 791.23
103	Haussonviller	Source Agouni Choukren	602+350	377+575	801	6/11/1947	4	575 404.56	4 061 164.33
104	Haussonviller	Source Agouni Choukren n°2	602+250	377+700	777	6/11/1947	6	575 304.93	4 061 289.62
105	Haussonviller	Tala Ifournane	602+050	377+600	806	6/11/1947	20	575 104.65	4 061 190.21
106	Haussonviller	Captage de Tala Guiril n°1.5.6.7	602+450	377+990	760	6/11/1947	7.1	575 505.77	4 061 579.04
107	Haussonviller	Tala Boulma	603+250	378+000	750	10/11/1947	12	576 305.74	4 061 586.69
108	Haussonviller	El Anasseur n°1	601+750	377+675	790	10/11/1947	8.5	574 804.90	4 061 266.09
109	Haussonviller	El Anasseur n°2.3	601+800	377+600	780	10/11/1947	30	574 854.67	4 061 190.94
110	Haussonviller	Talmats N'Dahdi	601+325	377+400	750	10/11/1947	5.5	574 379.12	4 060 992.34
111	Haussonviller	Izoundjar	600+850	377+075	720	10/11/1947	27	573 904.59	4 061 143.73
112	Haussonviller	Tala Omar	600+650	377+550	650	10/11/1947	3	573 704.61	4 061 144.32
113	Haussonviller	Suintements	600+450	377+275	720	10/11/1947	15	573 503.81	4 060 869.91
114	Haussonviller	Tala Hebira	600+050	377+375	550	10/11/1947	5	573 104.14	4 060 971.08
115	Haussonviller	Tigratine	602+075	376+950	760	3/11/1947	9.3	575 127.75	4 060 540.14
116	Haussonviller	Tala El Djamâa	603+000	377+400	810	2/11/1947	8.5	576 054.00	4 060 987.42
117	Haussonviller	Tala Issahnane	604+200	376+000	485	2/11/1947	2	577 249.82	4 059 583.90
118	Haussonviller	Tala Messoukhéne	603+100	376+375	570	2/11/1947	8.5	576 150.99	4 059 962.13
119	Haussonviller	Tala El Madjel	602+700	376+950	680	2/11/1947	40	576 752.63	4 060 535.37
120	Haussonviller	El Ainseur	602+850	376+800	818	3/11/1947	32	575 902.25	4 060 387.86
121	Mirabeau	Ain Sliti	613 + 200	382 + 950	54	4/10/1943	1.25	586 269.86	4 066 507.79
122	Mirabeau	Ain El Abid	613 + 350	382 + 800	50	4/10/1943	3	586 419.42	4 066 357.35
123	Mirabeau	Aine Sidi El Haoussine	613 + 325	382 + 350	65	4/10/1943	40	586 393.12	4 065 907.42
124	Mirabeau	2 ^{ème} Source Villa	610 + 350	383 + 650	75	4/11/1943 5/3/1946	10 21.6	583 422.07	4 067 216.08
125	Mirabeau	Source Boulal	609 + 800	381 + 175	205	4/13/1943	1	582 864.9	4 064 742.66
126	Mirabeau	Tala Amdoun	609 + 120	380 + 600	370	4/13/1943	1.25	582 183.26	4 064 169.64
127	Mirabeau	Aine faci	611 + 175	381 + 025	73	4/13/1943 5/3/1946	8 2.7	584 239.38	4 064 588.65
128	Mirabeau	Source des Pères Blancs	611 + 150	382 + 650	30	4/14/1943 5/3/1946	5.25 6	584 219.11	4 066 213.75
129	Mirabeau	Bouyadif	608 + 675	379 + 375	350	4/19/1943 5/3/1946 6/28/1960	160 109 120	581 734.72	4 062 945.92
130	Mirabeau	Aine Tamzit	611 + 100	380 + 150	80	4/19/1943	1.5	584 161.84	4 063 713.86

Annexe 6 – Carte topographique de Bordj Mnaïel Est , dressée et publiée par l’Institut National de la Cartographie, levée par restitution de la prise de vue en 1985, complétée sur le terrain en 1987.



Annexe7 - Implantation des points d'eau étudiés dans la région de SAB, et ceux trouvés dans les archives de la direction des ressources en eaux de Tizi Ouzou sur la carte topographique Bordj Mnaïel Est.



LÉGENDE :

..... Réseau hydrographique



Sources étudiées

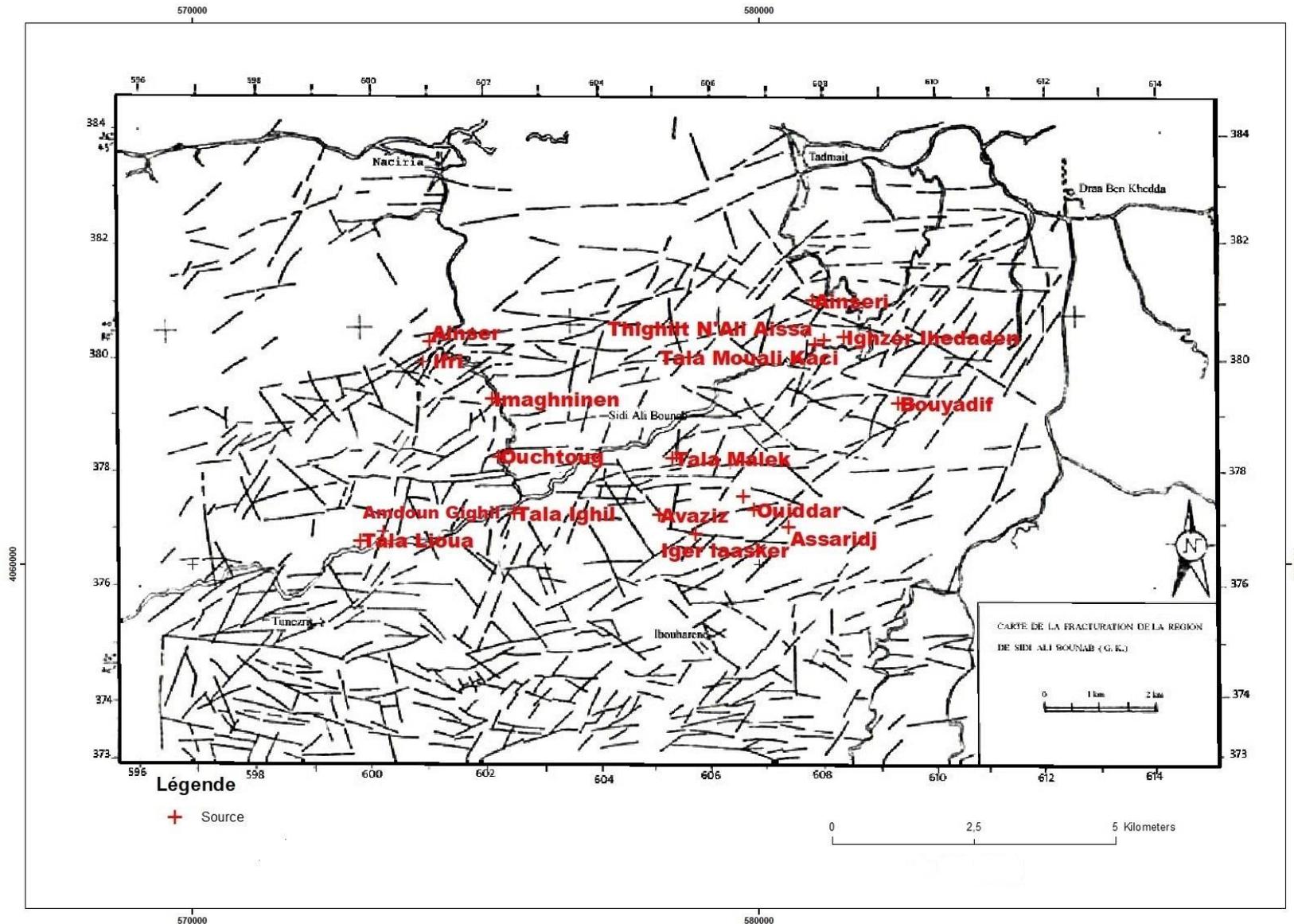


Forage, puits



Sources d'archive
(Direction des ressources
en eaux de Tizi Ouzou)

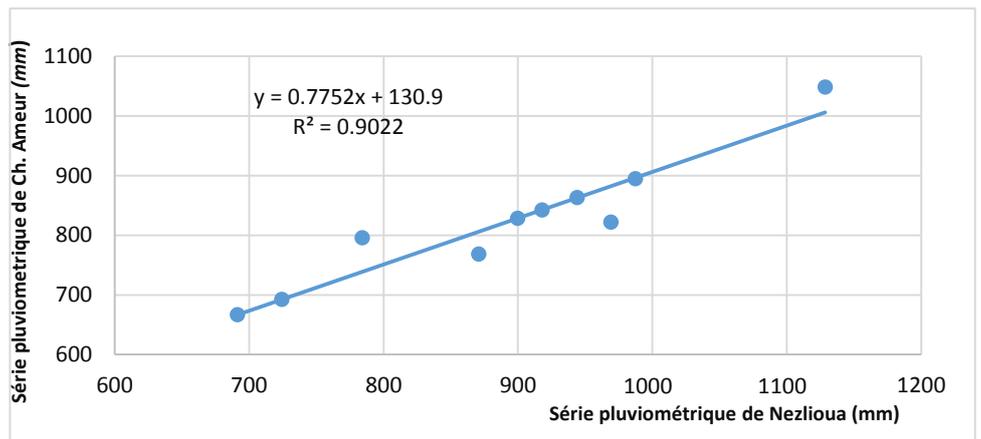
Annexe 8 - Sources implantées sur la carte de fracturation de la région de SAB (A. Bettahar 1990).



Annexe 9 - Coordonnées géographiques en UTM WGS 84 des sources, forages et puits.

Num°	Nom	X	Y	Z(m)
1	Bouyadif	582 469.21	4 062 822.41	230
2	Tala Oumazigh	579 730.13	4 061 193.98	313
3	Ouidder	579 930.96	4 060 949.31	319
4	Tala Malek	578 483.15	4 061 860.43	624
5	Avaziz	578 244.02	4 060 872.10	416
6	Iger Laasker	578 892.37	4 060 539.07	370
7	Assaridj	580 529.44	4 060 646.75	368
8	Ainseri	580 963.36	4 064 626.25	348
9	Tala Mouali Kaci	581 168.53	4 063 919.40	544
10	Ighzer Ihdaden	581 515.25	4 063 984.33	503
11	Thighilt N'Ali Aissa	580 995.46	4 063 856.12	609
12	Ainser	574 197.08	4 063 917.75	272
13	Ifri	573 976.48	4 063 607.67	254
14	Ouchtoug	575 405.74	4 061 894.41	725
15	Tala Lioua	572 986.39	4 060 425.08	815
16	Imagninen	575 297.55	4 062 910.41	708
17	Amdoun Gighil	573 481.94	4 060 521.77	791
18	Tala Ighil	575 687.76	4 060 897.36	836
19	Forage Ighil 1	573 308 .75	4 060 458.65	812
20	Forage Ighil 2	572 985.34	4 060 548.34	800
21	Puits Ighil	573 035.76	4 060 456.32	801

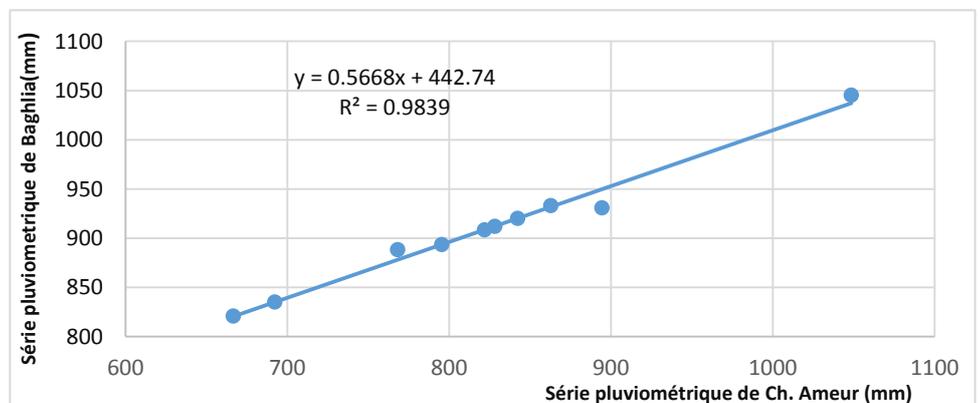
Nezlioua	Chabet El Aneur
944	862.9
870.7	768.2
987.4	894.6
1128.6	1048.5
969.2	821.9
784.1	795.4
917.9	842.4*
724.3	692.3*
691.2	666.7*
899.7	828.3*



Annexe 10a - Comblement des lacunes de la station Chabet El Aneur par les données de la station Nezlioua.

Annexe 10b - Graphe déterminant la droite de régression de comblement des lacunes de la station Chabet El Aneur.

Chabet El Aneur	Baghlia
862.9	933.2
768.2	888.4
894.6	930.7
1048.5	1045.4
821.9	908.4*
795.4	893.4*
842.4*	920.0*
692.3*	835.1*
666.7*	820.7*
828.3*	912.0*



Annexe 11a - Comblement des lacunes de la station Baghlia par les données de la station Chabet El Aneur.

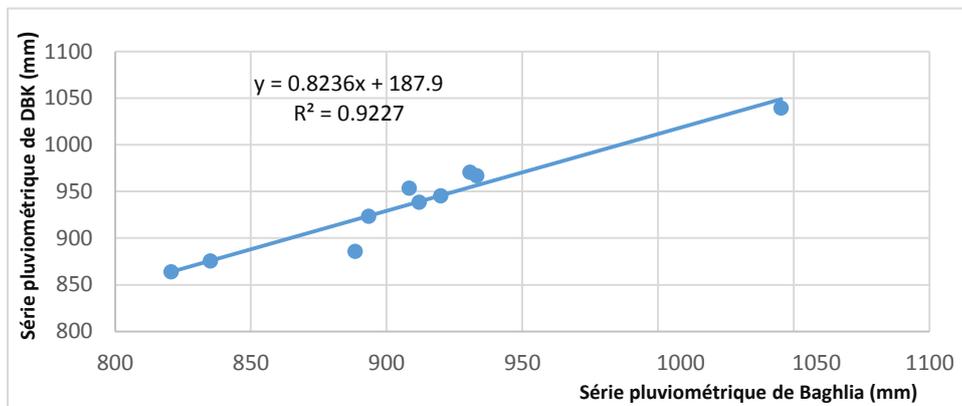
Annexe 11b - Graphe déterminant la droite de régression de comblement des lacunes de la station Baghlia.

Baghlia	Draa Ben Khedda
933.2	966.9
888.4	885.8
930.7	970.8
1045.4	1039.3
908.4*	953.5
893.4*	923.4*
920.0*	945.2*
835.1*	875.6*
820.7*	863.8*
912.0*	938.6*

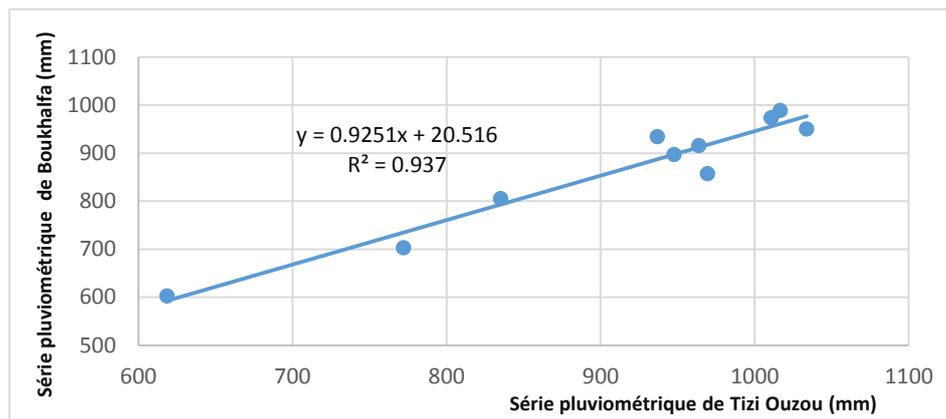
Annexe 12a - Comblement des lacunes de la station Draa Ben Khedda par les données de la station Baghlia.

Tizi Ouzou	Boukhalfa
1010.8	973.4
963.8	916.1
1016.6	988.7
1033.9	950.1
936.8	934.4
835.2	805.4
969.4	857.3
772.1	703
618.7	602.5
947.8	897.3*

Annexe 13a - Comblement des lacunes de la station Baghlia par les données de la station Tizi Ouzou.



Annexe 12b - Graphe déterminant la droite de régression de comblement des lacunes de la station Draa Ben Khedda.



Annexe 13b - Graphe déterminant la droite de régression de comblement des lacunes de la station Boukhalfa.

Annexe 14 - Résultats des analyses chimiques en ml (tombées de burette) et en mg/l.

N°	Nom de source	TAC (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	TH initial (ml)	TH initial (mg/l)	TH initial (°F)	THCa ² (ml)	THCa ² (mg/l)	THMg ² (ml)	THMg ² (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	Fe ² (mg/l)	No ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Al ³ (mg/l)
1	T. M .Kaci	81	98.82	3.7	148	14.8	2.15	34.4	1.55	15.25	145.91	0.62	0.08	40	0
2	Bouyadif	299	364.78	10.9	434	43.4	8.3	132.8	2.55	25.09	130.03	0.03	2.8	63	0
3	Avaziz	148	180.56	4.3	172	17.2	3	48	1.3	12.79	86.36	0.04	0.07	49	0
4	Tala Malek	169	206.18	6.45	234	23.4	6.1	195.2	0.35	3.44	123.08	0.02	0.07	65	0.001
5	Assaridj	398	485.56	12.5	500	50	8.05	128.8	4.45	43.79	203.48	0.09	0.04	82	0
6	Ouchtoug	114	139.08	4.35	174	17.4	4.15	66.4	0.2	1.97	57.57	0.04	4.43	10	0
7	Ifri	212	258.64	6.15	246	24.6	6	96	0.15	1.48	101.25	0	0.06	77	0.002
8	Ainser	120	146.4	4.65	186	18.6	2.4	38.4	2.25	22.14	181.65	0.03	0.76	52	0.005
9	F. Ighil 1	78	95	/	86	8.6	/	27	/	4	28	/	5.53	2	/

Annexe 15 - Résultats en méq/l.

	Tala Mouali Kaci		Bouyadif		Avaziz		Tala Malek		Assaridj		Ouchtoug		Ifri		Ainser		Forage Ighil 1	
	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l
Ca ²⁺	34.4	1.72	132.8	6.63	48	2.39	97.6	4.87	128.8	6.43	66.4	3.31	96	4.79	38.4	1.91	27	1.35
Mg ²⁺	15.25	1.25	25.09	2.06	12.79	1.05	3.44	0.28	43.79	3.6	1.97	0.16	1.48	0.12	22.14	1.82	4	0.33
Na ⁺	70	3.04	70	3.04	70	3.04	60	2,61	140	6,09	20	0.87	70	3.04	100	4.35	20	0.87
K ⁺	4	0.1	12	0.31	4	0.1	3	0.08	5	0.13	1	0.02	5	0.16	4	0.1	2	0.05
SO ₄ ²⁻	40	83	63	1.31	49	1.02	65	1.35	82	1.71	10	0.21	77	1.6	52	1.08	2	0.04
Cl ⁻	145.91	4.16	130	3.67	86.36	2.43	123	3.47	203.5	5.74	57.57	1.62	101.3	2.85	181.7	5.12	28	0.79
HCO ₃ ²⁻	98.82	1.62	364.8	5.98	180.6	2.96	206	3.38	485.6	7.96	139.1	2.28	258.6	4.24	146.4	2.39	95	1.56
NO ₃ ⁻	8	0.001	2.8	0.05	0.07	0.001	0.07	3.38	0L.04	0.0006	4.43	0.07	0.06	0.001	0.76	0.01	5.53	0.09
Somme des cations	6.11		12.04		6.58		7.84		16.25		4.36		8.08		8.18		2.6	
Somme des anions	6.56		11.01		6.41		8.2		15.4		4.18		8.69		8.6		2.48	
Balance ionique (%)	3.55		4.51		1.37		2.28		2.66		2.2		3.66		2.55		2.36	

Annexe 16 - Méthode de conversion en méq/l.

Masses équivalentes et facteurs de conversion méq/L ↔ mg/L des principaux ions		
CATIONS	méq	méq/L = mg/L ×
Al ³⁺	8,99	0,1110
Ba ²⁺	68,7	0,0146
Ca ²⁺	20,0	0,0499
Cu ²⁺	17,3	0,0577
Cu ²⁺	31,8	0,0315
Fe ²⁺	27,9	0,0358
Fe ³⁺	18,6	0,0537
H ⁺	1,008	0,9920
K ⁺	39,1	0,0256
Mg ²⁺	12,16	0,0823
Mn ²⁺	27,5	0,0364
Na ⁺	23,0	0,0435
NH ₄ ⁺	18,0	0,0554
Pb ²⁺	103,6	0,0096
Zn ²⁺	32,7	0,0306
ANIONS	méq	méq/L = mg/L ×
Br ⁻	79,90	0,0125
Cl ⁻	35,45	0,0282
CO ₃ ²⁻	30	0,0333
CrO ₄ ²⁻	58	0,0172
F ⁻	19	0,0526
HCO ₃ ⁻	61	0,0164
HSO ₄ ⁻	97,10	0,0103
I ⁻	126,9	0,0078
NO ₂ ⁻	46	0,0217
NO ₃ ⁻	62	0,0161
OH ⁻	17	0,0588
PO ₄ ³⁻	31,70	0,0316
S ²⁻	16	0,0624
SiO ₃ ²⁻	38	0,0263
SO ₄ ²⁻	48	0,0208

cations /Anions	Masse molaire	Charge
Ca ⁺²	40.08	2
Mg ⁺²	24.31	2
Na ⁺	22.99	1
K ⁺	39.102	1
SO ₄ ²⁻	96.056	2
Cl ⁻	35.453	1
HCO ₃ ⁻	61.015	1
No ₃ ⁻	62.004	1

Annexe 17 - Conversion de la conductivité à 25°.

Nom	T°C eau	Cond (µs/cm)	f25	Cond à 25°
Bouyadif	22	1 090	1.067	1 163.03
Ouidder	17.4	1 262	1.185	1 495.47
Tala Malek	21.5	768	1.079	828.672
Avaziz	15. 5	615	1.24	762.6
Iger Laasker	20.5	864	1.103	952.992
Assaridj	20.6	1 447	1.101	1 593.147
Ainseri	17.3	797	1.188	946.836
Tala Mouali Kaci	18	613	1.168	715.984
Ighzer Ihedaden	15.3	613	1.246	763.798
Ainser	13.7	739	1.297	958.483
Ifri	17	839	1.196	1 003.444
Ouchtoug	12.5	435	1.337	581.595
Imaghninen	13.1	298	1.317	392.466
Tala Lioua	10.2	295	1.420	418.9
Amdoun Gighil	12.5	196.3	1.337	262.4531
Tala Ighil	12.9	204	1.323	269.892
Forage Ighil 01	14.9	258	1.259	324.822
Puits Ighil	12.5	506	1.337	676.522
Forage Ighil 02	14	345	1.287	444.015

❖ Analyses au laboratoire :

1. Méthode titrimétrique et colorimétrique :

La titrimétrie comprend l'ensemble des méthodes analytiques basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par une solution de concentration connue, en présence d'un indicateur coloré (Rodier, 1984).

1.a. Titre alcalimétrique simple (TA) et complet (TAC) :

Les valeurs relatives du TA et du TAC permettent de connaître les teneurs en hydroxydes, carbonates ou hydrogéné-carbonates alcalins ou alcalino-terreux contenus dans l'eau.

Le TA permet donc de déterminer globalement la teneur en hydroxydes et seulement la moitié de la teneur en carbonates.

Quant au TAC, il indique la teneur en hydrogéné-carbonates. (MEMENTO TECHNIQUE DE L'EAU, 1989)

Mode opératoire :

La valeur de TA est nulle lorsque le $\text{pH} < 8.20$.

Pour le TAC, ajouter deux gouttes de solution de méthyl-orange aux échantillons et titrer avec un acide (H_2SO_4 dilué 1/50) jusqu'au virage du jaune au jaune orangé à $\text{pH} = 4.3$.

“Soit V le nombre de millilitre d'acide N/50 versé depuis le début du dosage”.

Expression des résultats :

$$\text{TAC} [\text{mg/l}] = \text{Volume titré} \times 10$$

▪ CO_3^{2-} :

La valeur du CO_3^{2-} est déduite de l'expression suivante :

$$\text{CO}_3 [\text{mg/l}] = \text{TA} \times 0.6$$

Dans le cas de notre analyse le TA est nul donc le CO_3 sera automatiquement nul aussi.

▪ HCO_3^-

La valeur de HCO_3^- est déduite de l'expression suivante :

$$\text{HCO}_3 [\text{mg/l}] = \text{TAC} \times 1.22$$

1.b. Titre Hydrotimétrique (TH) :

Il exprime globalement la concentration en sels dissous de calcium et de magnésium. Il est déterminé par complexométrie de ces derniers avec une solution aqueuse d'EDTA à $\text{pH} = 10$.

Mode opératoire :

- Méthode titrimétrique et colorimétrique.
- 5ml de l'échantillon.
- Réactifs : 4 ml de la solution tampon
- Indicateur coloré : 3 gouttes de l'indicateur au mordant noir 11.
- La solution : EDTA.
- Virage de la couleur : violet au bleu.



Expression du résultat :

$$TH[mg/l] = \frac{\text{Volume titré}[ml]}{2} \times 4 \times 10$$

$$1[^\circ F] = 10[mg/l] \text{ de } CaCO_3$$

Volume titré est divisé sur deux parce que la solution utilisé est dilué à 1.25 au lieu de 2.5.

▪ **TH calcique :**

Le principe est identique à celui de la méthode titrimétrie décrite pour la dureté totale une solution aqueuse de l'EDTA à un pH compris entre 12 et 13, l'indicateur utilisé est le murexide, qui forme un complexe rose avec le calcium.

- Virage de la couleur : rose au le violet.



Expression du résultat :

$$THCa^{2+}[mg/l] = \frac{\text{Volume titré}[ml]}{2} \times 4 \times 4$$

Le volume titré est divisé sur deux parce que la solution utilisé est dilué à 1.25 au lieu de 2.5.

▪ **TH magnésien :**

La valeur de volume titré de Mg^{++} est déduite en utilisant l'expression suivante :

$$THMg^{2+}[ml] = TH_{initial}[ml] - THCa^{2+}$$

Le résultat de l'expression précédente est remplacé dans l'expression suivante :

$$THMg^{2+}[mg/l] = \frac{\text{Volume titré}[ml]}{2} \times 4 \times 2.46$$

▪ **TH Chloruré :**

Mode opératoire :

- ❖ Dosage de l'échantillon
 - Méthode trimitrique et colorimétrique.
 - 100ml de l'échantillon.
 - Réactif : Nitrate d'argent ($Ag NO_3$)
 - Indicateur coloré : Chromate de potassium ($K_2 Cr O_4$).
 - Virage de couleur : jaune au brun rougeâtre.



- ❖ Essai à blanc :

Le principe est identique au dosage de l'échantillon en utilisant 100 ml d'eau distillée à la place de l'échantillon.

Expression du résultat :

$$THCl^{-}[mg/l] = (\text{Volume titré}[ml] - \text{Volume}_{blanc}[ml]) \times (35450 \times 0.028)/100$$

2. Méthode spectrophotométrie :

La spectrophotométrie est parmi les nombreuses méthodes instrumentales utilisées pour déterminer la concentration d'une espèce chimique en solution et qui est basée sur la mesure de l'intensité d'absorption ou d'émission d'un rayonnement par l'espèce à doser. Les plus utilisées sont l'Ultra-Violet, la lumière visible et l'Infra Rouge (Rodier, 1984).

▪ Sulfate (SO_4^{2-}) :

Mode opératoire :

- Prendre 10 ml de chaque échantillon dans des cellules.
- Ajouté une pochette de réactif de sulfaVer 4 et attendre 5 minutes temps de contact.
- Le blanc c'est l'échantillon lui-même sans réactif.
- Pour effectuer la lecture il suffit de sélectionner le programme correspond au paramètre sulfate sur le spectrophotomètre.

▪ Nitrate (NO_3^-) :

Mode opératoire :

- Prendre 15 ml de chaque échantillon dans des cellules.
- Ajouté une pochette de réactif de NitraVer6 dans l'éprouvette et attendre une période de réaction de 3 minutes avec agitation puis ré-attendre encore 2 minutes.
- Transférer 10 ml de l'échantillon préparer et lui rajouter une pochette de réactif NiriVer3 et attendre 30 secondes avec agitation, une coloration rose apparaîtra en présence de nitrate, ré-attendre 15 minutes pour la réaction.
- Le blanc c'est l'échantillon lui-même sans réactif.
- Pour effectuer la lecture il suffit de sélectionner le programme correspond au paramètre Nitrate sur le spectrophotomètre.



▪ Fer (Fe^{2+}) :

Mode opératoire :

- Prendre 10 ml de chaque échantillon dans des cellules.
- Ajouté une pochette de réactif de FerroVer dans l'éprouvette et l'agiter, une coloration orange apparaîtra en présence de fer.
- Attendre une période de réaction de 3 minutes avec agitation.
- Le blanc c'est l'échantillon lui-même sans réactif.
- Pour effectuer la lecture il suffit de sélectionner le programme correspond au paramètre Fer sur le spectrophotomètre.

▪ Aluminium (Al^{3+}) :

Mode opératoire :

- Acidifié les échantillons (avoir un pH entre 2.5 et 3.5).
- Ajouter 2 ml de réactif A (Eau + Ammonium acétate + Méthanol + Sodium acétate).
- Ajouter une pincée de réactif B (Acide ascorbique + Sodium thiosulfate).
- La période de réaction 25 minutes.
- Pour effectuer la lecture il suffit de sélectionner le programme correspond au paramètre de l'aluminium sur le spectrophotomètre.

3. Méthode spectrophotométrie d'émission à flamme :

La pulvérisation d'une solution d'eau contenant des métaux dans une flamme se caractérise par une décomposition et une dissociation à l'état atomique des traces métalliques. Les atomes des métaux sont ainsi excités thermiquement par la flamme, et leur retour à l'état fondamentale s'accompagne de m'émission d'une radiation dans la longueur d'onde est spécifique de l'élément recherché et dont l'intensité est directement proportionnelle à la concentration. Cette technique est appropriée pour le dosage direct des éléments alcalins : Na, K, Li. (MEMENTO TECHNIQUE DE L'EAU, édition de cinquantenaire 1989, Neuvième Edition, Tome 1).

▪ Sodium Na⁺ :

Mode opératoire :

- Stabiliser l'appareil avec l'eau distillée (Blanc).
- Faire passer la solution 10 mg/l de Na⁺ pour l'étalonnage et sa doit afficher « 10 ».
- Faire passer ensuite l'échantillon sans dilution.
- Si la concentration en sodium dépasse 10 mg/l, procéder à la dilution de l'échantillon.
- Les concentrations correspondent aux extinctions × facteur de dilution.

▪ Potassium K⁺ :

Mode opératoire :

- Stabiliser l'appareil avec l'eau distillée (Blanc).
- Faire passer la solution 10 mg/l de K⁺ pour l'étalonnage et sa doit afficher « 10 ».
- Faire passer ensuite l'échantillon sans dilution.
- Si la concentration en potassium dépasse 10 mg/l, procéder à la dilution de l'échantillon.
- Les concentrations correspondent aux extinctions × facteur de dilution.

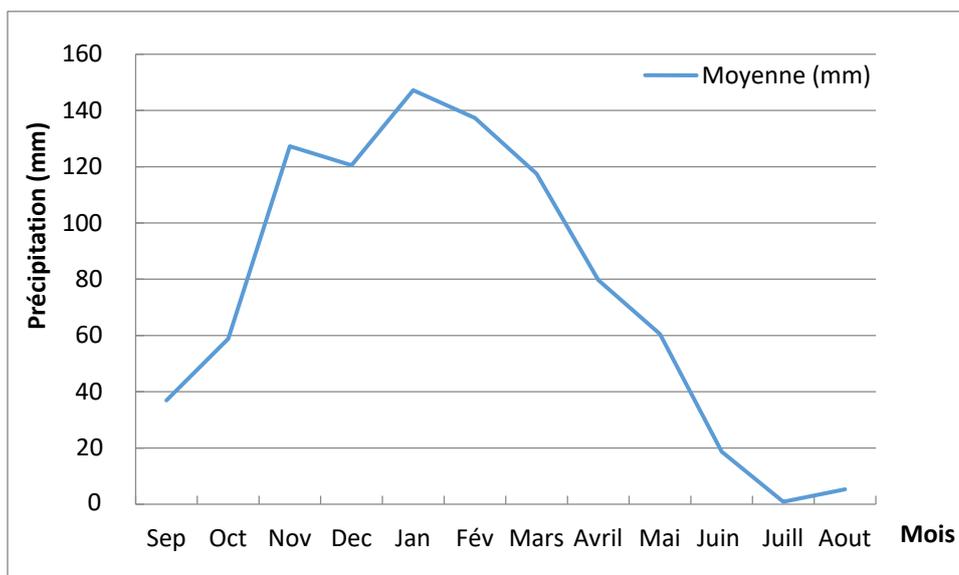
7 Journalada El Oula 1435 9 mars 2014		JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 13		15	
ANNEXE					
Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine					
Tableau 1 : paramètres avec valeurs limites					
GRUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES		
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/l	0,2		
	Ammonium	mg/l	0,5		
	Baryum	mg/l	0,7		
	Bore	mg/l	- Eaux conventionnelles : 1 - Eaux désalées ou déminéralisées : 1,3		
	Fluorures	mg/l	1,5		
	Nitrates	mg/l	50		
	Nitrites	mg/l	0,2		
	Oxydabilité	mg/l O2	5		
	Acrylamide	µg/l	0,5		
	Antimoine	µg/l	20		
	Argent	µg/l	100		
	Arsenic	µg/l	10		
	Cadmium	µg/l	3		
	Chrome total	µg/l	50		
Cuivre	mg/l	2			
Cyanures	µg/l	70			
Mercurie	µg/l	6			
Nickel	µg/l	70			
Plomb	µg/l	10			
Sélénium	µg/l	10			
Zinc	mg/l	5			
	Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A.) totaux	µg/l	0,2		
	Fluoranthène, benzo (3,4) fluoranthène, benzo (1,1,2) fluoranthène, benzo (3,4) pyrène, benzo (1,12) perylene, indéno (1,2,3-cd) pyrène, benzo (3,4) pyrène	µg/l	0,01		
	Benzène	µg/l	10		
	Toluène	µg/l	700		
	Ethylbenzène	µg/l	300		

7 Journalada El Oula 1435 9 mars 2014		JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 13		16	
ANNEXE (suite)					
GRUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES		
Paramètres chimiques (suite)	Xylènes	µg/l	500		
	Styrène	µg/l	100		
	Agents de surface régissant au bleu de méthylène	mg/l	0,2		
	Epychlorhydrine	µg/l	0,4		
	Microcistine LR	µg/l	1		
	Pesticides par substance individualisée				
	- Insecticides organochlorés persistants	µg/l	0,1		
	- Insecticides organophosphorés et carbamates	µg/l	0,1		
	- Herbicides	µg/l	0,1		
	- Fongicides	µg/l	0,1		
	- P.C.B	µg/l	0,1		
	- P.C.T	µg/l	0,1		
	- Aldrine	µg/l	0,03		
	- Dieldrine	µg/l	0,03		
- Heptachlore	µg/l	0,03			
- Heptachlorepoxyde	µg/l	0,03			
Pesticides (Totaux)	µg/l	0,5			
Bromates	µg/l	10			
Chlorite	µg/l	0,07			
Trihalométhanes par substance individualisée :					
- Chloroforme	µg/l	200			
- Bromoforme	µg/l	100			
- Dibromochlorométhane	µg/l	100			
- Bromodichlorométhane	µg/l	60			
Chlorure de vinyle	µg/l	0,3			
1,2-Dichloroéthane	µg/l	30			
1,2-Dichlorobenzène	µg/l	1000			
1,4-Dichlorobenzène	µg/l	300			
Trichloroéthylène	µg/l	20			
Tetrachloroéthylène	µg/l	40			
Particules alpha	Picocurie/L	15			
Particules bêta	Millirems/an	4			
Tritium	Bequerel/l	100			
Uranium	µg/l	30			
Dose totale indicative (DTI)	mSv/an	0,15			
Escherichia Coli	n/100ml	0			
Entérocoques	n/100ml	0			
Bactéries sulfite-réductrices y compris les spores	n/20ml	0			
Radionucléides					
paramètres microbiologiques					

Tableau 2
Paramètres avec valeurs indicatives

GRUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS INDICATIVES
Paramètres Organoleptiques	couleur	mg/l platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 25 °C	Taux dilution	4
	Saveur à 25 °C	Taux dilution	4
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Alcalinité	mg/l CaCO ₃	65 pour les eaux désalées ou déminéralisées (valeur minimale)
	Calcium	mg/l	200
	Chlorure	mg/l	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité à 20 °C	µS/cm	2800
	Dureté (TH)	mg/l en CaCO ₃	500
	Fer total	mg/l	0,3
	Manganèse	µg/l	50
	Phosphore	mg/l	5
	Potassium	mg/l	12
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
	Température	°C	25

Annexe 20- Variations mensuelles des précipitations (mm) pour la station de Tizi Ouzou sur la période (2008-2018).



Résumé :

Le massif de Sidi Ali Bounab est situé entre les wilayas de Tizi-Ouzou et celle de Boumerdès.

Ses deux versants, nord et sud, déterminent une ligne de crête orientée N70, qui culmine à 859 m. La nature de ces formations géologiques se compose de roches métamorphiques (cipolin, schistes, micaschistes, gneiss), et magmatiques (granites). Leur âge est rapporté au Paléozoïque. Un contexte plus large montre des terrains grès-marneux du Miocène, qui repose en discordance sur ce socle. Le présent travail, premier en son genre, s'est intéressé aux potentialités aquifères qu'il recèle à la faveur de la fracturation et de l'altération superficielle du socle. L'approche adoptée consiste à inventorier, partiellement, les exutoires de ce grand réservoir, tant leur nombre est important. Nous avons visité 18 sources pérennes, 02 forages et 01 puits, au niveau des versants nord et sud. Nos différentes sorties sur le terrain ont permis de faire une description détaillée des sources, de dresser des cartes de situation, et de superposition avec celle de la fracturation. Des mesures in situ relatives aux paramètres physico-chimiques (T° , pH, conductivité,...) et des prélèvements d'échantillons d'eau en vue de leurs analyses ont été effectuées. Les résultats des éléments chimiques (Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , O_2 ; Fe^{2+} , Al^{3+} , NO_3^-) analysées aux laboratoires de la SEAAL et de l'ADE, relèvent que la qualité des eaux issue de l'aquifère du socle de SAB, est conforme aux normes de potabilité. Toutefois, la source Mouali Kaci s'est singularisée par une concentration en Fe^{2+} , au-delà des normes. Pour sa cohérence, cette étude a exploité les données climatiques fournies par l'ONM et l'ANRH de Tizi-Ouzou.

Ce travail, qui constitue une étape préliminaire en hydrogéologie au milieu fissuré, doit être étayé par d'autres contributions dont, nous espérons, seront confortées par des investigations de géophysique, de télédétection et de forage, pour une meilleure connaissance de l'aquifère de SAB.

Mots clés : Aquifère fissuré, gneiss, Kabylie, schiste, Sidi Ali Bounab, socle, source.

Abstract:

The Sidi Ali Bounab massif is located between the province of Tizi-Ouzou and that of Boumerdès.

Its two slopes, north and south, determine a ridge line oriented N70, which culminates at 859 m. The nature of these geological formations consists of metamorphic rocks (cipolin, shale, micaschists, gneiss), and magmatic rocks (granites). Their age is related to the Paleozoic. A wider context shows the sandstone-marl ground of the Miocene, which rests in discordance on this base. This work, the first of its kind, interested with the aquifer potentialities it conceals through fracturing and superficial alteration of these basement. The approach adopted is to inventory, in part, the outfalls of this large reservoir, since they are so numerous. We visited 18 perennial sources, 02 boreholes and 01 wells on the north and south slopes. Our various field trips made it possible to make a detailed description of the sources, to draw up maps of situation, and of superposition with that of fracturing. In situ measurements of physico-chemical parameters (T° , pH, conductivity, etc.) and water samples for their analyses were carried out. The results of the chemical elements (Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2+} , O_2 ; Fe^{2+} , Al^{3+} , NO_3^-) analysed at the SEAAL and ADE laboratories, show that the water quality from the aquifer of the SAB base, complies with the standards of potability. However, the Mouali Kaci source was singled out by a concentration of Fe^{2+} , beyond standards. For its consistency, this study used climate data provided by the ONM and the ANRH of Tizi-Ouzou.

This work, which is a preliminary step in cracked hydrogeology, must be supported by other contributions, which we hope will be supported by geophysical, remote sensing and drilling investigations, for a better understanding of the SAB aquifer.

Keywords: Cracked aquifer, gneiss, Kabylia, shale, Sidi Ali Bounab, basement, source.