

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET

DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE IBN KHALDOUN TIARET

FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES ET DES SCIENCES VETERINAIRES

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

**Etude physico chimique
des eaux de la région de Serguine**

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de :

Magister

En : Ecologie – Environnement

Par

Fatna SARRI

Date de soutenance :

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET

DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE IBN KHALDOUN TIARET

FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES ET DES SCIENCES VETERINAIRES

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

**Etude physico chimique
des eaux de la région de Serguine**

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de :

Magister

En : Ecologie – Environnement

Par

Fatna SARRI

Devant le jury composé de :

Président : Dr. Amar BOUAZZA maître de conférence université Ibn Khaldoun Tiaret

Directeur de thèse : Dr. Messaoud Chaïb maître de conférence université Ibn Khaldoun Tiaret

Examineur : Dr. Abdelkader DELLAL maître de conférence université Ibn Khaldoun Tiaret

Examineur : Dr. Lahcène BELARBI chargé de cours université Sidi Belabbès

Examineur : Dr. Belkheïr KHATMI chargé de cours université Ibn Khaldoun Tiaret

Examineur : Dr. Ali AMARA chargé de cours université Ibn Khaldoun Tiaret

Examineur : Dr. Ahmed SASSI chargé de cours université Ibn Khaldoun Tiaret



Dédicaces

À mon mari, mes enfants et à toute ma famille.

"Quelle boisson veux-tu ? La plus précieuse lorsqu'on l'a perdue et la plus accessible lorsqu'elle existe"

"Ibn- Al faquih"

Résumé

Ce travail consiste à l'étude et l'actualisation des analyses physico chimiques de six forages situés dans la localité de Serguine, daïra de ksar chellala.

Les eaux de ces forages ont été analysées en 1970 par une mission Soviétique dans le cadre de l'étude de la mise en valeur du projet Oued Touil.

Ces forages sont destinés à l'irrigation d'un périmètre agricole à Serguine et à l'alimentation en eau potables de ksar chellala et Serguine.

Les analyses ont portés sur le dosage des ions (Bicarbonates, Sulfates, Chlorures, Calcium, Magnésium, Sodium et Potassium) et à déterminer certaines caractéristiques physiques (PH, conductivité et température).

Les résultats de ces analyses nous ont permis de constater que cette eau répond aux normes de potabilité et de l'irrigation, mais que sa dureté est assez élevée pour une éventuelle utilisation dans l'industrie. Pour cela nous préconisons un adoucissement de cette eau.

Mots clés : Eau – Physico Chimiques - Analyses – Ions – Souterrain – Aquifère - Dosage – Potabilité – Adoucissement.

ملخص

هذا العمل تطرّق إلى دراسة و تحيين التحليلات الفيزيائية و الكيميائية لستة آبار في منطقة السرقين دائرة قصر الشلالة.

أجريت التحاليل على مياها هذه الآبار في 1970 من طرف مؤسسة سوفيائية في إطار دراسة الإستصلاح لمشروع وادي الطويل.

هذه الآبار مخصّصة لسقي مساحة زراعية في بلدية السرقين و التزويد بالماء الشروب بقصر الشلالة و السرقين.

رُكّز التحليل على تقدير الشوارد (البيكاربونات، الكبريتات، الكلوريد، الكالسيوم، المغنيزيوم، الصوديوم و البوتاسيوم) و تحديد بعض الخواص الفيزيائية (دليل الهيدروجين، الناقلية الكهربائية النوعية و الحرارة).

نتائج هذه التحليلات مكنتنا من ملاحظة أنّ هذا الماء يتجاوب و معايير الشرب و السقي، و لكن عسر الماء مرتفع و لا يسمح هذا باستعماله في الصناعة. لهذا نقتراح عملية إزالة عسر المياه.

الكلمات الأساسية: ماء – فيزيائية كيميائية – تحاليل – شوارد – جوفية – طبقة مائية – معايرة – شربة – إزالة عسر المياه.

Abstract

This work consists with the study and actualization of the physicochemical analyses of six drillings located in the locality of Serguine, daïra of Ksar Chellala.

Water of these drillings was analyzed in 1970 by a Soviet mission with in the framework of the study of the development of the project Oued Touil.

These drillings are intended for the irrigation of an agricultural perimeter with Serguine and for the drinking water supply of Ksar Chellala and Serguine.

The analyses related to the proportioning of the ions (Bicarbonates, Sulphates, Chlorides, calcium, Magnesium, Sodium and Potassium) and to determine some physical characteristics (PH, conductivity and temperature).

The results of these analyses enabled us to note that this water meets the standards of potability and the irrigation, but that is hardness is enough high for a possible use in industry.

For that we recommended a softening of this water.

Keys words : Water – Physicochemical – Analyses – Ions – Underground –
Aquifer – Proportioning – Potability – Softening.

Avant propos

Vu l'importance de l'eau et sa rareté, qui ne cessent de croître autant pour l'être humain suite à son niveau de vie et à la croissance démographique, que pour le développement industriel. On est passé de l'emploi des eaux de sources et des nappes au recyclage des eaux et au dessalement de l'eau de mer. Simultanément, les causes de pollution se sont étendues.

La pollution est liée aux rejets industriels, aux eaux usées et à l'utilisation intensive des engrais et pesticides.

Une grande importance est donnée à la qualité de l'eau, en procédant à des analyses et contrôles fréquents, plus rigoureux et étendus de l'eau.

Pour cela et après consultation avec Docteur M. Chaïb directeur de thèse et directeur du laboratoire de recherche chimie et environnement de l'université Ibn Khaldoun de Tiaret et en commun accord, il a été jugé utile de d'actualiser les analyses physico chimiques de l'eau de la région de Serguine, eau destinée à l'irrigation du périmètre N° 5 à Serguine dans le cadre du projet Oued Touil et en même temps à l'alimentation en eau potables des localités de Ksar Chellala et Serguine.

Mes remerciements vont à mon directeur de thèse Docteur M. Chaïb maître de conférence pour m'avoir confié ce sujet, pour ses conseils, sa patience et son soutien qui ont largement contribué à l'aboutissement de ce travail.

Je remercie très vivement :

Mr A. Dilem doyen de la faculté des sciences Agro Vétérinaires de l'université Ibn Khaldoun de Tiaret pour sa contribution dans la partie statistique de ce travail.

Mr A. Dellal responsable de la post graduation écologie et environnement à la même faculté.

Messieurs A. Hadj Saïd, A. Choukri, A. Khaldi, A. Chaïb et A. Latigui mes enseignants pendant l'année théorique au département agronomie de l'université Ibn Khaldoun de Tiaret.

Je suis très heureuse de témoigner au Dr A. Dellal maître de conférence à l'université Ibn Khaldoun de Tiaret l'expression de ma profonde reconnaissance pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider le jury de cette thèse.

Mes remerciements vont au Dr B. Khatmi de l'université Ibn Khaldoun de Tiaret, qui a consenti à participer au jury de cette thèse.

Je suis très honorée de l'intérêt que le Dr L. Belarbi de l'université de Sidi Belabbès, a bien voulu porter à ce travail en acceptant d'en être un examinateur. Je l'en remercie vivement.

Ma gratitude s'adresse au Dr A. Amara chef de département hydraulique de la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur de l'université Ibn Khaldoun de Tiaret pour avoir bien voulu accepter de s'associer au jury de cette thèse.

Mes remerciements vont également au Dr A. Sassi de l'université Ibn Khaldoun de Tiaret, qui a consenti à participer au jury de cette thèse.

Mes remerciements à monsieur N. Hadj Zoubir recteur de l'université Ibn Khaldoun de Tiaret et monsieur S. Hadj Ziane vice recteur chargé de la post graduation à la même université pour leur compréhension.

Mes remerciements les plus chaleureux à Mlle T. Boumethred ingénieur chimiste au laboratoire chimie et environnement de l'université Ibn Khaldoun de Tiaret, pour la précieuse aide qu'elle m'a apportée.

Mes remerciements à Mr A. Khaldi maître assistant à l'université Ibn Khaldoun de Tiaret, pour ses conseils et encouragements.

J'adresse mes remerciements à Messieurs A. Amara et S. Badrane qui ont bien voulu mettre à ma disposition la documentation du projet Oued Touil et à leur aide précieuse.

Mes remerciements aux étudiants en post graduation chimie de l'environnement à l'université Ibn Khaldoun de Tiaret.

Mes remerciements à mes collègues enseignants et au personnel du département hydraulique Ksar Chellala.

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Pluviométrie de la region de Ksar Chellala (1990 / 1999)..... | 22 |
| Tableau 2 : Températures moyennes de la région de Ksar Chellala (1990 / 1999).... | 23 |
| Tableau 3 : Zone d'étude « périmètre N° 5 »..... | 36 |
| Tableau 4 : Classification chimique des eaux souterraines d'après S. Chtchoukarev.. | 39 |
| Tableau 5 : Principales différences entre eaux souterraines et eaux de surfaces..... | 40 |
| Tableau 6 : Tableau comparatif des normes de l'eau potable (CEE et OMS)..... | 42 |
| Tableau 7 : Substances chimiques toxiques dans l'eau (U.E et OMS)..... | 43 |
| Tableau 8 : Substances chimiques indésirables dans l'eau (U.E et OMS)..... | 43 |
| Tableau 9 : Tableau récapitulatif des analyses 1970 et 2002..... | 55 |
| Tableau 10 : Facteurs de conversion des milligrammes en milliéquivalents..... | 56 |
| Tableau 11 : Résultats des analyses 1970 et 2002 exprimés en milliéquivalents et en pour cent milliéquivalents..... | 57 |
| Tableau 12 : Résultats des analyses 1970 et 2002 exprimés en milliéquivalents et en pour cent milliéquivalents (suite)..... | 58 |
| Tableau 13 : Rapport d'adsorption du sodium SAR..... | 65 |
| Tableau 14 : Comparaison des sommes des cations et des anions selon les profondeurs des forages 1970 et 2002..... | 71 |
| Tableau 15 : Comparaison des sommes des cations et des anions selon les profondeurs des forages 1970 et 2002..... | 71 |
| Tableau 16 : Comparaison des sommes des cations et des anions selon les épaisseurs des nappes 1970 et 2002..... | 72 |
| Tableau 17 : Comparaison des sommes des cations et des anions selon les épaisseurs des nappes 1970 et 2002..... | 72 |
| Tableau 18 : Comparaison des sommes des cations et des anions 1970 et 2002..... | 73 |
| Tableau 19 : Extrait du t de la table de Student..... | 74 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Climagramme d'Emberger pour l'Algérie..... | 21 |
| Figure 2 : Situation géographique et administrative de Serguine..... | 25 |
| Figure 3 : Périmètre d'étude N° 5..... | 29 |
| Figure 4 : Implantation des 06 forages..... | 31 |
| Figure 5 : Carte géologique de Serguine..... | 32 |
| Figure 6 : Diagramme logarithmique de Schoeller analyses 1970..... | 60 |
| Figure 7 : Diagramme logarithmique de Schoeller analyses 2002..... | 61 |
| Figure 8 : Diagrammes triangulaires analyses 1970..... | 62 |
| Figure 9 : Diagrammes triangulaires analyses 2002..... | 63 |
| Figure10 : Adoucisseur..... | 68 |
| Figure 11 : Comparaison des débits 1970 et 2002..... | 76 |
| Figure 12: Comparaison des températures de l'eau 1970 et 2002..... | 76 |
| Figure 13 : Comparaison des PH 1970 et 2002..... | 77 |
| Figure 13 bis : Evolution des PH par forage..... | 77 |
| Figure 14 : Comparaison des concentrations Calcium 1970 et 2002..... | 78 |
| Figure 14 bis : Evolution des concentrations Calcium par forage..... | 78 |
| Figure 15 : Comparaison des concentrations Magnésium 1970 et 2002..... | 79 |
| Figure 15 bis : Evolution des concentrations Magnésium par forage..... | 79 |
| Figure 16 :Comparaison des concentrations Potassium et Sodium 1970 et 2002..... | 80 |
| Figure 16 bis :Evolution des concentrations Potassium et Sodium par forage..... | 80 |
| Figure 17 :Comparaison des concentrations Bicarbonates 1970 et 2002..... | 81 |
| Figure 17 bis : Evolution des concentrations Bicarbonates par forage..... | 81 |
| Figure 18 :Comparaison des concentrations Chlorures 1970 et 2002..... | 82 |
| Figure 18 bis : Evolution des concentrations Chlorures par forage..... | 82 |
| Figure 19 :Comparaison des concentrations Sulfates 1970 et 2002..... | 83 |
| Figure 19 bis : Evolution des concentrations Sulfates par forage..... | 83 |
| Figure 20 :Comparaison des sommes cations et anions 1970 et 2002..... | 84 |
| Figure 20 bis : Evolution des sommes cations et anions par forage..... | 84 |
| Figure 21 :Pluviométrie de Ksar Chellala sur 17 ans (1986 / 2002)..... | 85 |

Liste des annexes

- Annexe A : Résultats des ions toxiques.
- Annexe B : Photomètre à filtre.
- Annexe C : Coupe technique forage 42.
- Annexe D : Coupe technique forage 301.
- Annexe E : Coupe technique forage 302.
- Annexe F : Coupe technique forage 309.
- Annexe G : Coupe technique forage 310.

Liste des abréviations

| | |
|------------------|--|
| A.N.R.H : | Agence Nationale des Ressources Hydriques. |
| B.R.G.M : | Bureau des Recherches en Géologie Minières. |
| C.E.E : | Communauté Economique Européenne. |
| C.M.A : | Concentration Maximale Admissible. |
| D.H.W : | Direction de l'Hydraulique de la Wilaya. |
| H.C.D.S : | Haut Commissariat au Développement de la Steppe. |
| I.O.W: | International Organization of Water. |
| NTU : | Nephelometric Turbidity Unit . |
| N.V : | Niveau Guide. |
| O.M.S : | Organisation Mondiale de la Santé. |
| O.N.G : | Organisation Non Gouvernementale. |
| O.N.M : | Office National de la Météorologie. |
| P.D.A.U : | Plan Directeur d'Aménagement Urbain. |
| p.H : | Potentiel Hydrométrique. |
| ppm : | Partie par Million. |
| Q.S.P : | Quantité Suffisante Pour. |
| S.E.S : | Service d'Etudes Scientifiques. |
| T.A : | Titre Alcalimétrique. |
| T.A.C : | Titre Alcalimétrique Complet. |
| U.E : | Union Européenne. |

Table des matières

Introduction générale

| | |
|-----------------------------|----|
| 1 Eau et environnement..... | 17 |
| 2 Objectif du travail..... | 18 |

Chapitre 1

Situation géographique

| | |
|---|-----------|
| 1.1 Situation géographique et administrative de Ksar Chellala..... | 19 |
| 1.1.1 Données naturelles..... | 19 |
| 1.1.2 Climatologie..... | 19 |
| 1.1.2.1 Pluviométrie..... | 19 |
| 1.1.2.2 Température..... | 20 |
| 1.1.3 Ressources hydriques..... | 20 |
| 1.2 Situation géographique et administrative de Serguine..... | 24 |
| 1.2.1 Géomorphologie..... | 24 |
| 1.2.2 Ressources hydriques..... | 26 |
| 1.2.3 Mobilisation des ressources en eau..... | 26 |
| 1.2.4 Environnement..... | 27 |
| 1.3 Périmètre d'étude..... | 27 |
| 1.4 Actions à entreprendre..... | 28 |

Chapitre 2

Etude géologique

| | |
|--|----|
| 2.1 Introduction | 30 |
| 2.2 Structure géologique | 30 |
| 2.2.1 Kimméridgien..... | 33 |
| 2.3 Eaux souterraines | 33 |
| 2.3.1 L'horizon aquifère des dépôts du Kimméridgien..... | 34 |

Chapitre 3

Eaux souterraines caractéristiques physico chimiques

| | |
|---|----|
| 3.1 Introduction | 37 |
| 3.2 Eaux souterraines | 37 |
| 3.3 Hydrochimie de l'aquifère | 38 |
| 3.3.1 Roches sédimentaires chimiques..... | 38 |
| 3.3.2 Les roches halogènes..... | 39 |
| 3.4 Classification chimique des eaux souterraines | 39 |
| 3.5 Eaux de surfaces | 39 |
| 3.6 Différence entre eaux souterraines et eaux de surfaces | 40 |
| 3.7 Normes de la qualité de l'eau | 41 |
| 3.7.1 L'utilité des normes..... | 41 |
| 3.8 Caractéristiques d'une eau potable | 44 |
| 3.8.1 Caractéristiques physiques..... | 44 |
| 3.8.1.1 Turbidité..... | 44 |
| 3.8.1.2 Couleur..... | 44 |
| 3.8.1.3 Odeur..... | 44 |

| | |
|--|----|
| 3.8.1.4 Saveur..... | 45 |
| 3.8.1.5 Température..... | 45 |
| 3.8.1.6 PH..... | 45 |
| 3.8.1.7 Conductivité..... | 45 |
| 3.8.2 Caractéristiques chimiques..... | 46 |
| 3.8.2.1 La minéralisation..... | 46 |
| 3.8.2.1.1 Sels dissous..... | 46 |
| 3.8.2.1.2 Les cations..... | 46 |
| 3.8.2.1.3 Les anions..... | 47 |
| 3.8.2.1.4 Gaz dissous..... | 48 |
| 3.8.2.2 Titres chimiques..... | 48 |
| 3.8.3 Caractéristiques bactériologiques..... | 49 |
| 3.8.4 Analyse chimique de l'eau..... | 50 |
| 3.8.4.1 Représentation de l'analyse chimique de l'eau..... | 50 |

Chapitre 4

Méthodes , résultats et discussions des analyses

| | |
|---|-----------|
| 4.1 Méthodes d'analyses..... | 51 |
| 4.1.1 Introduction..... | 51 |
| 4.2 Prélèvement et mode d'échantillonnage..... | 51 |
| 4.3 Mesure des caractéristiques physiques..... | 51 |
| 4.4 Analyses chimiques..... | 52 |
| 4.4.1 Dosage des ions..... | 52 |
| 4.4.1.1 Dosage de sodium et potassium..... | 52 |
| 4.4.1.2 Dosage des chlorures..... | 52 |

| | |
|--|-----------|
| 4.4.1.3 Dosage des carbonates et des bicarbonates..... | 53 |
| 4.5 Présentation des résultats des analyses chimiques des eaux..... | 54 |
| 4.5.1 Unités chimiques employées dans les analyses de l'eau..... | 56 |
| 4.5.2 Faciès chimiques..... | 59 |
| 4.5.2.1 Diagramme logarithmique de Schoeller..... | 59 |
| 4.5.2.2 Diagramme triangulaire..... | 59 |
| 4.5.3 Irrigation..... | 64 |
| 4.6 Adoucissement..... | 65 |
| 4.6.1 Adoucissement par précipitation..... | 67 |
| 4.6.2 Adoucissement par échange ionique..... | 67 |
| 4.7 Analyses statistiques des résultats..... | 69 |
| 4.7.1 Introduction..... | 69 |
| 4.7.2 Méthode statistique..... | 69 |
| 4.7.3 Organisation des données..... | 70 |
| 4.7.4 Interprétation..... | 74 |
| 4.7.5 Histogrammes..... | 75 |
| | |
| Conclusion générale..... | 86 |
| | |
| Références bibliographiques..... | 87 |
| | |
| Annexes..... | 91 |

Introduction générale

1 Eau et environnement :

La protection de l'environnement est devenue un enjeu politique majeur comme en témoigne les sommets et les rencontres des chefs d'états (Rio de Janeiro 1992 et Kyoto 1995). Aujourd'hui les plus hauts responsables politiques décident d'agir ensemble pour au moins atténuer les menaces qui pèsent sur notre planète. La sauvegarde des ressources en eau est au premier rang des priorités et des préoccupations. Tous les pays sont concernés, les pays pauvres qui manquent d'eau ; les pays développés qui la polluent.

Une attention particulière est donnée à l'eau à travers le conseil mondial de l'eau et les ONG (Rabat 1997 , La Haye 2000 et Bonn 2001).

L'eau fait partie de la nature. Elle contribue à modifier chaque jour le visage de la terre par l'érosion, le transport et la sédimentation des matériaux. Elle est aussi un facteur écologique toujours important et souvent déterminant pour les peuplements humains, animaux et végétaux.

Dans ce troisième millénaire l'importance de l'eau prend des proportions importantes, surtout que la population mondiale est en constante augmentation.

Pour le tiers monde en l'an 2020 il faut plus de vingt milliards de dollars comme investissement dans Le domaine de l'eau de consommation pour éviter une catastrophe humaine.

Selon les projections mondiales de la population Action International (1993), qui tient compte des tendances démographiques et des données relatives à l'approvisionnement en eau, la quasi-totalité des pays en développement sont concernés par des pénuries à partir de l'an 2025, soit 4.5 milliards de personnes [9].

Actuellement pour plusieurs millions d'êtres humains avoir accès à l'eau reste une contrainte quotidienne, par contre pour les personnes qui vivent dans les pays développés, avoir l'eau est une chose normale. Dans les pays en voie de développement la consommation globale de l'eau est inférieure à 520 m³ par habitant et par an, elle atteint 1200 m³ pour les habitants des pays développés.

L'hydrologue Suédois Malin Falkenmark (1993) a introduit un indice de mesure de carence en eau, il estime que si dans un pays le volume d'eau disponible par personne diminue et descend à moins de 500 m³ par an, le pays en question est considéré en pénurie absolue d'eau [25].

L'eau de consommation malgré sa rareté est exposée constamment à une pollution si ce n'est pas à une agression de la part de l'homme, pour cela il faut la protéger.

Une eau potable est celle que l'on peut boire sans désagrément et sans danger pour la santé des consommateurs.

2 Objectifs du travail :

Vu la rareté de l'eau en Algérie et la sécheresse prolongée , notre pays est en situation de stress hydrique. Pour cela il faut non seulement quantifier les ressources hydriques , mais les préserver d'une pollution certaine. Un suivi dans le temps de la qualité de l'eau est nécessaire pour prévenir et palier à tout imprévu. Dans le cadre de ce travail, une attention particulière est donnée à l'eau et surtout à sa qualité.

Vu la longue période de sécheresse et sa probable influence sur la qualité de l'eau, une actualisation des données paraît nécessaire, de cela :

- Un inventaire de certains forages réalisés entre 1969 et 1970 et alimentant les villes de Ksar Chellala et Serguine et irriguant un périmètre agricole à Serguine a été établi.
- Les caractéristiques de ces forages tel que débit , PH et température ont été revus.
- Actualisation des analyses physico-chimiques des eaux de ces forages.
- Dosage des ions toxiques probables des ces eaux.
- Comparaison des analyses de 1970 et de 2002.

CHAPITRE 1
SITUATION GEOGRAPHIQUE

Chapitre 1

1.1 Situation géographique et administrative de Ksar Chellala : [44]

Géographiquement la région de Ksar Chellala se localise dans la frange steppique du Maghreb qui s'étale de l'intérieur du Maroc jusqu'en Tunisie.

Elle est localisée précisément en coordonnées Lambert :

- X : 458.473 Km.
- Y : 225.209 Km.
- Z : 860 m.

Cette commune se situe au sud de la wilaya de Tiaret à environ 120 Km de son chef lieu. Elle occupe une superficie totale de 13429 Km². Elle est limitée administrativement par :

- Au Nord : la wilaya de Djelfa.
- Au Nord Ouest : la commune de Rechaïga.
- Au Sud Est : la commune de Serguine
- Au Sud : la commune de Z'malet El Emir Abdelkader.

1.1.1 Données naturelles :

- 29 % des terrains improductifs dont 3 % de montagnes nues.
- 34 % de parcours steppiques.
- 37 % de surface agricole utile (S.A.U.).

1.1.2 Climatologie :

La région de Ksar Chellala est classée dans la zone aride frais et cela d'après le climagramme d'Emberger pour l'Algérie, voir figure 1.

1.1.2.1 Pluviométrie :

Une pluviométrie à la fois faible et variable, connaissant des périodes de totale sécheresse et de violentes précipitations sous forme d'orages et de pluies torrentielles érodant grandement les sols. La moyenne annuelle des précipitations de ces treize dernières années est de 238.68 mm/an et sont mal réparties au cours de l'année selon le tableau 1.

Le mois le plus pluvieux est le mois de Septembre avec 32.45 mm/an, il totalise à lui seul presque la somme des moyennes des précipitations estivales.

1.1.2.2 Température :

La moyenne annuelle des températures est de 17°C d'après tableau 2, avec des minima de 7.28°C (Janvier) et des maxima de 28.42°C (Juillet). L'amplitude thermique est très forte entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid (21.14°C).

1.1.3 Ressources hydriques :

Elles sont importantes (nappes aquifères non exploitées pouvant donner un débit de 60 à 100l/s), mais restent à quantifier en fonction du développement (source HCDS). Recensement de 165 puits et sources de types traditionnels dont la majeure partie ne sont plus fonctionnels [44].

L'Oued Touil est le principal cours d'eau de la région. Il est endoréique et alimenté par un important réseau hydrographique. Il rejoint Nahr Ouassel avant de se jeter dans la Sebkhha de Bougezoul qui s'ouvre sur le Cheliff.

Les nappes proviennent soit des formations plio-quadernaires, soit des formations gréseuses du crétacé inférieur ou des formations carbonatées du jurassique supérieur.

Constatation :

L'équilibre écologique de la région de Ksar Chellala, a été rompu sous la pression d'une série de facteurs dont :

- Les paramètres climatiques : la sécheresse, le froid et gel ayant une action néfaste sur Les terres et le cheptel
- Le surpâturage entraînant un phénomène de désertification de la zone, qui s'amplifie dans le temps.
- L'extension de la céréaliculture, sans politique d'irrigation et de fertilisation des sols réduisant leur valeur agronomique.

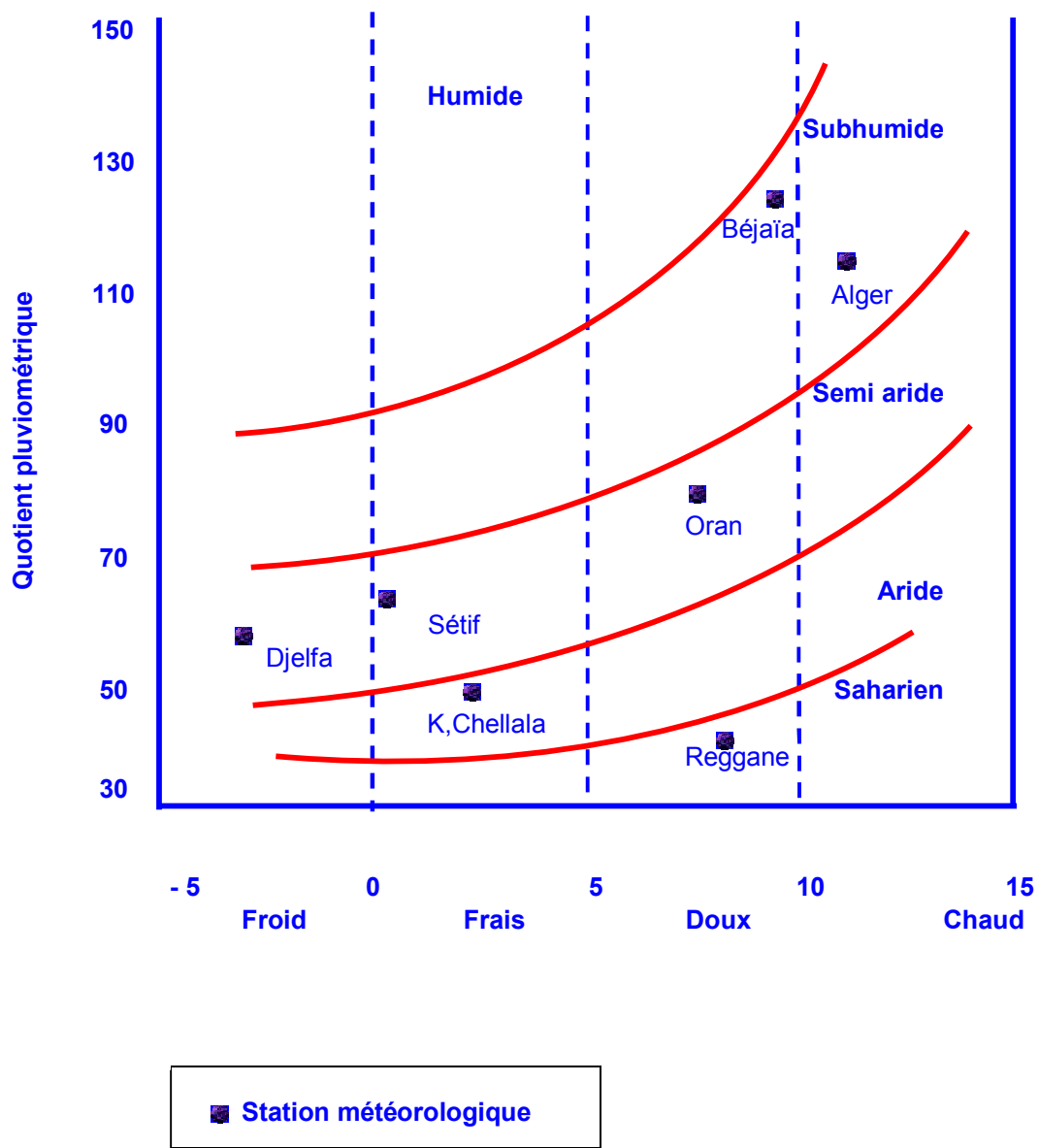


Figure 1 : Climagramme d'Emberger pour l'Algérie [52]

Tableau 1 : Pluviométrie de la région de Ksar Chellala (1990 / 2002) [43]

| Mois Ans | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre | Cumul | Moy, |
|---------------------|---------|---------|-------|-------|-------|------|---------|-------|-----------|---------|----------|----------|--------|-------|
| 1990 | 62.8 | 1.1 | 40.1 | 26.6 | 63.0 | 18.4 | 39.7 | 2.0 | 31.2 | 9.6 | 11.6 | 19.0 | 325.1 | 27.09 |
| 1991 | 6.1 | 24.2 | 74.0 | 8.8 | 15.6 | 11.9 | 12.0 | 15.3 | 6.0 | 10.7 | 1.5 | 11.4 | 197.5 | 16.46 |
| 1992 | 17.5 | 6.5 | 29.8 | 19.7 | 85.0 | 12.3 | 24.2 | 3.0 | 5.5 | 12.4 | 12.0 | 12.0 | 239.9 | 19.99 |
| 1993 | 0.0 | 65.0 | 4.7 | 25.0 | 32.2 | 0.4 | 6.0 | 25.0 | 45.0 | 1.0 | 15.0 | 6.0 | 225.3 | 18.78 |
| 1994 | 5.0 | 78.0 | 15.3 | 6.0 | 5.0 | 0.0 | 8.0 | 34.0 | 31.0 | 35.0 | 11.7 | 79.0 | 308 | 25.67 |
| 1995 | 9.4 | 4.1 | 28.8 | 13.8 | 3.2 | 15.7 | 3.5 | 9.3 | 34.0 | 27.4 | 2.1 | 11.8 | 163.1 | 13.59 |
| 1996 | 19.5 | 38.1 | 39.8 | 29.0 | 31.0 | 55.2 | 25.1 | 7.0 | 43.2 | 7.9 | 11.1 | 4.5 | 311.4 | 25.95 |
| 1997 | 52.0 | 9.4 | 0.0 | 55.3 | 23.9 | 0.0 | 3.6 | 40.3 | 44.9 | 24.3 | 37.1 | 13.5 | 304.3 | 25.36 |
| 1998 | 5.9 | 19.5 | 8.8 | 31.4 | 48.1 | 5.6 | 0.0 | 1.0 | 44.9 | 19.6 | 6.6 | 5.3 | 196.7 | 16.39 |
| 1999 | 50.0 | 28.2 | 63.1 | 0.0 | 17.1 | 2.1 | 2.0 | 7.9 | 35.7 | 61.5 | 32.0 | 71.5 | 371.1 | 30.93 |
| 2000 | 0.0 | 0.6 | 4.7 | 11.6 | 9.8 | 3.7 | 3.0 | 11.7 | 13.6 | 10.0 | 52.6 | 27.7 | 149 | 12.42 |
| 2001 | 35 | 18 | 1.2 | 21 | 4.1 | 0.0 | 0.9 | 1.2 | 80.2 | 7.4 | 8.0 | 19.4 | 196.4 | 16.37 |
| 2002 | 6.6 | 1.8 | 2.9 | 12 | 5.7 | 0.3 | 8.0 | 17.6 | 6.6 | 13.4 | 27.2 | 12.9 | 115 | 9.58 |
| Moy, | 20.75 | 22.65 | 24.09 | 20.02 | 26.44 | 9.66 | 10.46 | 13.48 | 32.45 | 18.4 | 17.58 | 22.62 | 238.68 | 19.89 |

Tableau 2 : Température moyenne de la région de Ksar Chellala (1990 / 2002) [43]

| Mois Ans | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre | Moy, |
|-------------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-----------|---------|----------|----------|-------|
| 1990 | 7.1 | 11.5 | 12.8 | 13.0 | 18.9 | 26.4 | 27.5 | 27.1 | 26.1 | 18.3 | 11.7 | 5.9 | 17.19 |
| 1991 | 6.1 | 6.9 | 11.5 | 12.3 | 15.4 | 24.0 | 28.5 | 27.4 | 23.9 | 15.1 | 10.1 | 6.2 | 15.62 |
| 1992 | 5.5 | 7.5 | 9.7 | 13.1 | 18.1 | 20.1 | 25.8 | 27.1 | 24.1 | 16.7 | 12.0 | 8.2 | 15.66 |
| 1993 | 6.1 | 6.7 | 11.3 | 13.8 | 19.1 | 25.8 | 28.9 | 28.3 | 21.6 | 17.8 | 11.6 | 7.6 | 16.55 |
| 1994 | 7.8 | 9.5 | 13.1 | 12.9 | 21.9 | 25.4 | 30.2 | 30.6 | 22.4 | 17.4 | 12.4 | 8.3 | 17.66 |
| 1995 | 7.1 | 10.5 | 10.9 | 13.1 | 21.1 | 24.0 | 28.4 | 27.7 | 21.1 | 17.9 | 13.1 | 10.4 | 17.11 |
| 1996 | 10.2 | 7.6 | 11.9 | 14.3 | 18.3 | 22.7 | 27.6 | 27.7 | 19.8 | 15.4 | 13.0 | 9.4 | 16.49 |
| 1997 | 9.1 | 13.1 | 12.0 | 15.2 | 20.1 | 26.2 | 28.3 | 27.4 | 23.3 | 18.2 | 12.7 | 9.0 | 17.88 |
| 1998 | 7.9 | 9.9 | 12.0 | 15.1 | 17.6 | 26.1 | 30.0 | 25.0 | 25.0 | 15.9 | 12.1 | 7.2 | 16.98 |
| 1999 | 7.7 | 7.6 | 11.8 | 15.8 | 23.0 | 26.6 | 28.5 | 31.2 | 24.2 | 20.7 | 10.9 | 7.3 | 17.94 |
| 2000 | 5.0 | 9.5 | 12.7 | 15.7 | 21.9 | 25.6 | 28.5 | 29.1 | 23.1 | 16.0 | 12.3 | 9.3 | 17.39 |
| 2001 | 8.2 | 9.1 | 16.0 | 15.4 | 18.9 | 26.8 | 29.3 | 29.4 | 23.4 | 21.4 | 11.5 | 7.2 | 18.05 |
| 2002 | 6.9 | 9.6 | 12.9 | 15.0 | 19.9 | 27.0 | 27.9 | 26.6 | 22.4 | 18.4 | 12.7 | 9.4 | 17.39 |
| Moy, | 7.28 | 9.15 | 12.20 | 14.21 | 19.55 | 25.13 | 28.42 | 28.05 | 23.11 | 17.63 | 12.01 | 8.11 | 17.07 |

1.2 Situation géographique et administrative de Serguine :[45]

Issue de la dernière restructuration territoriale de 1984, la commune de Serguine se localise à l'extrême Est de la wilaya de Tiaret, voir figure 2. Elle est limitée :

- Au Nord par la commune de Sidi Ladjel et celle d'El Khemis (Djelfa).
- Au Sud par la commune de Z'malet Emir AEK (Tiaret).
- A l'Ouest par la commune de ksar chellala (Tiaret).
- A l'Est par la commune de Guernini (Djelfa).

1.2.1 Géomorphologie :

L'espace de Serguine est marqué par 3 individualités physiques.

- **Massifs montagneux:**

Massif montagneux qui s'élève assez brusquement en son Nord au dessus du plateau steppique s'étendant du Nord Est au Nord Ouest formé par Djebel Ahmar 1012m, Djebel Harlouf et Djebel Djaoura 977m. Cet espace occupe environ 10% de la superficie totale.

Ses reliefs sont marqués par de profondes traces de ravinement.

La pluviométrie moyenne sur les sommets atteint les 450 mm/an. L'étage bioclimatique appartient au semi aride frais. Les piémonts sont aux bordures de l'aride au Nord et plus aride au Sud. Le sol est formé d'une crête en calcaire et dolomies dures.

- **La plaine de Oued Touil:**

Cet ensemble est limité au Nord Est par le massif montagneux, au Sud Est la commune de Z'malet Emir AEK et à l'Ouest par la wilaya de Djelfa. Il occupe environ 20% de la superficie totale, la plaine s'incline du Nord Est au Sud Ouest allant de 800 à 700m

d'altitude en pente régulière. La pluviométrie varie de 200 à 300 mm/an. La plaine est située dans une région à climat aride frais (voir climagramme d'Emberger). Le sol est peu profond, croûteux à substrat calcaire en croûte dure.

Les ressources hydriques sont importantes. Les eaux de surface viennent du Nord Est des massifs montagneux.

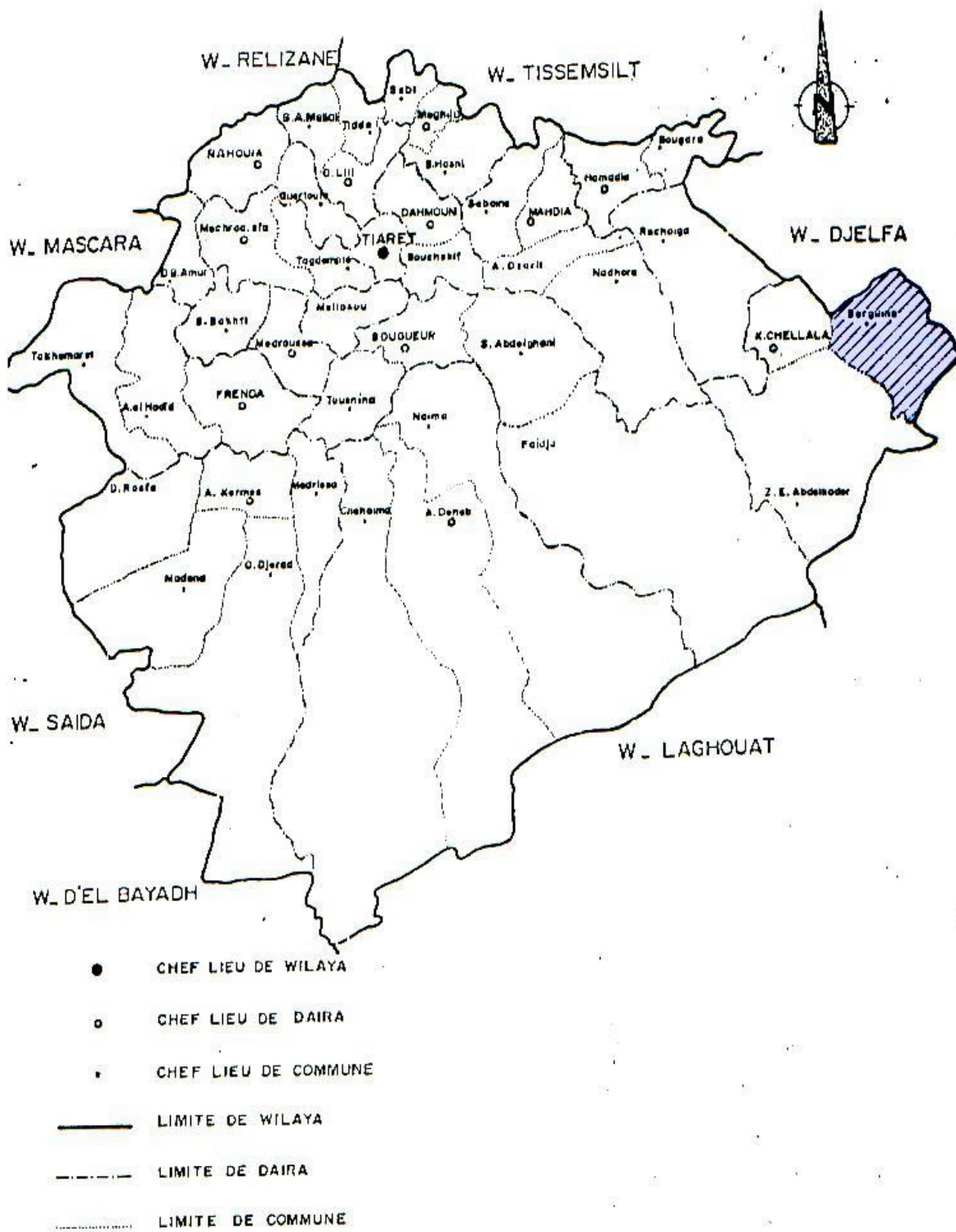


figure 2 : Situation géographique et administrative de Serguine [45]

- **Vallée de Oued Touil :**

Traverse la commune du Sud Ouest au Nord Est, le climat est aride frais.

Le long de l'Oued est caractérisé par des sols alluvionneux aptes aux pratiques culturales.

1.2.2 Ressources hydriques :

- **ressources en eau superficielle :**

Le territoire de la commune de Serguine est drainé par un réseau hydrographique représenté par Oued Touil et ses affluents Oued Ben Maarouf, Oued Homeida, oued Rhorab et Faïd Guessaeïd.

Lors des crues, l'Oued Touil s'étend de part et d'autre de ses rives pour couvrir une grande surface de son bassin versant. Il constitue ainsi la source d'approvisionnement de la nappe phréatique désignée sous le nom de " la nappe de Oued Touil ".

La potentialité en eau de l'Oued est estimée à 30 Hm³/an.

- **Ressources en eau souterraine :**

Les formations géologiques qui constituent le sous-sol du territoire de la commune de Serguine sont souvent perméables, représentées par des grés granulaires et de dolomies, telle que celle de Oued Touil. Potentialité en eau souterraine 54,19 Hm³/an.

1.2.3 Mobilisation des ressources en eau :

- **ressources en eau superficielle :**

malgré la potentialité importante de Oued Touil (30 Hm³) aucune infrastructure de mobilisation n'est recensée à travers la commune.

- **Ressources en eau souterraine :**

Le territoire communal de Serguine renferme des potentialités importantes en eau souterraine avec 27 forages, 9 sources et 192 puits.

Sur les 54,19 Hm³ seulement 17,44 Hm³/an sont exploités soit 9 Hm³/an pour l'A.E.P et 8,44 Hm³/an pour l'irrigation.

1.2.4 Environnement :

L'environnement de la commune de Serguine se trouve actuellement confronté aux nombreux problèmes.

Le sol de Serguine renferme des potentialités importantes en eau souterraine menacée par la pollution qui est due aux eaux usées jetées sans aucun traitement préalable, aux multitudes points de décharges publiques qui se font d'une manière sauvage et anarchique. Par ailleurs le milieu naturel se trouve également menacé par le problème d'érosion hydrique due essentiellement à :

- Absence du couvert végétal.
- Constitution lithologique fragile du sol.
- Activité humaine : labours sur des fortes pentes et la surexploitation ont provoqués la déperdition du sol d'où l'affleurement rocheux dans les collines et les monts.
- Le pacage illicite sur le massif et les parcours en surcharge.
- La salinité du sol témoignée par l'apparition d'une mince pellicule blanche de sel après l'évaporation de l'eau d'irrigation, notamment dans la vallée de Oued Touil.

1.3 Périmètre d'étude :

Les coordonnées du périmètre d'étude N° 5 sur la figure 3 sont :

X : 470,800 Km

Y : 214,400 Km

Z : 795 m

La zone de captage occupe le versant Sud-Est du djebel Serguine constituant dans les limites des montagnes de Chellala l'anticlinal extrême de deuxième ordre et le piedmont voisin.

Le périmètre présente une bande de terrain de 2 à 2,5 Km de large et d'environ 8 Km de long, allongé le long du djebel Serguine. La zone de captage dont l'angle Sud-Est, limitrophe avec le périmètre irrigable est située à une altitude supérieure à celle du périmètre irrigable.

La structure géologique de la zone de captage est constituée par les dépôts de :

- Trias (T).
- Callovo-Oxfordien (J_3^{Cl-ox})
- Kimméridgien (J_3^{Km})
- Tithonique (J_3^t)
- Valangino-Hauterivien (Cr_1^{v-h})
- Barrémien- Aptien- Albien (Ct_1^{b-al})
- Néogène (N)
- Quaternaire (Q)

La nappe sujette de notre étude est dans l'horizon du Kimméridgien.

1.4 Action à entreprendre :

- Recensement de tous les points d'eau existants avec actualisation de leurs débits afin d'évaluer d'une façon systématique et adéquate la mobilisation réelle.
- Exploitation des eaux d'irrigation, qui devront être passé préalablement à une analyse chimique afin de connaître leur impact sur l'espace.
- Installation d'un réseau d'irrigation avec l'introduction d'un système d'irrigation rationnelle afin de lutter contre l'exploitation excessive de la ressource en eau d'une part et l'extension de la superficie irrigable d'autre part.

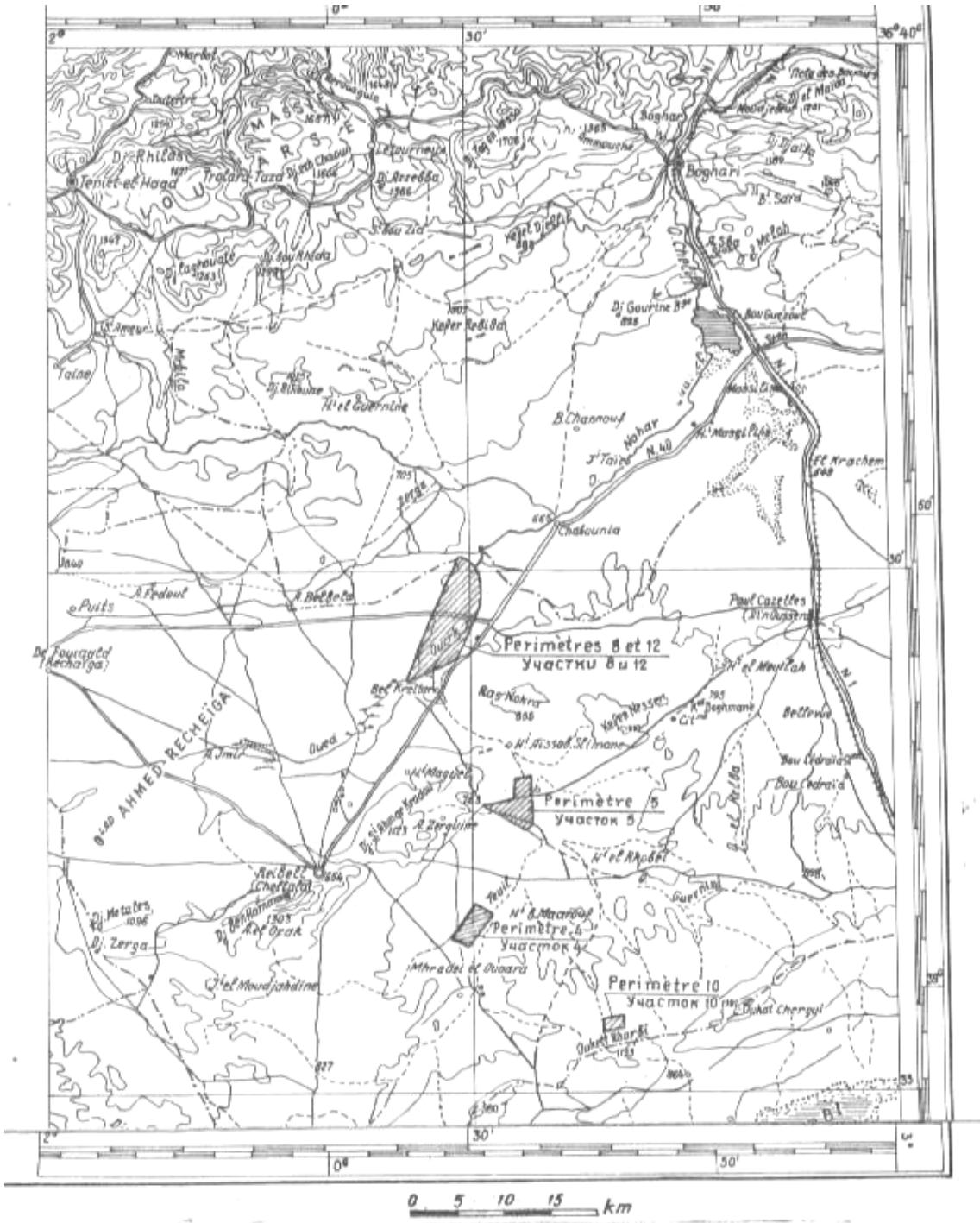


Figure 3 : Périmètre d'étude N°5 [59]

CHAPITRE 2
ETUDE GEOLOGIQUE

Chapitre 2

2.1 Introduction :

Conformément au contrat N°9388 signé le 15 Mai 1969 entre monsieur le wali de la wilaya du Titteri actuellement wilaya de Médéa représentant le gouvernement Algérien et Vsésojuznojé Objédinéjé des projets hydrauliques représentant le gouvernement Soviétique et surtout son avenant N°4, ont été effectuées les études hydrogéologiques, géotechniques et géophysique en vue d'argumenter les projets d'exécution de l'irrigation de 2500 hectares de terre (projet Oued Touil) et l'alimentation des localités de Ksar Chellala en eau potable à partir des eaux souterraines. Le programme des études effectuées respectivement sur 06 (six) périmètres irrigables N° 4 - 5 – 8 9 - 10 et 12 spécifiés sur la figure 3.

Les analyses de laboratoire des échantillons d'eau et des roches étaient exécutées au laboratoire central Mahdi Boualem Alger.

Pour notre cas le choix s'est fait sur le périmètre N° 5, avec six forages N° 42 – 300 – 301 – 302 – 309 et 310 comme montré sur la figure 4, vu que ces forages sont accessibles et alimentent la ville de Ksar Chellala et de Serguine.

Ces forages sont destinés à l'irrigation du périmètre N° 5. Les nappes exploitées sont de la même formation géologique (Jurassique supérieur Kimméridgien).

2.2 Structure géologique :

Le territoire étudié est situé dans les limites des Hauts Plateaux Algériens délimité au nord par la vallée de l'oued Nahr Ouassel et au sud par l'Atlas Saharien.

La structure géologique de la région est complexe, déterminée par une couverture sédimentaire d'épaisseur considérable et par dislocation des plissements et des cassures formant des blocs de plissement de dimension et de configuration variables.

La couverture sédimentaire dans la zone prospectée est complexe, formée par des terrains triasiques, jurassiques, crétacés paléogènes, néogènes et quaternaires, voir figure 5. Pour le cas de notre recherche l'eau provient de l'étage du Kimméridgien.

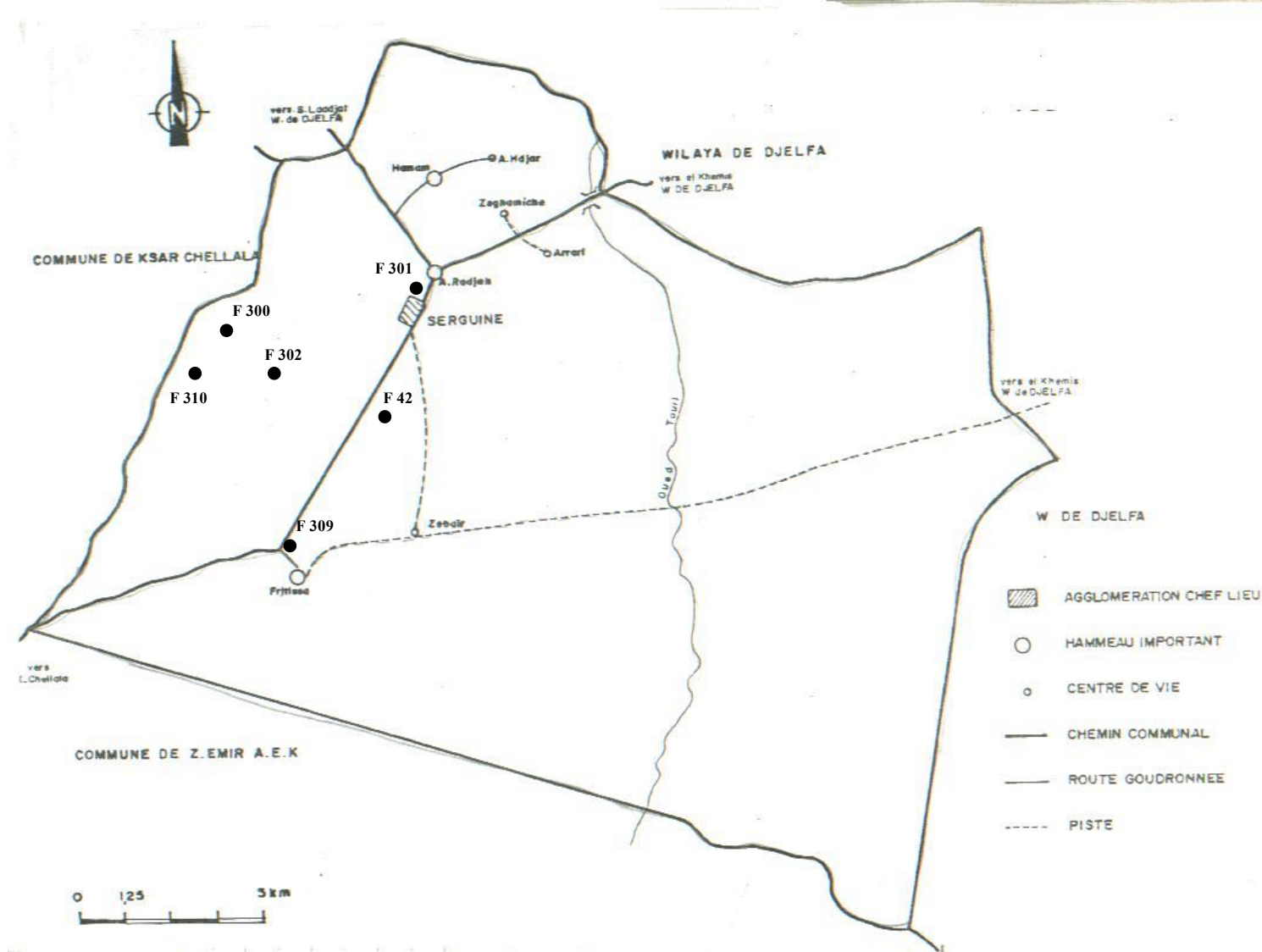


Figure 4 : Implantation des 06 forages [45]

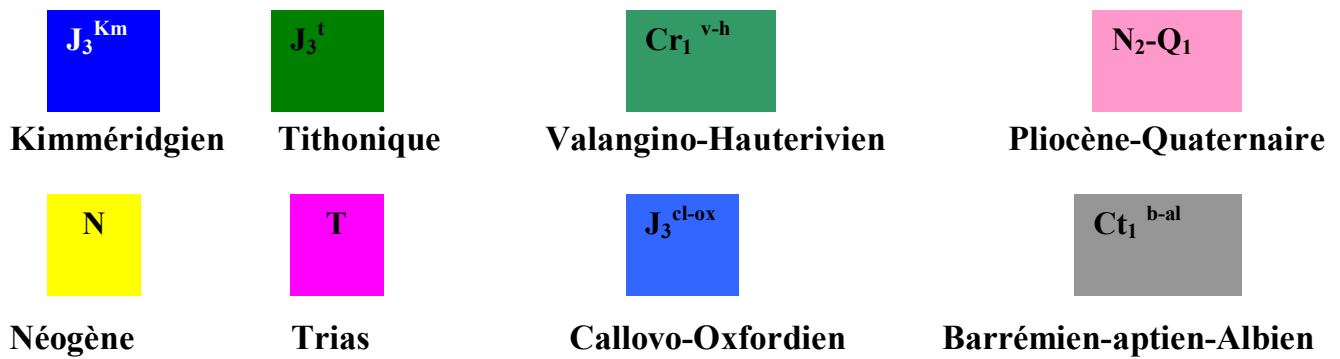
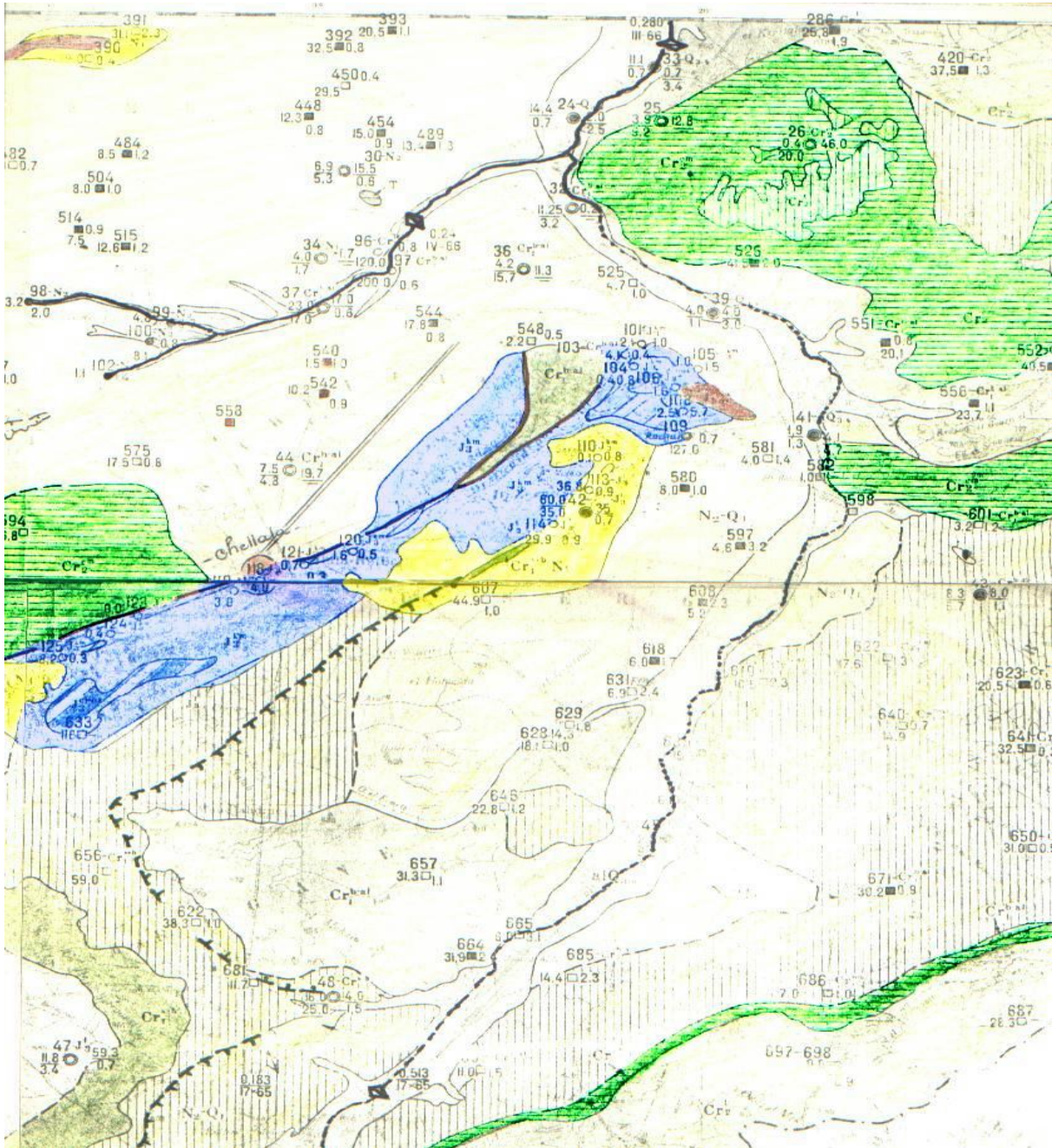


Figure 5 : Carte géologique de Serguine [59]

2.2.1 Kimméridgien (J₃^{km}) :

Cet étage est bien développé dans la partie centrale et aux extrémités du méganticlinal de Chellala. Au Nord et au Sud du méganticlinal, les dépôts Kimméridgiens s'envoient rapidement à la profondeur excédant un kilomètre. Du point de vue lithologique il est représenté par les dolomies blanches jusqu'aux gris foncé teintées de brun, jaune, lilas et rose. Les roches sont très dures, massives, fissurées, localement cavernueuses avec nids et veines de calcite. La base et le sommet de l'étage offrent des roches en dalles. Dans les limites des montagnes de Chellala, du Nord-Est au Sud-Ouest, on observe le changement du degré de décristallisation des dolomies et de leur couleur.

Au Nord-Est (Djebel Harlouf) prédominent des dolomies formées de cristaux moyens de couleur gris clair et gris foncé. Dans le Djebel Kradou sont développées des dolomies à cristaux grossiers, plus rarement à cristaux moyens, gris foncé et gris clair jusqu'aux blanches. Le Djebel Ben Hammad dans la partie Nord-Est est formé de dolomies à cristaux moyens et grossiers de teintes très claires. Le reste du Djebel est représenté par les dolomies microcristallines de couleur claire teintées de rose, jaune, verte, lilas et rouge foncé.

Lors de la cartographie des affleurements et des forages, dans l'assise de dolomies sont observés les couches et lentilles d'argiles jaunes, marneuses, les marnes et calcaires dolomités teintés en vert et gris. Ces couches épaisses de 0.6 – 1.0 - 3.5 à 7.0 m sont localisées au sommet et à la base de l'étage. Dans les dépôts Kimméridgiens se rencontrent les traces de coquilles formant parfois de petits amas.

La limite stratigraphique inférieure Kimméridgienne est localisée suivant la base de la première couche de dolomies. L'épaisseur des dépôts Kimméridgiens s'élève à 400 m environ [59].

2.3 Eaux souterraines :

Les conditions hydrogéologiques du territoire intéressé se caractérisent par la présence de deux bassins artésiens séparés par la zone Nador-Chellala. La formation des bassins était passée sous l'influence des facteurs climatiques, géomorphologiques et géo-structurales qui ont déterminés les particularités spécifiques de chaque nappe aquifère.

Les zones d'alimentation des bassins artésiens sont localisées suivant les limites des structures où a eu lieu des affleurements des roches réservoirs. Dans les parties centrales les précipitations atmosphériques n'alimentent que les horizons aquifères à surface libre.

Les précipitations atmosphériques jouent un rôle principal dans l'alimentation des eaux souterraines. Elles sont peu importantes et leur distribution pendant l'année est extrêmement irrégulière.

Le déchargement des eaux souterraines se fait par l'écoulement des sources ou par l'évaporation à partir des surfaces libres des cours d'eau. La liaison hydraulique existe tant dans le plan horizontal que dans le plan vertical, mais dans chaque cas concret le degré de cette liaison permet de tracer les limites hydrogéologiques des nappes aquifères. En général, la direction de l'écoulement des eaux souterraines est Nord - Est, à l'exception de certains endroits où les anomalies sont conditionnées par les particularités géologiques.

Le rapport entre les eaux souterraines et les cours d'eau superficiels portent le caractère bipartite : les zones d'alimentation et du drainage sont alternées; parfois s'observe l'apparition et la disparition des cours d'eau dans certaines parties du lit.

Les résultats des études ont permis de mettre en évidence les caractéristiques des horizons reconnus et de voir la possibilité de l'utilisation des autres sources aquifères déjà reconnues mais non pas étudiées.

2.3.1 L'horizon aquifère des dépôts du Kimméridgien :

L'horizon aquifère des dépôts du Kimméridgien est l'un des plus abondants en eau dans la région décrite parmi d'autres horizons aquifères jurassiques supérieurs. Les dépôts du Kimméridgien sont largement étendus dans la partie ouest de la région et constituent également les structures synclinales des montagnes de Chellala. Partout dans les limites des affleurements les roches réservoirs sont représentés par les dolomies massives, fissurées à un degré différent, cavernueuses, dont l'épaisseur varie de 150 m dans la partie occidentale de la région, à 350-400 m dans les montagnes de Chellala.

Dans la partie Nord Ouest la nappe est libre car elle est la première nappe aquifère à partir de la surface du sol. Dans la partie Sud Est le Kimméridgien s'enfonce sous le Thitonique et le Valangino-Hautérivien qui sont imperméables et la nappe passe en régime captif artésien. Les forages implantés dans cette zone, voir tableau 3 , notamment le N° 300, 302, 309 et 310 ont donnés des débits artésiens de 120 à 190 l/s, tandis que les forages N° 42 et 301 ont donnés des débits de 50 et 30 l/s à cause de la diminution de la fissuration karstique. L'alimentation de la nappe se fait par les infiltrations et la zone principale d'alimentation de la nappe du Kimméridgien est située à peu près à 50 Km (plateau de Taga). [58].

Tableau 3 : Zone d'étude « périmètre N° 5 » [59]

36

| N° Forage | Date Réalisation | Coordonnées (Km) (Km) Z (m) | X Y | Système | Complexe | Indice Géol. | Nature Roches | Profondeur Finale (m) | Epaisseur Nappe (m) | Débit 1970 (l/s) | Débit 2002 (l/s) |
|-----------|------------------|-----------------------------------|--------|------------|--------------|------------------------------|--|-------------------------|---------------------|------------------|------------------|
| 42 | 1970 | 478.740 215.490 | 795 | Jurassique | Kimmeridgien | J ₃ ^{Km} | Dolomies cristallines à passes de marnes et de calcaires | 375 | 25 | 49.5 | 30 |
| 300 | 1970 | 479.460 217.570 | 808 | Jurassique | Kimmeridgien | J ₃ ^{Km} | Dolomies cristallines à passes de marnes et de calcaires | 260 | 120 | 150 | 22 |
| 301 | 1970 | 481.260 217.830 | 771 | Jurassique | Kimmeridgien | J ₃ ^{Km} | Dolomies cristallines à passes de marnes et de calcaires | 618 | 118 | 23 | 02 |
| 302 | 1970 | 479.520 217.320 | 800 | Jurassique | Kimmeridgien | J ₃ ^{Km} | Dolomies cristallines à passes de marnes et de calcaires | 180 | 15 | 100 | 20 |
| 309 | 1970 | 476.960 214.480 | 817 | Jurassique | Kimmeridgien | J ₃ ^{Km} | Dolomies cristallines à passes de marnes et de calcaires | 252.7 | 52.7 | 150 | 22 |
| 310 | 1970 | 479.200 217.280 | 812 | Jurassique | Kimmeridgien | J ₃ ^{Km} | Dolomies cristallines à passes de marnes et de calcaires | 132 | 37 | 140 | 22 |

CHAPITRE 3
EAUX SOUTERRAINES
CARACTERISTIQUES
PHYSICO CHIMIQUES

Chapitre 3

3.1 Introduction :

L'eau pure n'existe pas dans la nature, elle contient toujours de nombreuses substances d'origine naturelle. Les eaux souterraines, plus stables sont souvent de meilleure qualité surtout celles provenant de puits profonds, où les nappes sont plus au moins protégées par des couches supérieures imperméables, au contraire des nappes phréatiques et par le pouvoir filtrant du sol.

Cependant il faut une surveillance constante de la qualité de l'eau pour prévenir toute pollution suite à l'utilisation intensive des engrais et des pesticides dans l'agriculture, parce qu'il ne suffit pas de fournir aux consommateurs de l'eau en quantité suffisante mais surtout de qualité satisfaisante.

3.2 Eaux souterraines :

On appelle eaux souterraines toutes les eaux se trouvant au dessous de la surface de la terre, ainsi que de celle du fond des nappes d'eaux superficielles et des cours d'eau [1]. Pour qu'il y est une nappe souterraine, il faut trois conditions : des pluies, un sous-sol perméable (théorie d'infiltration) et une couche sous-jacente imperméable [50]. Les nappes peuvent être alimentées soit par les précipitations, soit par les eaux se trouvant en profondeur (magmatiques ou telluriques), elles peuvent également se former du fait de la déshydratation des roches.

Les eaux d'origine profonde, magmatique (tellurique) sont appelées juvéniles. Elles proviennent de l'oxygène et de l'hydrogène dégagés du magma. Il est admis qu'à l'état pur les eaux juvéniles ne se rencontrent pas car elles se mélangent avec les eaux d'origine atmosphérique.

Les eaux captives remplissent les couches perméables sous-jacentes à l'horizon des eaux de fond libres et à la différence de ces dernières elles sont insérées entre des roches imperméables. Les couches saturées d'eau sont dites aquifères. Ce sont pour l'essentiel des couches sous pression (captives) ou artésiennes. L'aire d'extension d'un ou de plusieurs horizons d'eaux captives est appelé bassin artésien.

On distingue dans les bassins artésiens l'aire d'alimentation, l'aire sous pression et de drainage ou de décharge. Suivant la charge des eaux tout point du bassin artésien présente une pression hydrostatique et un niveau piézométrique. On dénomme niveau piézométrique l'horizon jusqu'auquel montent les eaux captives dans un puits de sondage, quant à la pression hydrostatique elle caractérise la hauteur de la colonne d'eau entre le niveau piézométrique et le toit de l'horizon aquifère.

3.3 Hydrochimie de l'aquifère :

Au cours de son infiltration et son séjour dans les couches géologiques perméables, il y a une interaction eau et roches et des échanges géochimiques avec la nappe modifiant les caractéristiques de cette eau . Parmi ces caractéristiques : le pH, la conductivité, la température qui augmente avec la profondeur et la dissolution des sels modifiant la qualité chimique de l'eau [11].

La dissolution des sels résulte principalement de l'infiltration des eaux de surface à travers des formations rocheuses, parmi ces roches :

3.3.1 Roches sédimentaires chimiques :

Les roches chimiques se forment avec des matières dissoutes précipitées des solutions vraies et colloïdales sur le fond des bassins d'eau. La structure des roches obtenues par précipitation des matières des solutions vraies est cristalline, et des solutions colloïdales, crypto cristalline. La texture de ces roches est généralement stratifiée, mais quelque fois massive.

Les roches chimiques principales renfermant dans ces magasins plus de la moitié des réserves mondiales de pétrole sont constituées de calcaires et de dolomies.

- **Les calcaires : (CaCO_3)**

Sont des roches très répandues composées de calcite; elles réagissent violemment à l'acide chlorhydrique; leur couleur est blanche, jaunâtre, grise.

- **Les dolomies : $[(\text{CaMg}) (\text{CO}_3)_2]$**

Ressemblent extérieurement aux calcaires; se forment par dolomitisation des calcaires par suite de substitution de Magnésium à une partie du calcium de même que par précipitation chimique des solutions au cas d'une grande teneur en Magnésium dans l'eau.

3.3.2 Les Roches halogènes :

Dont les représentants les plus fréquents sont les sels de Sodium et de Potassium, se forment habituellement par dépôts dans des bassins d'eau [1].

3.4 Classification chimique des eaux souterraines

La classification des eaux souterraines peut se faire de plusieurs façons, mais la plus usuelle est celle du savant Russe S.Chtchoukarev (1934).

D'une utilisation commode pour les comparaisons de composition chimique des eaux.

Cette classification tient compte de la teneur des eaux de six composants principaux :

Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Mg^{++} , et Ca^{++} . Seuls sont pris en considération les composants dont les pour cent équivalents sont supérieurs à 25 %.

Les combinaisons de ces six composants permettent de distinguer 49 classes d'eau.

Le tableau 4 donne la classification systématique de la composition chimique des eaux souterraines [8].

Tableau 4 : Classification chimique des eaux souterraines d'après Chtchoukarev

| Ions dépassant 25 % équivalents | HCO_3^- | $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ | $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$ | $\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^-$ | SO_4^{2-} | $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$ | Cl^- |
|---|------------------|-------------------------------------|---|--------------------------------|--------------------|----------------------------------|---------------|
| Ca^{++} | 1 | 8 | 15 | 22 | 29 | 36 | 43 |
| $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ | 2 | 9 | 16 | 23 | 30 | 37 | 44 |
| Mg^{++} | 3 | 10 | 17 | 24 | 31 | 38 | 45 |
| $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{++}$ | 4 | 11 | 18 | 25 | 32 | 39 | 46 |
| $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ | 5 | 12 | 19 | 26 | 33 | 40 | 47 |
| $\text{Na}^+ + \text{Mg}^{++}$ | 6 | 13 | 20 | 27 | 34 | 41 | 48 |
| Na^+ | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 49 |

3.5 Eaux de surfaces :

Les eaux de surfaces comprennent toutes les eaux stockées ou circulant à la surface des continents. Elles sont constituées, soit des nappes souterraines par émergence des sources, soit des eaux de ruissellement qui se rassemblent en cours d'eau caractérisés par une surface de contact eau – atmosphère. Ces eaux peuvent se trouver stockées naturellement (lacs) ou artificiellement (barrages – retenues collinaires).

Les eaux de surfaces sont généralement exposées à divers pollutions suite aux rejets urbains, industriels et agricole [20].

3.6 Différences entre eaux souterraines et eaux de surfaces :

L'eau souterraine est habituellement à l'abri des sources de pollution , l'eau de surface de moins bonne qualité , elle est presque toujours contaminée.

Le tableau 5 donne les éléments caractéristiques des eaux souterraines par rapport aux eaux de surface [15].

Tableau 5 : Principales différences entre eaux souterraines et eaux de surfaces

| Caractéristiques examinées | Eaux de surfaces | Eaux souterraines |
|---|--|---|
| Température | Variable suivant les saisons | Relativement constante |
| Turbidité, MES | Variables, parfois élevées | Faibles ou nulles (sauf en terrains karstiques) |
| Minéralisation (salinité totale) | Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets, etc.... | Sensiblement constante, en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région |
| Fer et manganèse divalents (à l'état dissous) | Généralement absents, sauf au fond des pièces d'eau en état d'eutrophisation | Généralement présents |
| Gaz carbonique agressif | Généralement absent | Souvent présent en grande quantité |
| Oxygène dissous | Souvent au voisinage de la saturation | Absence totale la plupart du temps |
| Ammonium (NH ₄) | Présent seulement dans les eaux polluées | Présence fréquente, sans être un indice systématique de pollution |
| Sulfure d'hydrogène (H ₂ S) | Absent | Souvent présent |
| Silice | Teneur modérée | Teneur souvent élevée |
| Nitrates | Peu abondants en général | Teneur parfois élevée, risques de méthémoglobinémie |
| Micropolluants minéraux et organiques | Souvent présents, mais disparaissent rapidement après suppression de l'origine | Généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps |
| Eléments vivants | Bactéries (dont certaines pathogènes), virus, plancton | Ferro bactéries fréquentes |

3.7 Normes de la qualité de l'eau :

3.7.1 L'utilité des normes :

Les eaux brutes disponibles ne respectent pas toujours les conditions prescrites de potabilité, soit naturellement, soit à cause des phénomènes de pollution.

Alors qu'une eau potable est une eau qui ne porte pas atteinte à la santé du consommateur et ce à court comme à long terme. Pour cela, des directives de la CEE (actuellement l'UE) et de l'OMS ont été instaurées pour protéger le consommateur.

Ces directives sont sous forme de concentration maximale admissible (CMA) et de niveau guide (NV).

Les directives de l'OMS ne sont pas restrictives comparativement aux normes de l'UE qui sont destinées aux pays de la communauté économique européenne, alors que les normes OMS sont beaucoup plus destinées aux pays en voie de développement et tiennent compte des contraintes de ces pays, comme montré sur les tableaux 6, 7 et 8.

Donc l'utilité des normes de potabilité par chaque autorité sanitaire nationale consiste à :

- Identifier les éléments susceptibles de porter atteinte à la santé ou de causer des troubles pour le consommateur.
- Fixer une concentration maximale admissible, qu'il ne faudra pas dépasser dans l'eau et un niveau guide qui correspond à un second niveau de qualité qu'il serait souhaitable d'atteindre [16] .

Tableau 6 : Tableau Comparatif de Normes de l'Eau Potable (CEE et OMS) [42]

| Législation d'origine | Directive C.E.E (31/11/98) | | O.M.S 1993 |
|---|----------------------------|--|---------------|
| | Niveau Guide (NV) | Concentration Maximale Admissible (CMA) | |
| 1/ <u>Facteurs Organoleptiques :</u> | | | |
| - Couleur (mg/l Pt – Co) | 1 | 20 | 15 |
| - Turbidité (NTU) | 0.4 | 4 | 5 |
| - Température (°C) | 12 | 25 | - |
| 2/ <u>Facteurs Physico – Chimiques :</u> | | | |
| - PH | 6.5 à 8.5 | 9.5 | 6.5 à 8.5 |
| - Conductivité (µS/cm) | 400 | 1250 | - |
| - Dureté totale (mg/l) | 35 | - | 500 |
| - Calcium Ca (mg/l) | 100 | - | 75 à 200 |
| - Magnésium Mg (mg/l) | 30 | 50 | 30 à 150 |
| - Sodium Na (mg/l) | 20 | 100 | 200 |
| - Potassium K (mg/l) | 10 | 12 | - |
| - Sulfates SO_4^- (mg/l) | 5 | 250 | 250 |
| - Chlorures Cl^- (mg/l) | 5 | 200 | 250 |
| - Nitrates NO_3^- (mg/l) | 25 | 50 | 25 à 50 |
| - Ammoniaque NH_4^+ (mg/l) | 0.05 | 0.5 | - |

Tableau 7 : Substances chimiques toxiques dans l'eau

(U.E et O.M.S) [42]

| Législation d'origine | Directive U.E 1999 Limites acceptables | O.M.S 1998 Limites acceptables |
|-----------------------|---|-----------------------------------|
| Arsenic As | 10 µg/l | 0.05 mg/l |
| Cyanure CN | 50 µg/l | 100 µg/l |
| Mercure Hg | 1 µg/l | 1 µg/l |
| Cadmium Cd | 5 µg/l | 5 µg/l |
| Plomb Pb | 25 µg/l en (2003) 10 µg/l en (2013) | 50 µg/l |
| Chrome Cr | 50 µg/l | 50 µg/l |
| Antimoine Sb | 10 µg/l | - |
| Selenium Se | 10 µg/l | 10 µg/l |

Tableau 8 : Substances chimiques indésirables dans l'eau

(U.E et O.M.S) [37]

| Législation d'origine | Directive U.E | | O.M.S |
|---------------------------------------|---------------|----------|----------|
| | NG | CMA | NG |
| Nitrates NO ₃ ⁻ | 25 mg/l | 50 mg/l | 10 mg/l |
| Ammonium NH ₄ ⁺ | 0.05 mg/l | 0.5 mg/l | - |
| Fer Fe | 50 µg/l | 200 µg/l | 300 µg/l |
| Manganèse Mn | 20 µg/l | 50 µg/l | 100 µg/l |
| Bore B | 1000 µg/l | - | - |

3.8 Caractéristiques d'une eau potable

3.8.1 Caractéristiques physiques :

Les caractéristiques physiques des eaux souterraines comprennent la turbidité, la couleur, l'odeur, la saveur, la température, le pH, la conductivité et les titres chimiques.

3.8.1.1 Turbidité :

L'eau naturelle peut être limpide ou trouble. La turbidité est déterminée par la présence de particules minérales et organiques en suspension. En règle générale, l'eau limpide ne contient pas de particules en suspension. La turbidité est mesurée par des turbidimètres :

- Soit par la limite de visibilité d'un objet défini (fil de platine ou disque de Secchi) observé sous une certaine hauteur d'eau.
- Soit par comparaison avec des suspensions colloïdales opalescentes.

L'unité de mesure de la turbidité est le NTU qui correspond approximativement à 1mg/l ou 1 ppm de matières en suspension (MeS), à condition que ces matières en suspension soient de nature colloïdale et non sableuse [32].

3.8.1.2 Couleur :

Une eau potable est généralement incolore. Sa mesure consiste à comparer la couleur de l'eau à étudier avec une couleur artificiellement obtenue dans de l'eau distillée par une addition d'une certaine dose de chloroplatinate de potassium (1.245g) et de chlorure de cobalt (1g) cristallisé pour un litre, correspondant arbitrairement à 500 unités.

On prépare d'autres étalons par dilutions que l'on chiffre. On compare l'eau à étudier à ces étalons, le résultat est exprimé en degrés Hazen ou en unités colorimétriques correspondant à 1mg/l de chloroplatinate : $1^\circ \text{Hazen} = 1 \text{ ppm Pt - Co}$

3.8.1.3 Odeur :

Dans la majorité des cas, les eaux souterraines sont inodores. Si elle existe, elle est due à H₂S, odeur disparaissant généralement après aération.

3.8.1.4 Saveur :

Le goût est conditionné par différents corps en solution. Les principaux corps pouvant donner à l'eau une saveur désagréable sont : le fer, le manganèse, et le phénol.

3.8.1.5 Température :

La température de l'eau souterraine dépend de la profondeur du gisement de la couche aquifère, de la latitude géographique, de la présence de foyers volcaniques.

D'après leur température, les eaux sont classées en :

- Très froides jusqu'à + 5°.
- Froides jusqu'à + 10°.
- Douceâtres jusqu'à + 18°.
- Modérément tièdes jusqu'à + 25°.
- Tièdes jusqu'à + 37°.
- Chaudes au dessus de + 40°.

La température de l'eau influe sensiblement sur la quantité des sels et des gaz qui y sont contenus.

Selon la teneur en sels, la densité maximum de l'eau s'observe à des températures différentes. L'eau douce a une densité maximum à + 4°C et l'eau des mers qui contient jusqu'à 2% de sel, a une densité maximum à une température inférieure à 0°C[8].

3.8.1.6 pH (potentiel hydrogène) :

Le pH est un des paramètres importants influençant la tendance entartrante ou agressive d'une eau naturelle, d'une manière générale une baisse du pH favorisera la tendance agressive et une élévation du pH, le caractère entartrant.

3.8.1.7 Conductivité :

Elle dépend de la concentration en sels dissous conducteurs, sa mesure est très utile pour le suivi dans le temps d'une même eau, permettant de déceler immédiatement une variation de sa composition. Il est indispensable de préciser la température de référence à laquelle se rapporte la mesure, la conductivité augmente avec la température. L'unité de mesure est le $\mu\text{S}/\text{cm}$.

3.8.2 Caractéristiques chimiques :

3.8.2.1 La minéralisation :

La minéralisation de l'eau s'exprime par la somme des éléments et des combinaisons chimiques qu'elle contient. Elle est mesurée par le résidu sec ou compact qui s'obtient après évaporation de l'eau à la température de +105 à 110°C.

D'après la quantité de résidu sec, les eaux sont classées en douces, contenant jusqu'à 1g/l de sels, faiblement salées 1 à 5g/l, saumâtres 5 à 10g/l, salées 10 à 50g/l et saumures à partir de 50g/l et au -dessus.

Les composantes chimiques principales qui se trouvent habituellement dans les eaux souterraines, sont les ions chlore (Cl^-), sulfates (SO_4^{--}), hydrocarbonate et carbonate (HCO_3^- et CO_3^{--}), ainsi les ions des métaux alcalins et alcalino – terreux et des oxydes : de sodium, calcium et magnésium, de fer et de SiO_2 (à l'état colloïdal).

L'eau peut contenir des gaz en dissolution : gaz carbonique, hydrogène sulfuré, méthane et autres.

Des combinaisons d'azote présentes parfois dans les eaux souterraines ont une grande importance. Ce sont des ions nitrites (NO_2^-), nitrates (NO_3^-) et ammoniacques (NH_4^+).

3.8.2.1.1 Sels dissous :

Suite à son ruissellement ou son infiltration, l'eau rencontre et dissout la roche.

La présence du sel en solution dans l'eau, produit une dissociation de ses éléments constitutifs en libérant des ions classés en cations et anions.

3.8.2.1.2 Les cations :

- **Calcium : (Ca^{++})**

Les eaux souterraines renferment en abondance cet élément qui est responsable de la dureté de l'eau.

Le calcium se trouve en grande partie à l'état de bicarbonates et à un degré moindre, sous forme de chlorures et de sulfates. La concentration admissible du calcium dans une eau potable est de 100 mg/l pour les normes CEE et de 75 à 200 mg/l pour l'OMS, voir tableau 6. Une eau contenant une quantité supérieure à 200 mg/l pose le problème d'entartrage dans les circuits de chauffage et de refroidissement.

- **Magnésium : (Mg^{++})**

Le magnésium est aussi un élément responsable de la dureté de l'eau. La concentration admissible du magnésium dans une eau potable est de 30 à 50 mg/l pour les normes de la CEE et de 30 à 150 mg/l pour l'OMS, si l'eau contient en même temps plus de 250 mg/l de sulfates. Les sels de magnésium ont un effet laxatif sur l'organisme.

Sa présence en grande quantité dans l'eau, provoque des incrustations sur les chaudières et canalisations.

- **Sodium et Potassium : (Na^+ - K^+)**

Ils sont plus rares que le calcium et le magnésium dans les eaux ordinaires. Le sodium est plus fréquent que le potassium, mais les concentrations peuvent être extrêmement variables. La concentration admissible du sodium dans une eau potable est de 20 à 100 mg/l pour les normes de la CEE et de 200 mg/l pour l'OMS. La quantité du sodium dans l'eau doit être reliée à la teneur en sulfates et chlorures à cause du goût et de l'effet laxatif.

3.8.2.1.3 Les anions :

- **Carbonates et bicarbonates :**

L'alcalinité d'une eau est due essentiellement aux carbonates (CO_3^{--}) et hydrogénocarbonates (HCO_3^-). Leur origine peut être les eaux de pluie qui se saturent en CO_2 et alimentant les nappes souterraines, ou la présence de roches sédimentaires chimiques, calcaires ($CaCO_3$) et dolomies [$(CaMg) (CO_3)_2$]. Les bicarbonates sont aussi responsables du phénomène d'entartrage.

- **Sulfates : (SO_4^{--})**

L'origine des sulfates dans une eau souterraine est due en général à la présence du gypse et sa dissolution. Les eaux contenant des sulfates par dissolution du gypse sont appelées eaux séléniteuses (qui contiennent des sulfates de calcium $CaSO_4$).

La concentration admissible des sulfates dans une eau potable est de 5 à 250 mg/l pour les normes de la CEE et de 200 à 400 mg/l pour l'OMS. Une eau sulfatée a un goût désagréable, les ions sulfates augmentent la conductivité électrique de l'eau et donc sa corrosivité.

- **Chlorures : (Cl)**

L'origine des chlorures peut provenir de la dissolution d'un massif de sel gemme ou suite à une intrusion marine. La concentration admissible des chlorures dans une eau potable est de 5 à 200 mg/l pour les normes de la CEE et de 200 à 600 mg/l pour l'OMS. Une eau chlorurée a un goût désagréable, surtout lorsqu'il s'agit de chlorures de sodium.

- **Nitrates et Nitrites : (NO₃⁻ et NO₂⁻)**

Une présence des nitrates et des nitrites dans l'eau d'une nappe est signe de pollution, suite à l'utilisation intensive des engrais chimiques. La concentration admissible des nitrates dans une eau potable est de 25 à 50 mg/l pour les normes de la CEE et de l'OMS.

3.8.2.1.4 Gaz dissous :

Les principaux gaz dissous qu'on peut rencontrer dans l'eau sont l'oxygène et le gaz carbonique.

- **Oxygène : (O₂)**

L'oxygène dissous est lié aux activités biologiques se développant dans l'eau.

L'origine de l'oxygène dissous peut être aussi en fonction de la nature de l'eau.

Les eaux superficielles peuvent en contenir des quantités relativement importantes.

- **Gaz carbonique : (CO₂)**

L'origine du gaz carbonique est le plus souvent due à l'activité intense des bactéries des terrains traversés par l'eau ou des bactéries de l'eau elle-même. Le CO₂ dissous intervient dans le goût de l'eau et surtout comme élément majeur du système calcocarbonique qui joue un rôle essentiel dans l'équilibre physico chimique de l'eau.

3.8.2.2 Titres chimiques : TA et TAC :

(Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet) ces deux valeurs permettent de connaître les concentrations en bicarbonates, carbonates et éventuellement en hydroxydes contenus dans l'eau. Le TA et le TAC s'expriment généralement en degré français (°F).

- **TH**:

(Titre hydrotimétrique) il indique la teneur globale en sel de calcium et de magnésium qui sont responsables de la dureté de l'eau, dans la plupart des eaux naturelles le calcium contribue au TH dans la proportion de 70 à 90 %.

Le TH temporaire : ou dureté carbonatée correspond aux carbonates et bicarbonates de calcium susceptibles de précipiter par ébullition.

Le TH permanent : ou dureté non carbonatée correspond au sulfate et au chlorure de calcium stables.

La dureté exprimée en degré français donne le classement suivant des eaux : [32]

- 0 à 7° : eau très douce.
- 7 à 14° : eau douce.
- 14 à 20° : moyennement dure.
- 20 à 30° : assez dure.
- 30 à 50° : eau dure.

3.8.3 Caractéristiques bactériologiques :

L'eau d'alimentation doit être exempte de polluants biologiques (bactéries et germes pathogènes).

Les germes tests à rechercher sont les suivants :

- Le B. Coli ou Escherichia Coli.
- L'entérocoque.
- Les clostridium sulfitoréducteurs.
- Les bactériophages fécaux.

Tous ces germes sont d'origine fécale.

L'eau est classée suivant la teneur en colibacilles : [8]

- Excessivement pure, si une bactérie se trouve dans 500 – 750cm³.
- Pure, si une bactérie se trouve dans 350 – 500cm³.
- Suspecte, si une bactérie se trouve dans 200 – 300cm³.

- Douteuse, si une bactérie se trouve dans 180 – 200cm³.
- Impure, si une bactérie se trouve dans 50 – 100cm³.
- Très impure et inutilisable, si une bactérie se trouve dans 25 – 50cm³.

3.8.4 Analyse chimique de l'eau :

3.8.4.1 Représentation de l'analyse chimique de l'eau :

les résultats de l'analyse chimique de l'eau sont parfois représentés graphiquement sous forme d'un diagramme triangulaire. Les diagrammes triangulaires sont tracés séparément pour les anions (Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-) et les cations (Na^+ , K^+ , Ca^{++} et Mg^{++}). Sur chaque côté du triangle sont portés les pour cent équivalents des composantes indiquées. Le résultat de l'analyse chimique de l'eau sera donc représenté par un point, ce qui indiquera le type de l'eau.

Dans plusieurs autres pays d'Europe, pour représenter la composition chimique des eaux souterraines on utilise un diagramme logarithmique.

Le diagramme logarithmique a été mis au point par H.Schoeller en 1935, revu par E.Berkaloff entre 1938 et 1952 puis adapté à la France par le B.R.G.M.

De format 21x27 ce diagramme est composé : De 7 échelles logarithmiques principales équidistantes correspondant aux principaux ions dosés : cations Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ et Na^+ ; anions Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- exprimés en mg/l. L'échelle TH est graduée en degré hydrotimétrique français. L'échelle PH est une échelle arithmétique décroissante de haut en bas, dont le point 6.83 est situé sur la droite AA' prise comme origine des ordonnées du diagramme[48].

CHAPITRE 4
METHODES,
RESULTATS ET DISCUSSIONS
DES ANALYSES

Chapitre 4

4.1 Méthodes d'analyses :

4.1.1 Introduction :

L'objectif de ce chapitre est de présenter les méthodes analytiques ayant servies au cours de notre expérimentation.

4.2 Prélèvement et mode d'échantillonnage :

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, afin d'éviter certaines modifications des caractéristiques physico chimiques de l'échantillon à analyser. L'échantillon doit être homogène.

Les échantillons ont été prélevés à partir de six forages distincts.

Les prélèvements ont été fait dans des bouteilles en plastique de 1L, préalablement lavées et rincées avec de l'eau à analyser. Les renseignements suivants ont été portés sur chaque bouteille :

- N° du forage
- Date et heure de prélèvement.
- Température de l'eau à l'émergence.
- Température atmosphérique.
- Débit approximatif.
- Profondeur et épaisseur de la nappe.
- Nature géologique de la nappe.
- Aspect du milieu naturel.

Les échantillons ont été conservés à 4°C.

4.3 Mesure des caractéristiques physiques

- Température :

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. Celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz et dans la dissociation des sels dissous, donc sur la conductivité. La mesure est effectuée à 2 reprises

(avec un thermomètre à mercure), sur place juste après le prélèvement des échantillons et au moment de la mesure de la conductivité.

- **pH** :

Pour la détermination du pH de l'eau à analyser, on a eu recours à la méthode électrométrique, l'appareil étant préalablement étalonné.

- **Conductivité** :

Le matériel utilisé est le conductimètre portable pour mesurer la conductivité électrique et permet également la mesure de la température. L'appareil est muni d'une électrode pour la conductivité et d'un thermomètre à résistance pour la température. Mesure directe. Rincer plusieurs fois l'électrode avec de l'eau distillée, puis on la plonge dans un récipient contenant de l'eau à analyser en prenant soin que l'électrode soit complètement immergée. Agiter, cette agitation permet d'éliminer les bulles d'air sur l'électrode, tout en mesurant la température de l'eau qui ne devra en aucun cas varier au cours de la mesure de la conductivité.

4.4 Analyses chimiques :

4.4.1 Dosage des ions :

Les ions ont été dosés séparément par photométrie, voir annexe B du photomètre à filtre utilisé. C'est une méthode instrumentale très spécifique qui élimine la nécessité de préparer de nombreux réactifs et qui dose les cations (Mg^{++} , Ca^{++} , K^+ , Na^+) et les anions (Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , CO_3^{--}).

4.4.1.1 Dosage de sodium et potassium : Na^+ et K^+

Les éléments Na^+ et K^+ sont dosés par spectrophotométrie de flamme. C'est une méthode très simple. La solution à doser est pulvérisée au sein d'une flamme, les ions Na^+ et K^+ émettent chacun une radiation caractéristique. Son principe repose sur l'établissement d'une courbe d'étalonnage pour chaque élément à doser, à partir de la courbe d'étalonnage on détermine les concentrations de Na^+ et K^+ .

Les solutions étalons pour le Na^+ sont préparées en diluant une solution mère de 100g/l de NaCl, pour K^+ les solutions étalons sont préparées en diluant une solution mère de 1g/l de KCl. Les résultats en mg/l sont lus directement sur les courbes d'étalonnage.

4.4.1.2 Dosage des chlorures : Cl^-

- **Principe** :

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent

en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

- **Réactifs :**

- Acide nitrique pur.
- Carbonate de calcium pur.
- Solution de chromate de potassium à 10 %.
- Solution de nitrate d'argent 0,1 N.

- **Mode opératoire :**

Introduire 100 ml d'eau à analyser, préalablement filtrée, dans une fiole conique de 250 ml. Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur puis une pincée de carbonate de chaux et 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10 %.

Verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 minutes.

Soit V le nombre de millilitres de nitrate d'argent 0,1 N utilisés.

- **Expression des résultats :**

Pour une prise d'essai de 100 ml :

$V \times 10 \times 3,55$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de Cl^- par litre d'eau.

$V \times 10 \times 5,85$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de Na Cl^- par litre d'eau.

4.4.1.3 Dosage des carbonates et des bicarbonates : CO_3^{2-} et HCO_3^-

- **Méthode titrimétrique:**

Les carbonates et les bicarbonates sont dosés par l'acide chlorhydrique en présence d'indicateurs colorés.

- Réactifs :

- HCL 0,02 N.
- Solution de phénolphtaléine.
- Solution méthylorange.
- Eau distillée.

- **Mode opératoire :**

Prélever 100 ml d'eau à analyser, ajouter 1 à 2 gouttes de phénolphtaléine.

Une coloration rose doit alors se développer, dans le cas contraire absence de carbonates. Ajouter à l'échantillon un volume V de HCL, en agitant constamment (PH = 8.3).

Pour la détermination des bicarbonates, on utilise l'échantillon traité précédemment en ajoutant 2 gouttes de méthylorange et titrer de nouveau avec l'acide chlorhydrique jusqu'au virage du jaune au jaune orangé (PH = 4). Soit V' le volume versé depuis le début du dosage.

- **Expression des résultats :**

* $\frac{V}{5}$ exprime le titre alcalimétrique en mEq/l (TA = CO₃²⁻).

* $\frac{V'-0.5}{5}$ exprime le titre alcalimétrique complet en mEq/l
(TAC = CO₃²⁻ + HCO₃⁻).

Pour les Soviétiques le dosage des ions Ca⁺⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, ainsi que la détermination de la dureté totale sont faits au moyen de l'analyse volumétrique.

La teneur en ions Mg⁺⁺ a été déterminée par calcul à partir de la dureté totale.

La détermination de Na⁺ et K⁺ a été faite par la différence entre la somme des anions et la somme des cations [46].

4.5 Présentation des résultats des analyses chimiques des eaux :

Tous les résultats des analyses chimiques portant sur la détermination du Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, conductivité électrique, PH et température, des années 1970 et 2002 sont représentés sur le tableau 9.

Tableau 9 : Tableau récapitulatif des analyses 1970 et 2002

| N° Forage | 1970 | | | | | | 2002 | | | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| | F 42 | F 300 | F 301 | F 302 | F 309 | F 310 | F 42 | F 300 | F 301 | F 302 | F 309 | F 310 |
| Profondeur (m) | 375 | 260 | 618 | 180 | 252.7 | 132 | 375 | 260 | 618 | 180 | 252.7 | 132 |
| Débit (l/s) | 49.5 | 150 | 23 | 100 | 150 | 140 | 30 | 22 | 02 | 20 | 22 | 22 |
| T °C | 27.5 | 27.5 | 28.5 | 26 | 24 | 28 | 26 | 25 | 26 | 25.5 | 24 | 26 |
| PH | 8.1 | 8.2 | 8.4 | 8.3 | 8 | 7.9 | 7.5 | 7.56 | 7.35 | 7.5 | 7.5 | 7.43 |
| Conductivité (mS/cm) | | | | | | | 1.409 à 21.8 | 1.441 à 21.8 | 1.622 à 21.8 | 1.480 à 22 | 1.470 à 21.9 | 1.474 à 21.9 |
| HCO ₃ ⁻ mg/l | 335.5 | 282.4 | 372.1 | 350.8 | 416.6 | 327 | 144 | 134 | 125 | 138 | 140 | 140 |
| Cl ⁻ mg/l | 248.5 | 288.3 | 295.7 | 298.2 | 288.3 | 273.7 | 268.5 | 258.5 | 296.1 | 265 | 253 | 264.5 |
| SO ₄ ⁻ mg/l | 61.4 | 177.1 | 598.1 | 88.3 | 22.1 | 443 | 91 | 82 | 105 | 73 | 81 | 65 |
| Ca ⁺⁺ mg/l | 69.7 | 83 | 83 | 82.8 | 73.8 | 101.4 | 106 | 107 | 84 | 65 | 34 | 56 |
| Mg ⁺⁺ mg/l | 53.4 | 28.1 | 117.8 | 44.8 | 78.6 | 92.6 | 62.4 | 50.9 | 54.7 | 55.1 | 53.3 | 54.3 |
| K ⁺ , Na ⁺ mg/l | 136.2 | 229.5 | 300.2 | 187.9 | 121 | 221 | 50.35 | 60.46 | 121.38 | 109.54 | 131.96 | 125.74 |

4.5.1 Unités chimiques employées dans les analyses des eaux :

L'unité internationale la plus utilisée est le milliéquivalent/litre. Elle correspond, comme son nom l'indique à 1/1000 équivalent gramme par litre.

L'équivalent gramme est le résultat du quotient de la masse moléculaire par la valence.

Les autres unités usuelles sont :

- Le degré français = 1/5 du mEq/l.
- Le degré allemand = 1,8 ° français et par conséquent à 0,36 mEq/l.
- Le ppm = 1/10 du degré français ou 1/50 du milliéquivalent.
- Le microgramme : utilisé pour la mesure des traces, il est officiellement agréé en France

Tableau 10 : Facteurs de conversion des milligrammes en milliéquivalents [55]

| <u>Anions</u> | Facteurs de conversion des mg/l en mEq | Cations | Facteurs de conversion des mg/l en mEq |
|--|---|----------------------------|---|
| Hydrogénocarbonate HCO_3^- | 0.0164 | Calcium Ca^{++} | 0.0499 |
| Carbonate CO_3^{--} | 0.0333 | Magnésium Mg^{++} | 0.0822 |
| Chlorure Cl^- | 0.0282 | Potassium K^+ | 0.0256 |
| Sulfate SO_4^- | 0.0208 | Sodium Na^+ | 0.0435 |
| Nitrate NO_3^- | 0.0161 | Plomb Pb^{++} | 0.0096 |

Les équivalents des ions analysés peuvent aussi être exprimés en centièmes de la somme des anions et des cations en adoptant la valeur de 50 % pour chaque somme des anions et des cations comme dans les tableaux 11 et 12.

Tableau 11 : Résultats des analyses 1970 et 2002 exprimés en milliéquivalent et en pour cent milliéquivalent

| N° Forage | Cations | mEq/l | % mEq/l | Anions | mEq/l | % mEq/l | N° Forage | Cations | mEq/l | % mEq/l | Anions | mEq/l | % mEq/l |
|---------------|--|---|---|---|---|---|---------------|--|--|---|---|--|---|
| Analyses 1970 | | | | | | | Analyses 2002 | | | | | | |
| F 42 | Na ⁺ , K ⁺ Mg ⁺⁺ Ca ⁺⁺ Total : | 5.924 4.389 3.478 13.791 | 21.483 15.915 12.611 50.009 | Cl ⁻ SO ₄ ⁻⁻ HCO ₃ ⁻ Total : | 7.007 1.277 5.502 13.786 | 25.408 4.631 19.952 49.991 | F 42 | Na ⁺ , K ⁺ Mg ⁺⁺ Ca ⁺⁺ Total : | 2.128 5.129 5.289 12.546 | 8.732 21.046 21.703 51.481 | Cl ⁻ SO ₄ ⁻⁻ HCO ₃ ⁻ Total : | 7.571 1.892 2.361 11.824 | 31.067 7.764 9.688 48.519 |
| F 300 | Na ⁺ , K ⁺ Mg ⁺⁺ Ca ⁺⁺ Total : | 9.983 2.309 4.141 16.433 | 30.365 7.023 12.595 49.983 | Cl ⁻ SO ₄ ⁻⁻ HCO ₃ ⁻ Total : | 8.130 3.683 4.631 16.444 | 24.729 11.202 14.086 50.017 | F 300 | Na ⁺ , K ⁺ Mg ⁺⁺ Ca ⁺⁺ Total : | 2.573 4.184 5.339 12.096 | 11.049 17.967 22.927 51.943 | Cl ⁻ SO ₄ ⁻⁻ HCO ₃ ⁻ Total : | 7.289 1.705 2.197 11.191 | 31.301 7.322 9.434 48.057 |
| F 301 | Na ⁺ , K ⁺ Mg ⁺⁺ Ca ⁺⁺ Total : | 13.058 9.683 4.141 26.882 | 24.288 18.011 7.702 50.001 | Cl ⁻ SO ₄ ⁻⁻ HCO ₃ ⁻ Total : | 8.338 12.440 6.102 26.880 | 15.509 23.140 11.350 49.999 | F 301 | Na ⁺ , K ⁺ Mg ⁺⁺ Ca ⁺⁺ Total : | 5.227 4.496 4.191 13.914 | 19.726 16.967 15.816 52.509 | Cl ⁻ SO ₄ ⁻⁻ HCO ₃ ⁻ Total : | 8.350 2.184 2.050 12.584 | 31.512 8.242 7.737 47.491 |

Tableau12: Résultats des analyses 1970 et 2002 exprimés en milliéquivalent et en pour cent milliéquivalent(suite)

| N° Forage | Cations | mEq/l | % mEq/l | Anions | mEq/l | % mEq/l | N° Forage | Cations | mEq/l | % mEq/l | Anions | mEq/l | % mEq/l |
|-----------|----------------------------------|---------------|---------------|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------------------------|---------------|---------------|-------------------------------|---------------|---------------|
| | | | | | | | Analyses 2002 | | | | | | |
| F 302 | Na ⁺ , K ⁺ | 8.173 | 25.553 | Cl ⁻ | 8.409 | 26.291 | F 302 | Na ⁺ , K ⁺ | 4.696 | 19.796 | Cl ⁻ | 7.473 | 31.502 |
| | Mg ⁺⁺ | 3.682 | 11.512 | SO ₄ ⁻⁻ | 1.836 | 5.741 | | Mg ⁺⁺ | 4.529 | 19.092 | SO ₄ ⁻⁻ | 1.518 | 6.399 |
| | Ca ⁺⁺ | 4.131 | 12.916 | HCO ₃ ⁻ | 5.753 | 17.987 | | Ca ⁺⁺ | 3.243 | 13.671 | HCO ₃ | 2.263 | 9.540 |
| | Total : | 15.986 | 49.981 | Total : | 15.998 | 50.019 | | Total : | 12.468 | 52.559 | Total : | 11.254 | 47.441 |
| F 309 | Na ⁺ , K ⁺ | 5.263 | 17.073 | Cl ⁻ | 8.130 | 26.374 | F 309 | Na ⁺ , K ⁺ | 5.685 | 24.851 | Cl ⁻ | 7.134 | 31.186 |
| | Mg ⁺⁺ | 6.460 | 20.956 | SO ₄ ⁻⁻ | 0.459 | 1.489 | | Mg ⁺⁺ | 4.381 | 19.151 | SO ₄ ⁻⁻ | 1.684 | 7.361 |
| | Ca ⁺⁺ | 3.682 | 11.945 | HCO ₃ ⁻ | 6.832 | 22.163 | | Ca ⁺⁺ | 1.696 | 7.414 | HCO ₃ | 2.296 | 10.037 |
| | Total : | 15.405 | 49.974 | Total : | 15.421 | 50.026 | | Total : | 11.762 | 51.416 | Total : | 11.114 | 48.584 |
| F 310 | Na ⁺ , K ⁺ | 9.613 | 21.565 | Cl ⁻ | 7.718 | 17.314 | F 310 | Na ⁺ , K ⁺ | 5.408 | 22.750 | Cl ⁻ | 7.458 | 31.374 |
| | Mg ⁺⁺ | 7.611 | 17.074 | SO ₄ ⁻⁻ | 9.214 | 20.670 | | Mg ⁺⁺ | 4.463 | 18.775 | SO ₄ ⁻⁻ | 1.352 | 5.688 |
| | Ca ⁺⁺ | 5.059 | 11.349 | HCO ₃ ⁻ | 5.362 | 12.028 | | Ca ⁺⁺ | 2.794 | 11.754 | HCO ₃ ⁻ | 2.296 | 9.659 |
| | Total : | 22.283 | 49.988 | Total : | 22.294 | 50.012 | | Total : | 12.665 | 53.279 | Total : | 11.106 | 46.721 |

4.5.2 Faciès chimiques :

Les eaux analysées présentent une conductivité allant de 1.409 à 1.622 mS/cm, un pH de 7.35 à 7.56 et une concentration totale en ions variant de 692 mg/l à 786.18 mg/l.

Les représentations graphiques des analyses permettent des comparaisons plus rapides et plus simples, parmi celle-ci notre choix s'est porté sur la classification de Schoeller, qui détermine la potabilité d'une eau ; et le diagramme triangulaire qui indique le type de l'eau.

4.5.2.1 Diagramme logarithmique de Schoeller :

Les concentrations des éléments en milligrammes par litre et la dureté totale ont été reportés sur les diagrammes présentés sur les figures 6 et 7 pour les analyses des années 1970 et 2002. Les courbes obtenues nous ont permis de s'assurer que l'eau des six forages est potable.

4.5.2.2 Diagramme triangulaire :

En portant sur chaque côté du triangle les pour cent des composantes indiquées, on obtient des nuages de points figuratifs des anions et des cations comme sur les figures 8 et 9 pour les analyses des années 1970 et 2002. Les points montrent que :

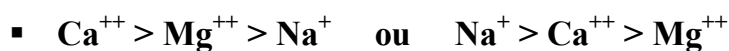
- La composition anionique : les eaux de la nappe sont à chlorures dominants tels que :



La teneur en chlorures est supérieure à 50 %, elle varie de 53 à 57 %, la teneur des sulfates varie de 17 à 19 % et celle des bicarbonates varie de 23 à 29 %.

- La composition cationique : le pourcentage du calcium varie de 24 à 49 %, la teneur en sodium de 21 à 60 %, le magnésium varie de 21 à 29 %; le potassium est très faible, il ne dépasse jamais 1 %.

Une partie est à calcium dominant, l'autre à sodium dominant.



L'observation montre que les eaux de la nappe sont chlorurées calciques et parfois chlorurées sodiques.

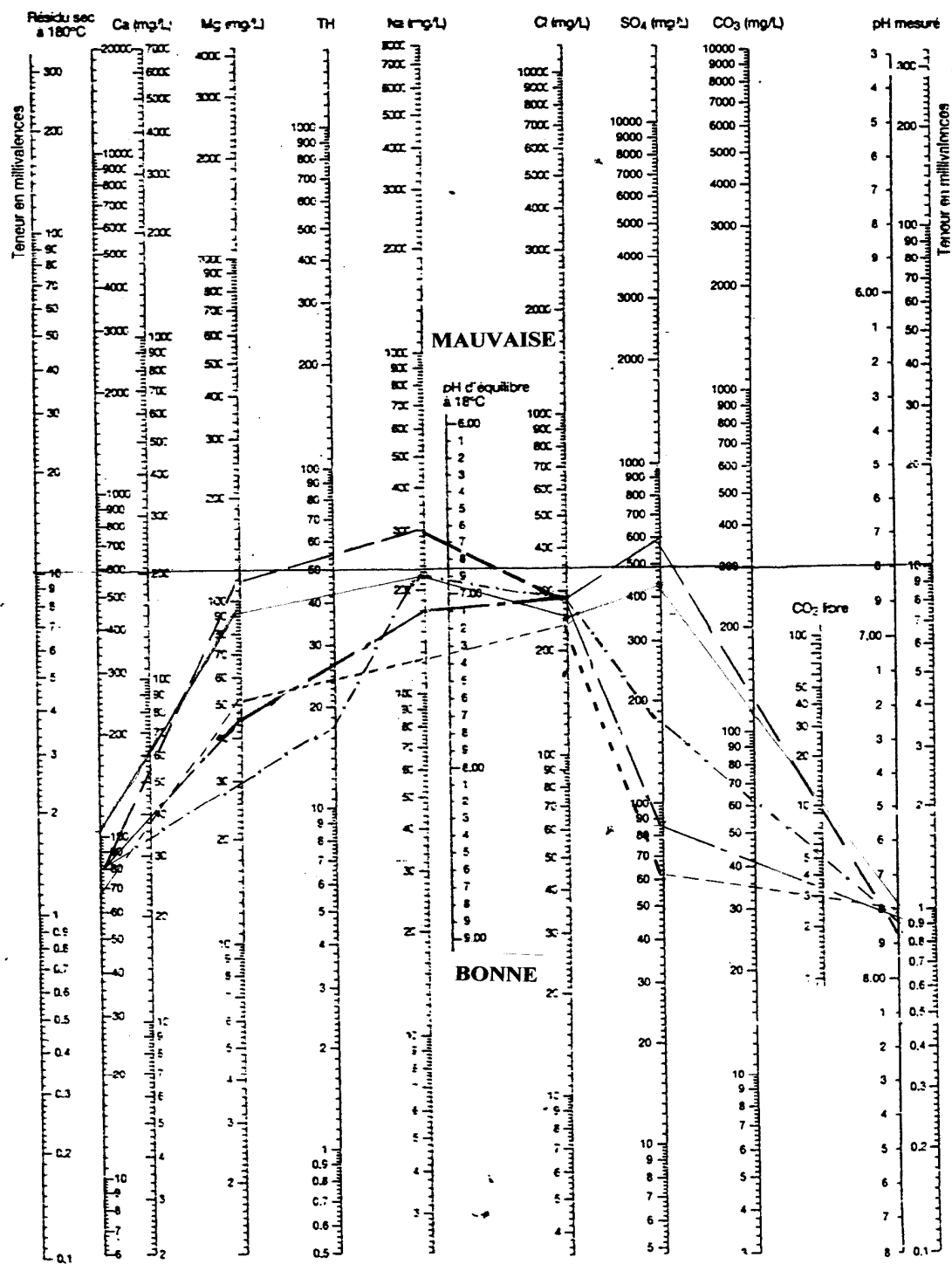
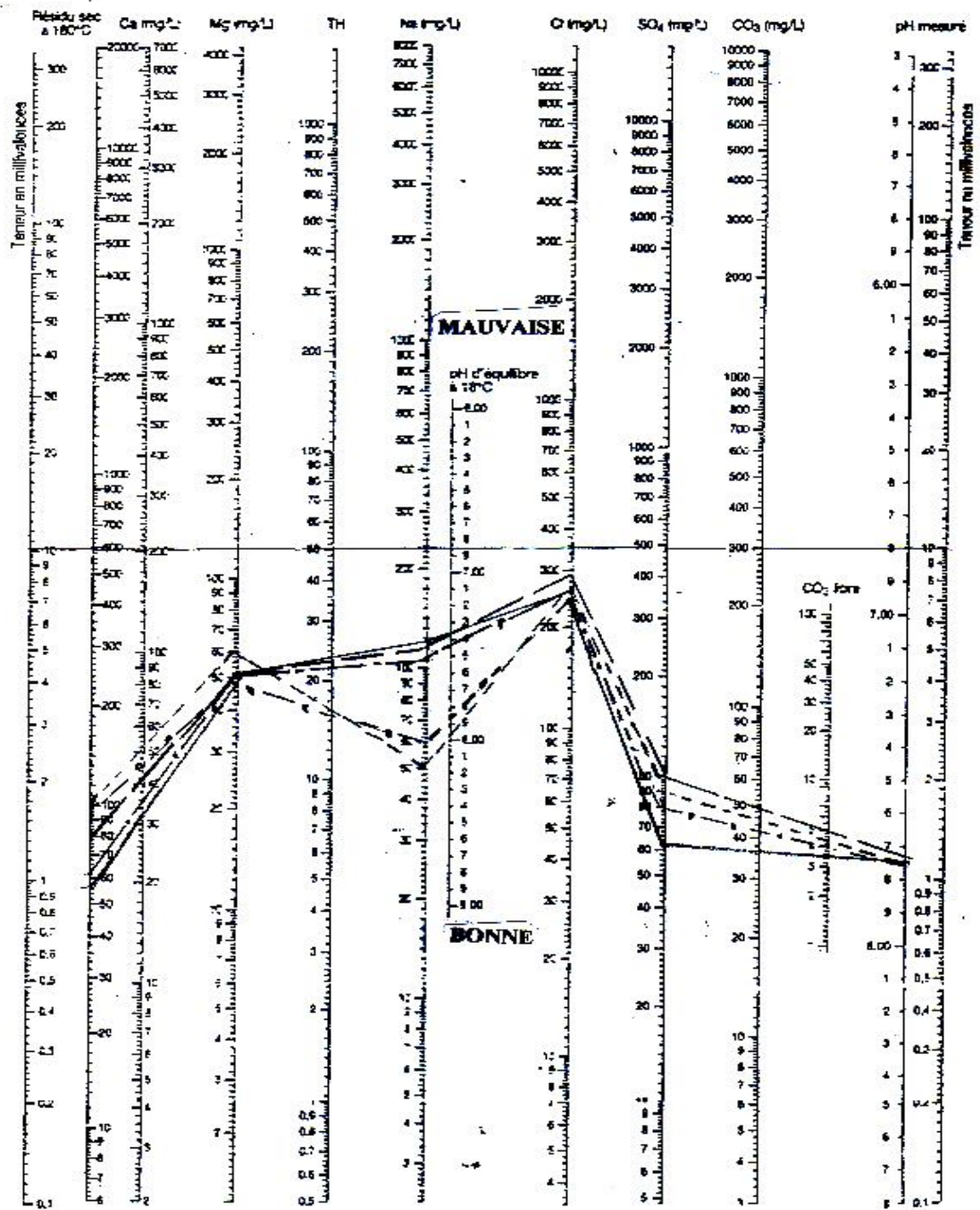


Figure 6 : Diagramme logarithmique de Schoeller analyses 1970



Légende :

- | | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| --- | F 42 | --- | F 300 |
| — | F 301 | — · — | F 302 |
| - · - | F 309 | — | F 310 |

Figure 7 : Diagramme logarithmique de Schoeller analyses 2002

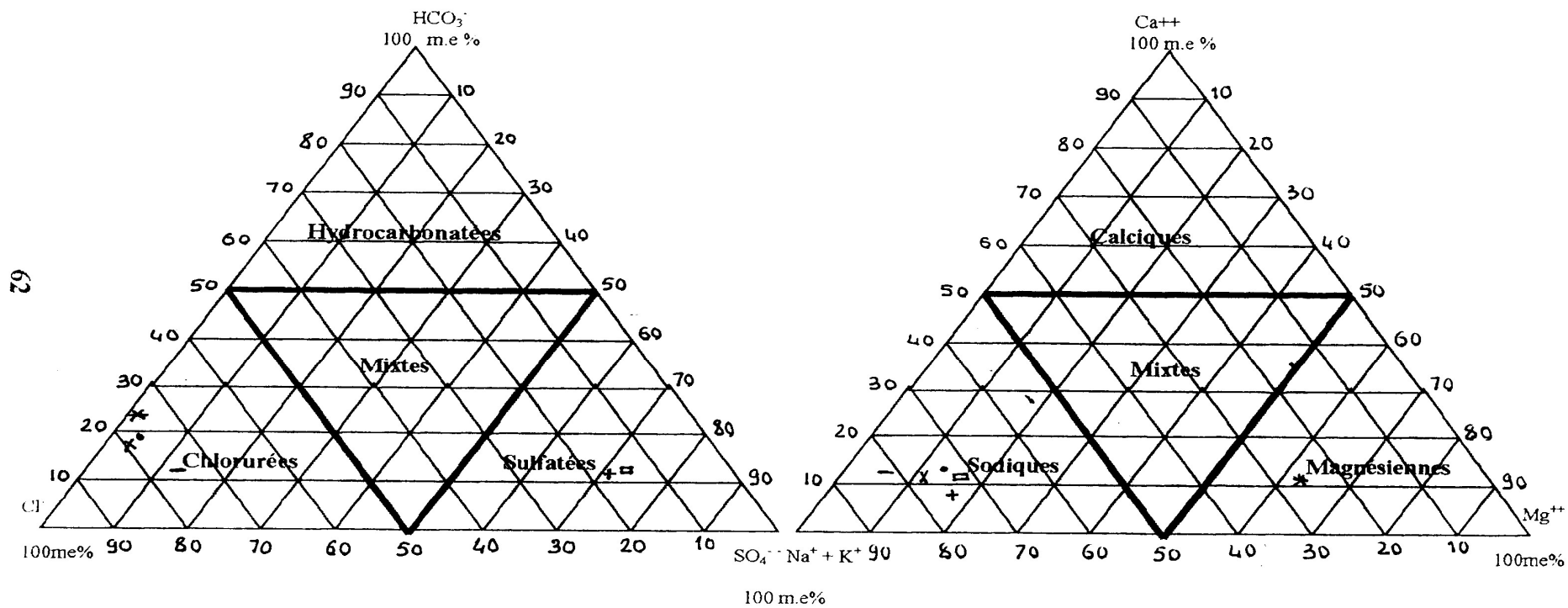


Figure 8 : Diagrammes triangulaires analyses 1970

• F 42
 - F 300
 + F 301

x F 302
 * F 309
 □ F 310

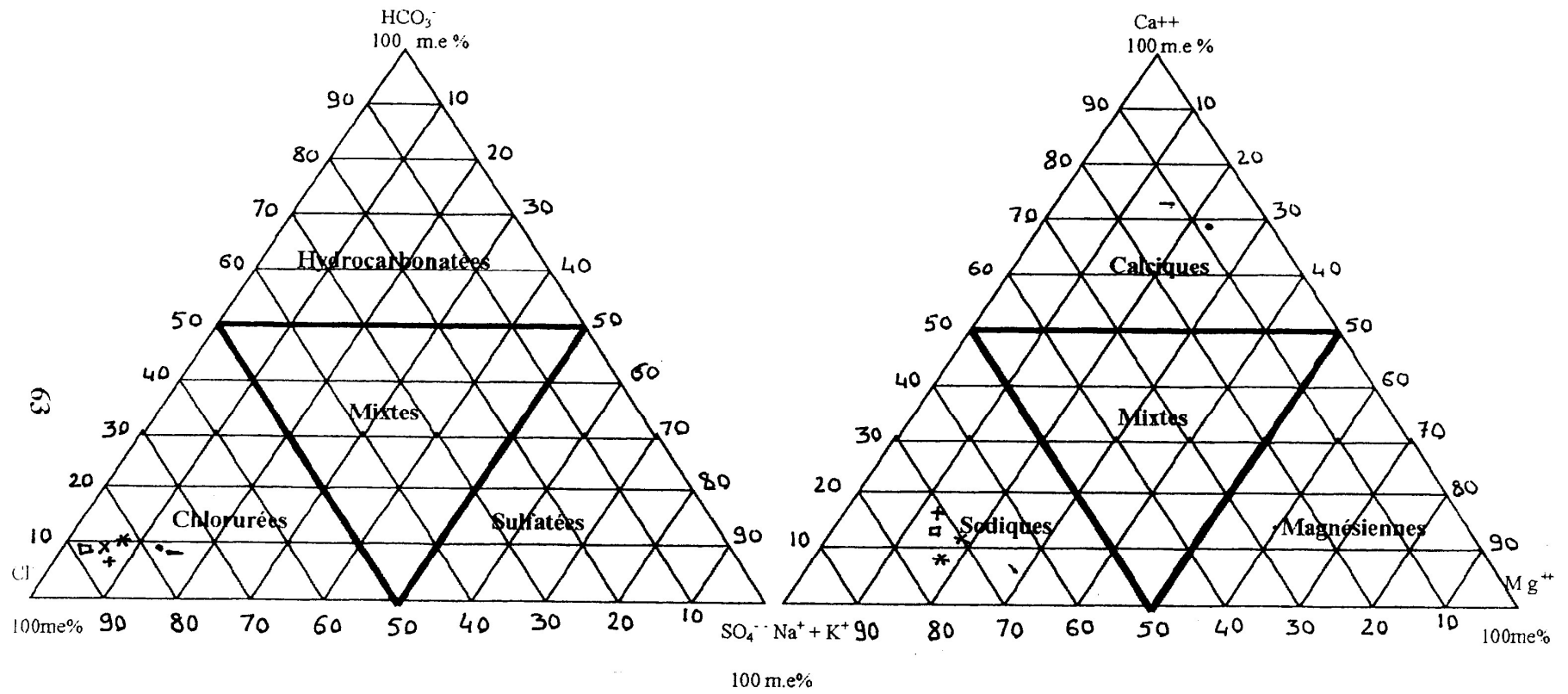


Figure 9 : Diagrammes triangulaires analyses 2002

- F 42
- F 300
- + F 301

- x F 302
- * F 309
- F 310

Remarque :

Les eaux naturelles ayant un PH généralement inférieur à 8.5, la quantité de carbonates est le plus souvent négligeable.

4.5.3 Irrigation :

Vu que l'eau des forages en question est destinée aussi à l'irrigation du périmètre N° 5, il est nécessaire de connaître son influence sur les terres irrigables du point de vue salinité à cause de certains végétaux qui tolèrent mal une salinité supérieure à 2 g/l et le risque d'alcalinisation. Une terre à forte proportion de calcium ou de magnésium présente une bonne perméabilité et se travaille bien, la même terre devient dure, lisse, peu perméable et ne convient pas à la végétation si elle reçoit du sodium. Pour cela il faut connaître le rapport d'adsorption du sodium SAR (Sodium Adsorption Ratio) [32].

$$\mathbf{SAR} = \mathbf{Na} / \sqrt{(\mathbf{Ca} + \mathbf{Mg})/2}$$

Les concentrations sont exprimées en meq / l.

D'après cette méthode la classification des eaux est la suivante :

- SAR < 10 faible quantité de sodium, eau ne présentant aucun problème pour l'agriculture.
- 10 < SAR < 18 peu de sodium , l'eau présente un léger danger par rapport à la structure du sol.
- 18 < SAR < 26 quantité élevée de sodium, l'eau présente un danger par rapport à la structure du sol.
- SAR > 30 eau impropre à l'irrigation.

Les résultats du SAR de l'eau des six forages en question, sont représentés sur le tableau 13.

Tableau 13 : Rapport d'adsorption du sodium SAR

| N° Forage | SAR 2002 |
|------------------|-----------------|
| 42 | 0.93 |
| 300 | 1.17 |
| 301 | 2.50 |
| 302 | 2.38 |
| 309 | 3.26 |
| 310 | 2.84 |

Ces résultats nous permettent de conclure que cette eau peut être utilisée sans problème pour l'irrigation.

Du point de vue potabilité et irrigation l'eau analysée répond aux normes, mais du point de vue utilisation dans l'industrie, elle présente une certaine dureté qui peut être source de problèmes comme l'entartrage. Pour cela cette eau a besoin d'un traitement par adoucissement.

4.6 Adoucissement :

Les eaux naturelles contiennent toujours des sels dissous qui leur confèrent certaines de leurs propriétés. Souvent ces sels entraînent des conséquences gênantes comme une dureté excessive.

La dureté totale d'une eau se compose de la dureté carbonatée appelée aussi dureté temporaire et de la dureté non carbonatée appelée dureté permanente.

Les carbonates et les bicarbonates de calcium et magnésium forment la dureté carbonatée, se précipitent sous l'influence de la chaleur et se déposent en formant le tartre sur les parois des appareils et des canalisations.

La dureté carbonatée est dite temporaire, car elle est éliminée par ébullition de l'eau



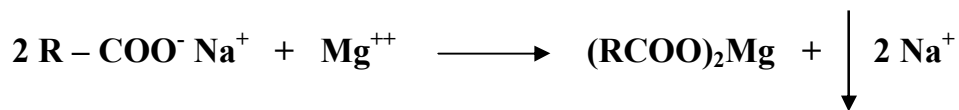
Les chlorures, les sulfates, les nitrates de calcium et magnésium forment la dureté permanente.

Une eau à TH (titre hydrotimétrique) élevé est dite dure. Les sels de calcium et magnésium s'opposent à la cuisson convenable d'une part, entraînent la formation du tartre dans les chaudières d'autre part. Une eau dure mousse difficilement et nécessite une consommation excessive de savon.

Les savons sont des sels de Sodium d'acide gras (acide organique a longue chaîne).



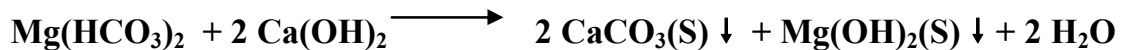
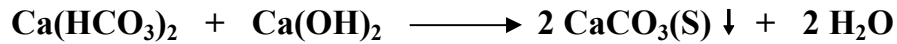
Ces savons ont l'inconvénient d'être précipités par les ions Ca^{++} et Mg^{++} présents dans les eaux dures.



Selon sa destination et selon sa dureté, une eau doit parfois être adoucie. De nombreuses méthodes d'adoucissement peuvent être utilisées [22].

4.6.1 Adoucissement par précipitation :

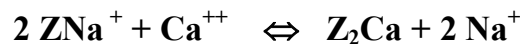
La chaux, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et le carbonate de sodium, Na_2CO_3 sont utilisés pour adoucir l'eau selon les réactions suivantes:



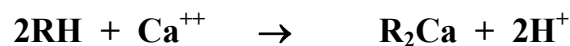
4.6.2 Adoucissement par échange ionique :

L'adoucissement est obtenu par passage de l'eau sur un échangeur d'ions de type cationique sous forme sodium. La résine fixe les cations calcium et magnésium contenus dans l'eau et les remplace par les ions sodium, d'où l'appellation (permutation sodique).

Il existe des échangeurs minéraux naturels comme les Zéolites qui adoucissent l'eau en échangeant leurs propres ions Na^+ contre les ions Ca^{++} et Mg^{++} .



Pour adoucir et donc éliminer les ions Ca^{++} et Mg^{++} , on peut utiliser également des échangeurs organiques synthétiques. Ces résines échangeuses d'ions (RH) sont des matières plastiques obtenues par polymérisation et se présentent sous forme de granules dont le diamètre est de l'ordre du millimètre.



On place les résines dans des colonnes ou dans des lits et on introduit notre eau de façon à ce quelle les traverse lentement pour que l'échange soit aussi quantitatif que possible [5].

Conclusion :

En se référant à la classification des eaux en fonction de leur TH, voir 3.8.2.2 et en tenant compte des résultats des analyses de l'eau des forages du périmètre 5, la dureté de cette eau ne répond pas aux normes des eaux destinées à l'industrie (chaudières).

Une eau dure est peu souhaitée, car les dépôts tartreux obstruent les conduites et empêchent le débit normal de l'eau, de plus ils réduisent la conduction de la chaleur dans les chaudières. Pour cela un adoucissement s'avère nécessaire, voir figure 10.

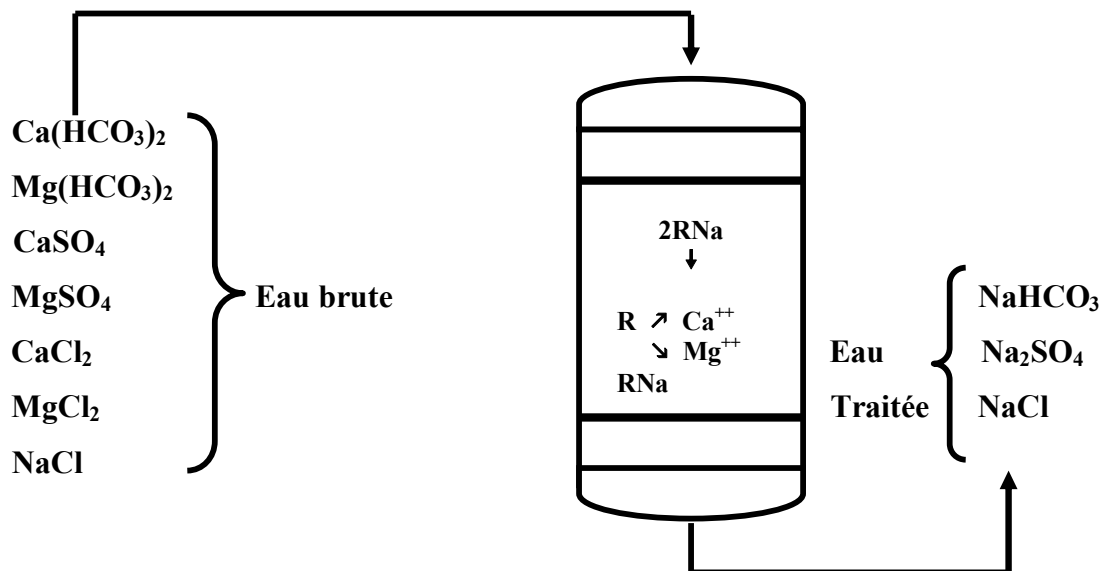


Figure 10 : Adoucisseur

4.7 : Analyse statistique des résultats :

4.7.1 Introduction :

Pour mieux faire ressortir les différences s'il y a lieu entre les observations mesurées, on a souvent recours au traitement statistique des résultats.

Dans ce paragraphe, le but est de comparer la minéralisation pour les années 1970 et 2002 et de voir s'il existe des différences significatives entre elles.

4.7.2 Méthode statistique :

Nous avons utilisé la comparaison des moyennes sur des observations en fonction :

- des profondeurs des forages.
- des épaisseurs des nappes.
- où le $T_{\text{observé}}$ sera comparé à :

$$T_{\text{tabulé}} = T_{(1 - \alpha/2)} \text{ au seuil choisi.}$$

$$T_{\text{observé}} = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sqrt{SCE_1 + SCE_2 / n(n-1)}}$$

où : SCE_1 et SCE_2 sont respectivement la somme des carrés des écarts des minéralisations.

n = nombre des observations.

\bar{X}_1 et \bar{X}_2 sont respectivement les moyennes des minéralisations.

Le coefficient $T_{\text{tabulé}}$ est déterminé à partir de la table de Student en tenant compte du degré de liberté v .

$$\text{Degré de liberté } v = 2 (n - 1)$$

Si $T_{\text{observé}} \geq T_{\text{tabulé}}$ la différence au seuil choisi est significative.

Si $T_{\text{observé}} < T_{\text{tabulé}}$ la différence au seuil choisi est non significative.

4.7.3 Organisation des données :

Pour notre cas les comparaisons porteront sur la somme des cations et des anions d'après deux critères constants à savoir les profondeurs des forages et les épaisseurs des nappes. Nous avons jugé utile que ces deux critères peuvent influencer sur la minéralisation totale des eaux analysées.

Les données sont groupées selon :

- Les profondeurs des forages supérieures à 255m comme indiqué sur le tableau 14.
- Les profondeurs des forages inférieures à 255m comme indiqué sur le tableau 15.
- Les épaisseurs des nappes supérieures à 50m, voir tableau 16.
- Les épaisseurs des nappes inférieures à 50m, voir tableau 17.
- Le seuil choisi sera de 5%.
- $T_{(1-\alpha/2)} : T_{(1-0.05/2)} = T_{0.975}$.
- Pour $n = 3$ observations, $\nu = 4$.
- $T_{\text{tabulé}} = 2.8$.
- Pour $n = 6$ observations, $\nu = 10$.
- $T_{\text{tabulé}} = 2.25$.
- $X_{i1} : \Sigma$ des cations et des anions par forage (1970).
- \bar{X}_1 : moyenne des cations et des anions (1970).
- $X_{i2} : \Sigma$ des cations et des anions par forage (2002).
- \bar{X}_2 : moyenne des cations et des anions (2002).
- $(\overline{X_{i1}} - \bar{X}_1)$ et $(\overline{X_{i2}} - \bar{X}_2)$: Ecart types.

Tableau 14 : Comparaison des sommes cations et anions selon les profondeurs des forages 1970 et 2002

| N° Forage | Profondeur > 255m | Σ Cations et Anions (mEq/l) 1970 | $\overline{(X_{i1} - X_1)^2}$ | N° Forage | Profondeur > 255m | Σ Cations et Anions (mEq/l) 2002 | $\overline{(X_{i2} - X_2)^2}$ | T observé | T tabulé |
|-----------|-------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------|-------------------|-----------------------------------|-------------------------------|--------------|------------|
| F 301 | 618 | 53.762 | 246.176 | F 301 | 618 | 26.498 | 3.167 | | |
| F 42 | 375 | 27.577 | 110.145 | F 42 | 375 | 24.37 | 0.121 | | |
| F 300 | 260 | 32.877 | 26.988 | F 300 | 260 | 23.287 | 2.048 | | |
| | | Moyenne = 38.072 | Σ = 383.309 | | | Moyenne = 38.072 | Σ = 383.309 | 1.659 | 2.8 |

71

Tableau 15 : Comparaison des sommes cations et anions selon les profondeurs des forages 1970 et 2002

| N° Forage | Profondeur < 255m | Σ Cations et Anions (mEq/l) 1970 | $\overline{(X_{i1} - X_1)^2}$ | N° Forage | Profondeur < 255m | Σ Cations et Anions (mEq/l) 2002 | $\overline{(X_{i2} - X_2)^2}$ | T observé | T tabulé |
|-----------|-------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------|-------------------|-----------------------------------|-------------------------------|--------------|------------|
| F 309 | 252.7 | 30.826 | 24.697 | F 309 | 252.7 | 22.876 | 0.336 | | |
| F 302 | 180 | 31.984 | 14.528 | F 302 | 180 | 23.722 | 0.07 | | |
| F 310 | 132 | 44.577 | 77.111 | F 310 | 132 | 23.771 | 0.099 | | |
| | | Moyenne = 35.795 | Σ = 116.338 | | | Moyenne = 23.456 | Σ = 0.506 | 2.796 | 2.8 |

Tableau 16 : Comparaison des sommes cations et anions selon les épaisseurs des nappes 1970 et 2002

| N° Forage | Epaisseur > 50m | Σ Cations et Anions (mEq/l) 1970 | $\overline{(X_{i1} - X_1)^2}$ | N° Forage | Epaisseur > 50m | Σ Cations et Anions (mEq/l) 2002 | $\overline{(X_{i2} - X_2)^2}$ | T observé | T tabulé |
|-----------|-----------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------|-----------------|-----------------------------------|-------------------------------|--------------|------------|
| F 300 | 120 | 32.877 | 39.413 | F 300 | 120 | 23.287 | 0.871 | | |
| F 301 | 118 | 53.762 | 213.364 | F 301 | 118 | 26.498 | 5.187 | | |
| F 309 | 52.7 | 30.826 | 69.372 | F 309 | 52.7 | 22.876 | 1.807 | | |
| | | Moyenne = 39.155 | Σ = 322.149 | | | Moyenne = 24.220 | Σ = 7.866 | 2.013 | 2.8 |

72

Tableau 17 : Comparaison des sommes cations et anions selon les épaisseurs des nappes 1970 et 2002

| N° Forage | Epaisseur < 50m | Σ Cations et Anions (mEq/l) 1970 | $\overline{(X_{i1} - X_1)^2}$ | N° Forage | Epaisseur < 50m | Σ Cations et Anions (mEq/l) 2002 | $\overline{(X_{i2} - X_2)^2}$ | T observé | T tabulé |
|-----------|-----------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------|-----------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------|------------|
| F 310 | 37 | 44.577 | 97.305 | F 310 | 37 | 23.771 | 0.033 | | |
| F 42 | 25 | 27.577 | 50.917 | F 42 | 25 | 24.37 | 0.172 | | |
| F 302 | 15 | 31.984 | 7.445 | F 302 | 15 | 23.722 | 0.053 | | |
| | | Moyenne = 34.712 | Σ = 155.668 | | | Moyenne = 23.954 | Σ = 0.260 | 2.11 | 2.8 |

Tableau 18 : Comparaison des sommes cations et anions 1970 et 2002

| N° Forage | Σ Cations et Anions (mEq/l) 1970 | $\overline{(X_{i1} - \bar{X}_1)^2}$ | N° Forage | Σ Cations et Anions (mEq/l) 2002 | $\overline{(X_{i2} - \bar{X}_2)^2}$ | T _{observé} | T _{tabulé} |
|--------------|---|--|--------------|---|--|----------------------|---------------------|
| F 42 | 27.577 | 87.55 | F 42 | 24.37 | 0.079 | | |
| F 300 | 32.877 | 16.457 | F 300 | 23.287 | 0.64 | | |
| F 301 | 53.762 | 283.187 | F 301 | 26.498 | 5.811 | | |
| F 302 | 31.984 | 24.5 | F 302 | 23.722 | 0.133 | | |
| F 309 | 30.826 | 37.305 | F 309 | 22.876 | 1.467 | | |
| F 310 | 44.577 | 58.417 | F 310 | 23.771 | 0.1 | | |
| | Moyenne = 36.933 | $\Sigma =$ 507.419 | | Moyenne = 24.087 | $\Sigma =$ 8.232 | 3.098 | 2.25 |

4.7.4 Interprétation :

D'après les résultats statistiques, on s'aperçoit qu'il n'y a aucune différence significative entre les observations effectuées en ce qui concerne la comparaison de la somme des cations et des anions selon les profondeurs des forages (profondeurs > à 255m et profondeurs < à 255m) et selon les épaisseurs des nappes (épaisseurs > à 50m et épaisseurs < à 50m).

$T_{\text{observé}}$ pour ces comparaisons est compris entre 1.659 et 2.796.

$T_{\text{tabulé}} = 2.8$

$T_{\text{observé}} < T_{\text{tabulé}}$ la différence dans ce cas est non significative au seuil de 5%.

Pour cela nous avons jugé utile de faire une comparaison entre les minéralisations totales de tous les forages, comme indiqué sur le tableau 18.

$T_{\text{observé}} = 3.098$

$T_{\text{tabulé}} = 2.25$

$T_{\text{observé}} > T_{\text{tabulé}}$ la différence dans ce cas est significative. Dans cette dernière comparaison tous les forages ont été pris en considération en même temps, c'est pour cela que la différence est significative au seuil de 5%.

Tableau 19 : Extrait du t de la table de Student

| t \ v | 4 | 10 |
|--------------|----------|-----------|
| 2.2 | 0.95367 | 0.97378 |
| 2.3 | 0.95853 | 0.97787 |
| 2.7 | 0.97295 | 0.98884 |
| 2.8 | 0.97559 | 0.99060 |

4.7.5 Histogrammes :

Les histogrammes sont parmi les représentations graphiques des analyses qui permettent des comparaisons plus rapides et plus simples.

L'histogramme permet la disposition sur le même diagramme de plusieurs eaux, la comparaison est ainsi facilitée.

Les concentrations des éléments, le débit, la température, le PH et la pluviométrie sont représentés sous forme d'histogrammes de la figure 11 à la figure 21.

La comparaison des analyses des années 1970 et 2002, nous a conduit aux constatations suivantes :

- Diminution importante du débit des forages due à la sécheresse que vit la région depuis presque deux décennies.
- Diminution de la température d'environ 2°C, ceci peut entraîner une diminution de la solubilité de certains ions.
- Diminution du PH ($\text{PH} \approx 7.5$), ceci explique l'absence des ions CO_3^{2-} et présence des ions HCO_3^- .

Ces constatations expliquent la diminution de la plupart des concentrations dans les forages en question.

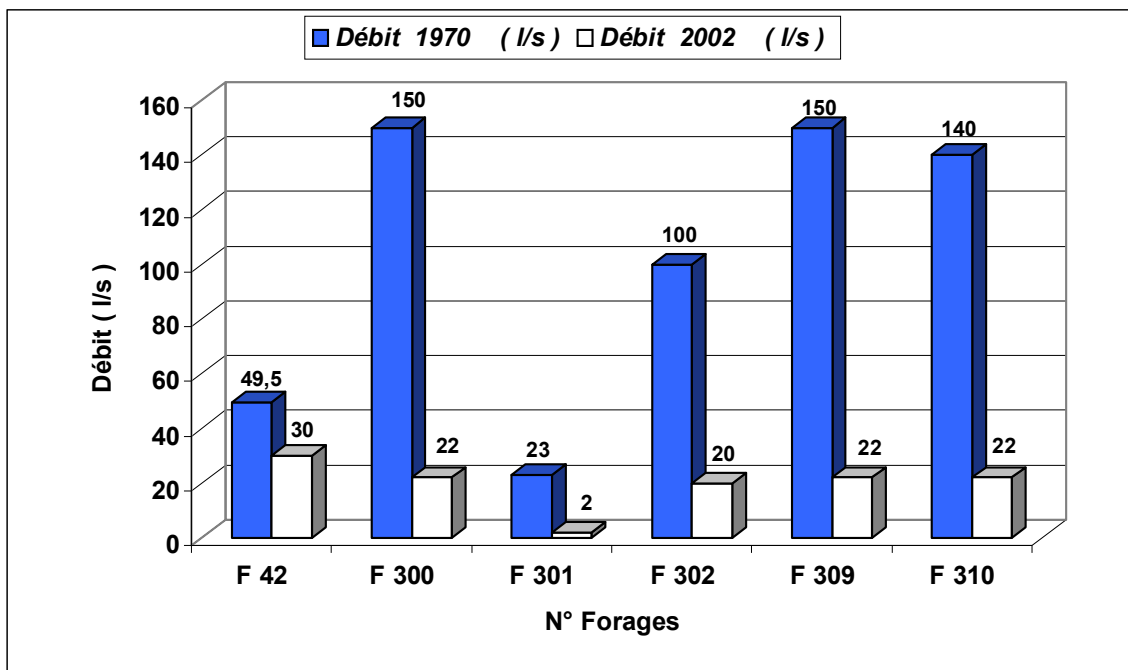


Figure 11 : Comparaison des débits 1970 et 2002

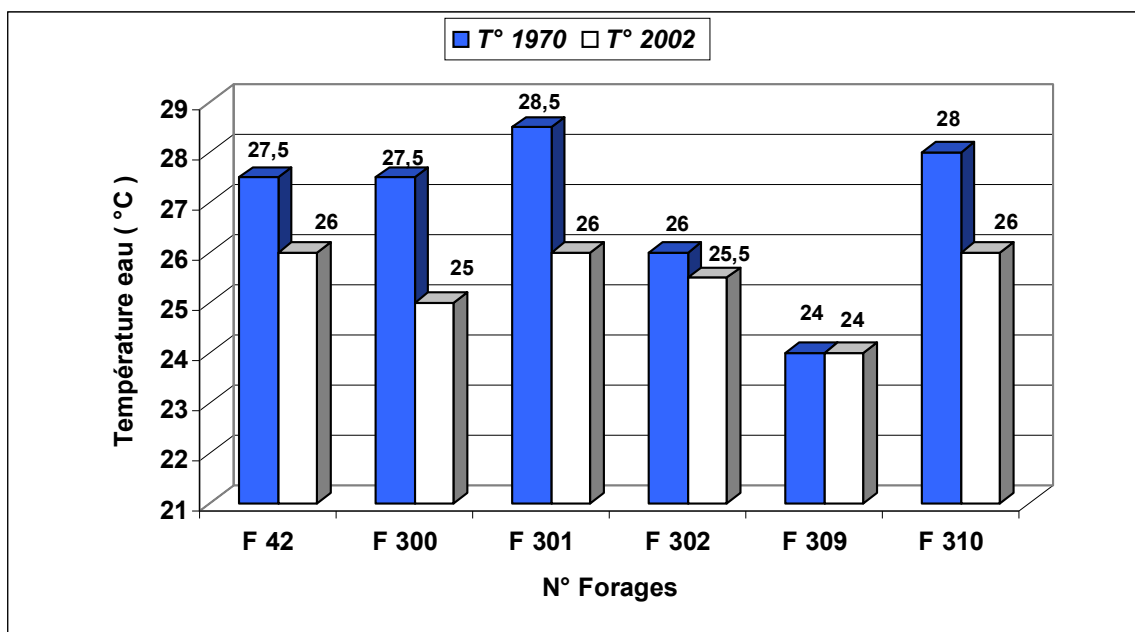


Figure 12 : Comparaison des Températures de l'eau 1970 et 2002

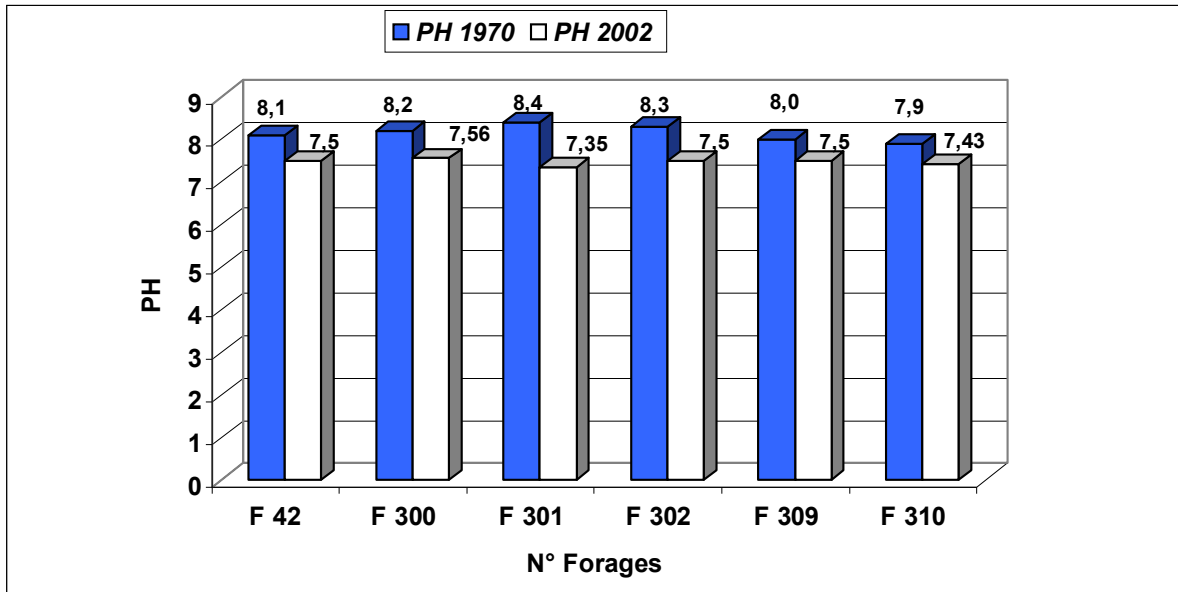


Figure 13 : Comparaison des pH 1970 et 2002

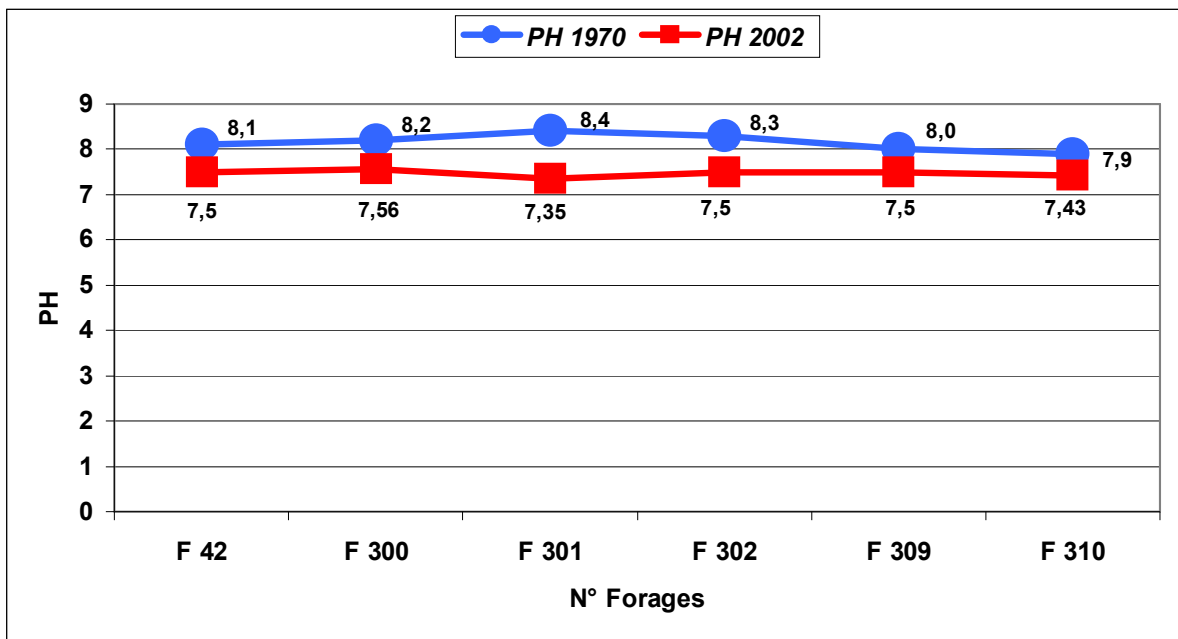


Figure 13 bis : Evolution des pH par forage

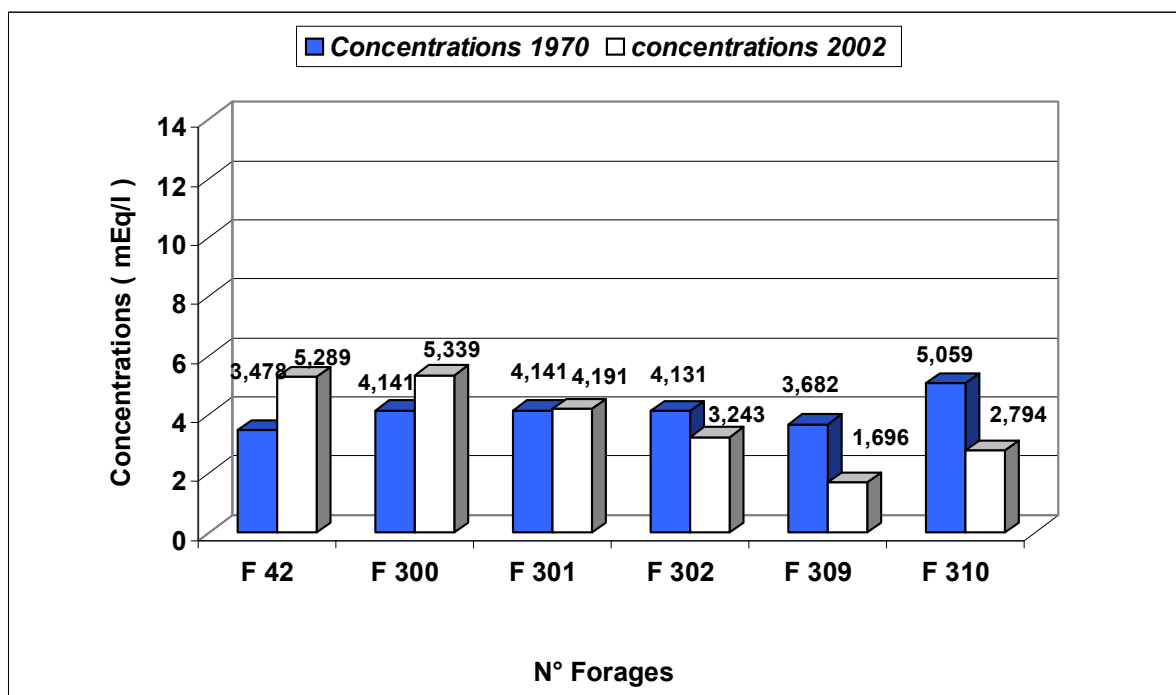


Figure 14 : Comparaison des concentrations Calcium 1970 et 2002

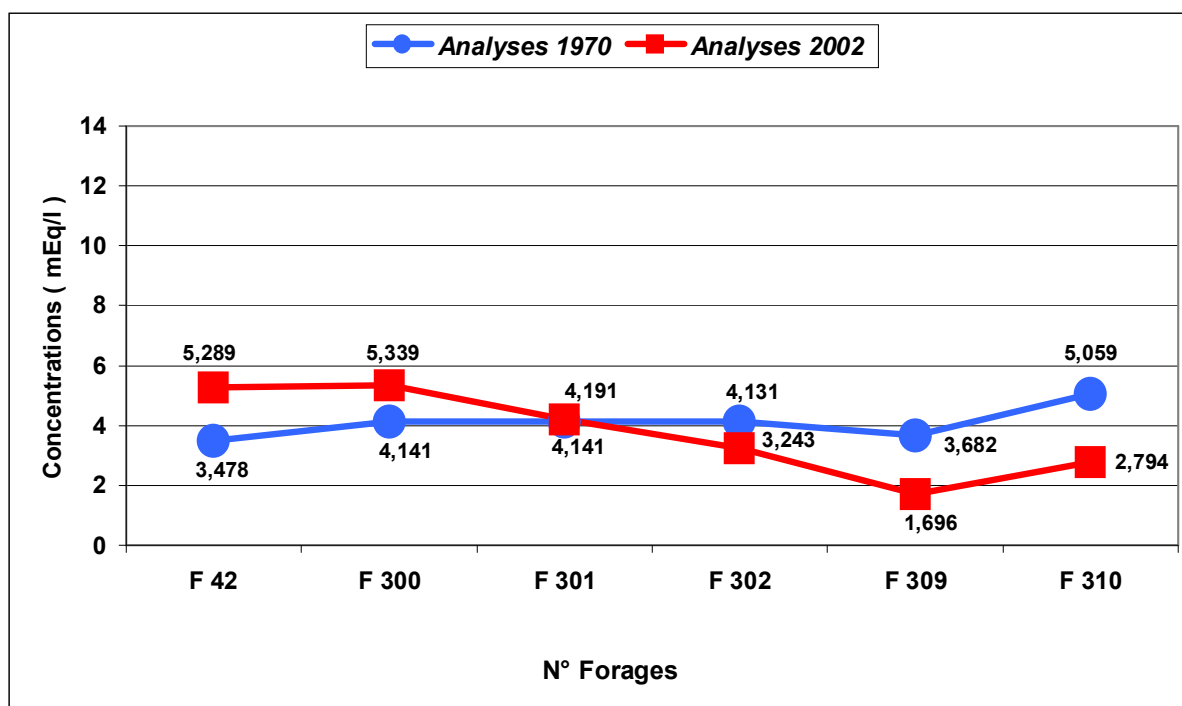


Figure 14 bis : Evolution des concentrations Calcium par forage

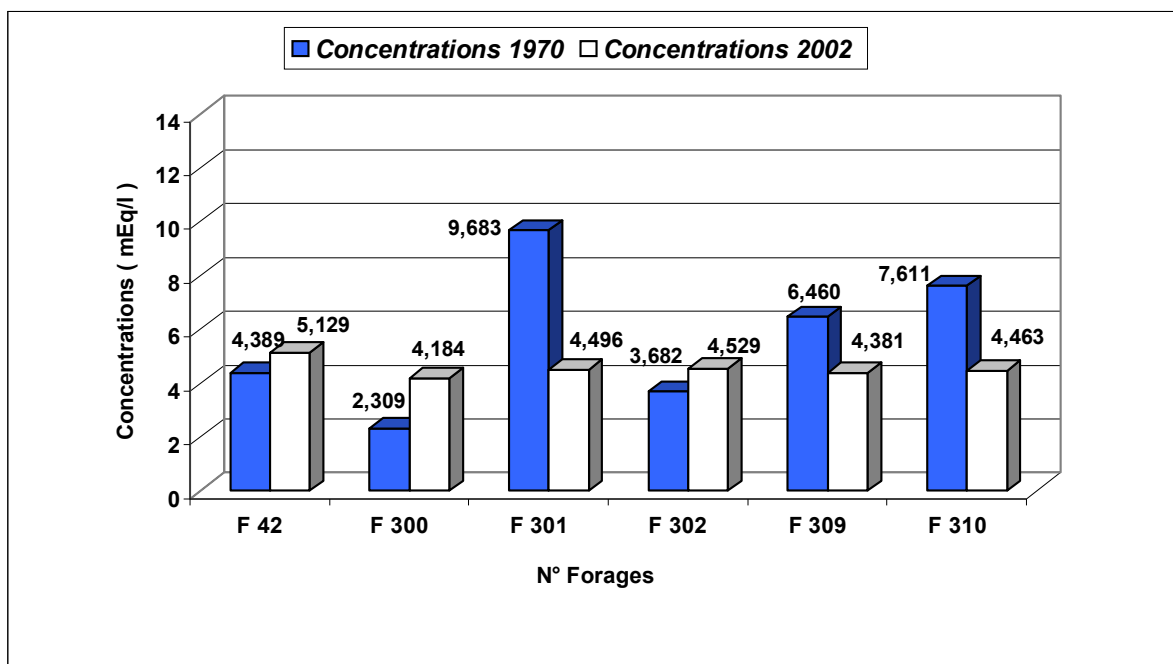


Figure 15 : Comparaison des concentrations Magnésium 1970 et 2002

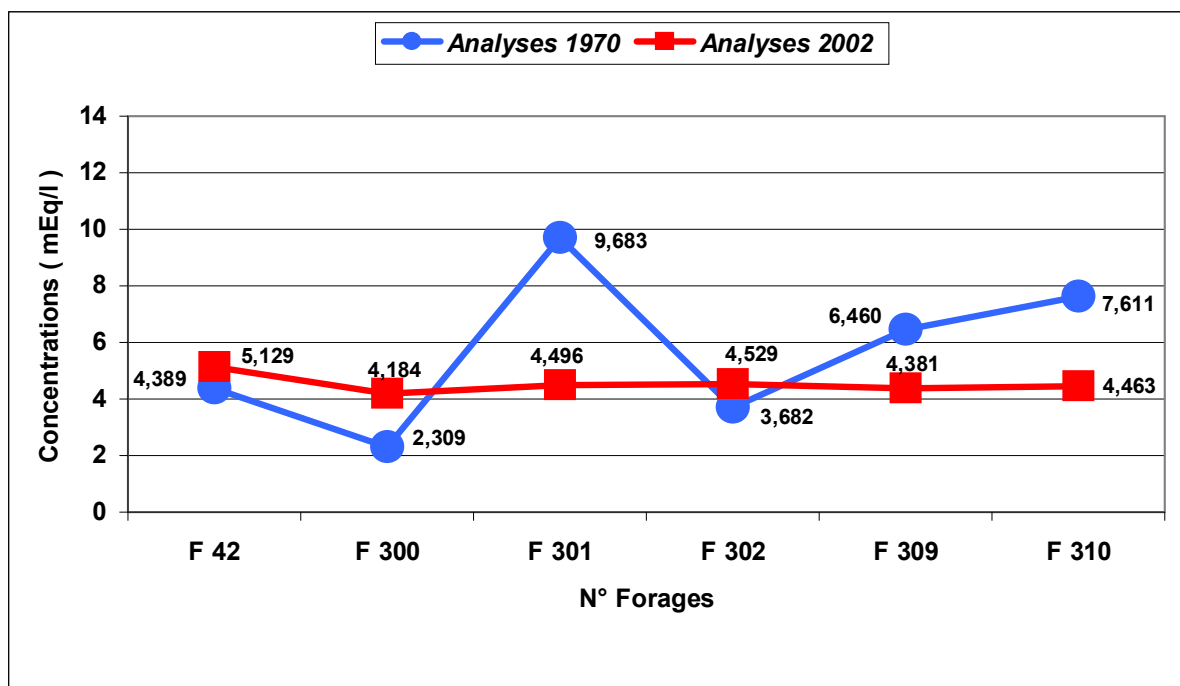


Figure 15 bis : Evolution des concentrations Magnésium par forage

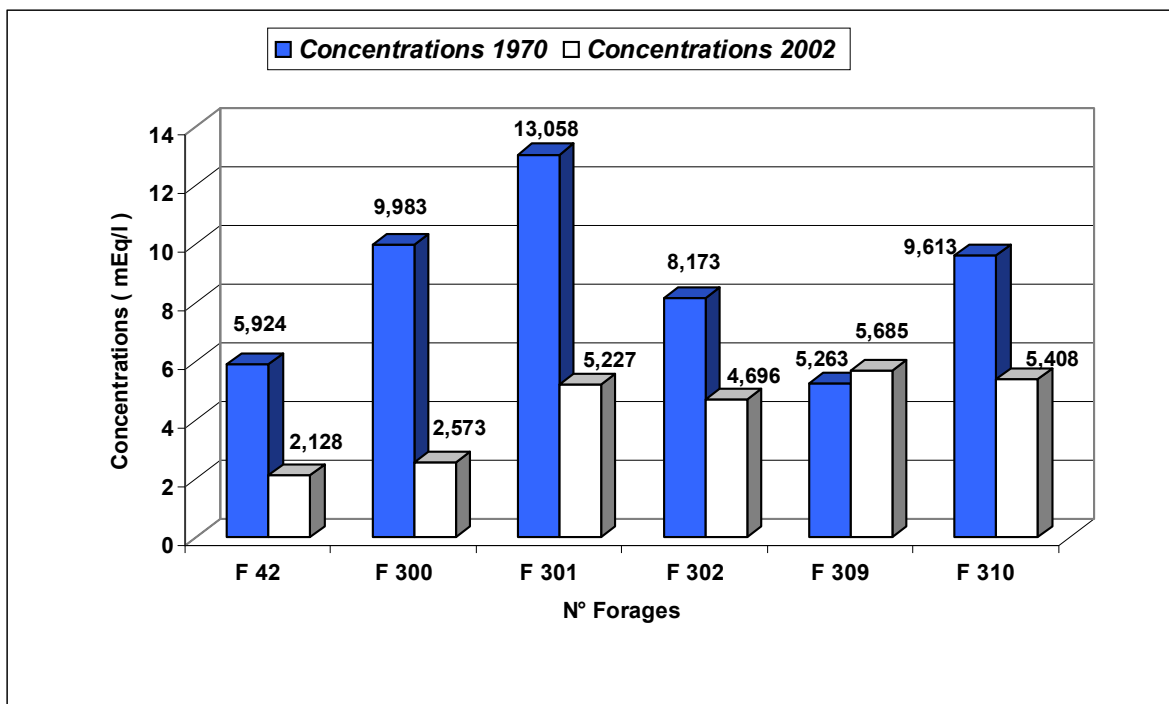


Figure 16 : Comparaison des concentrations Potassium et Sodium 1970 et 2002

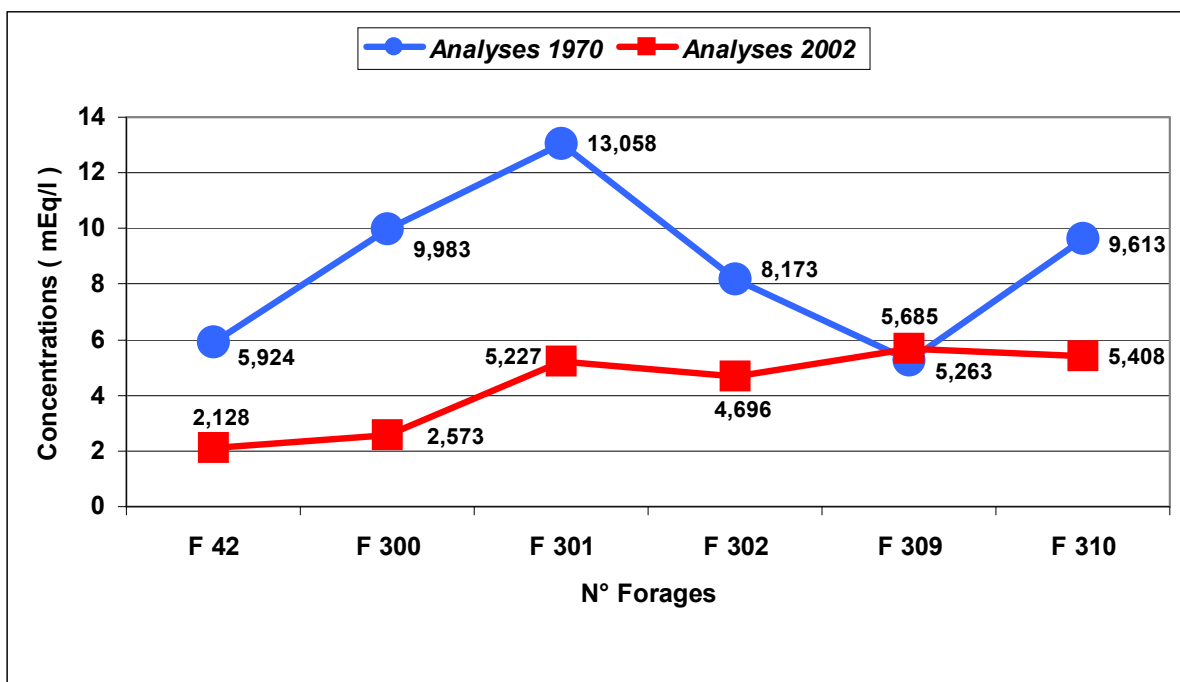


Figure 16 bis : Evolution des concentrations Potassium et Sodium par forage

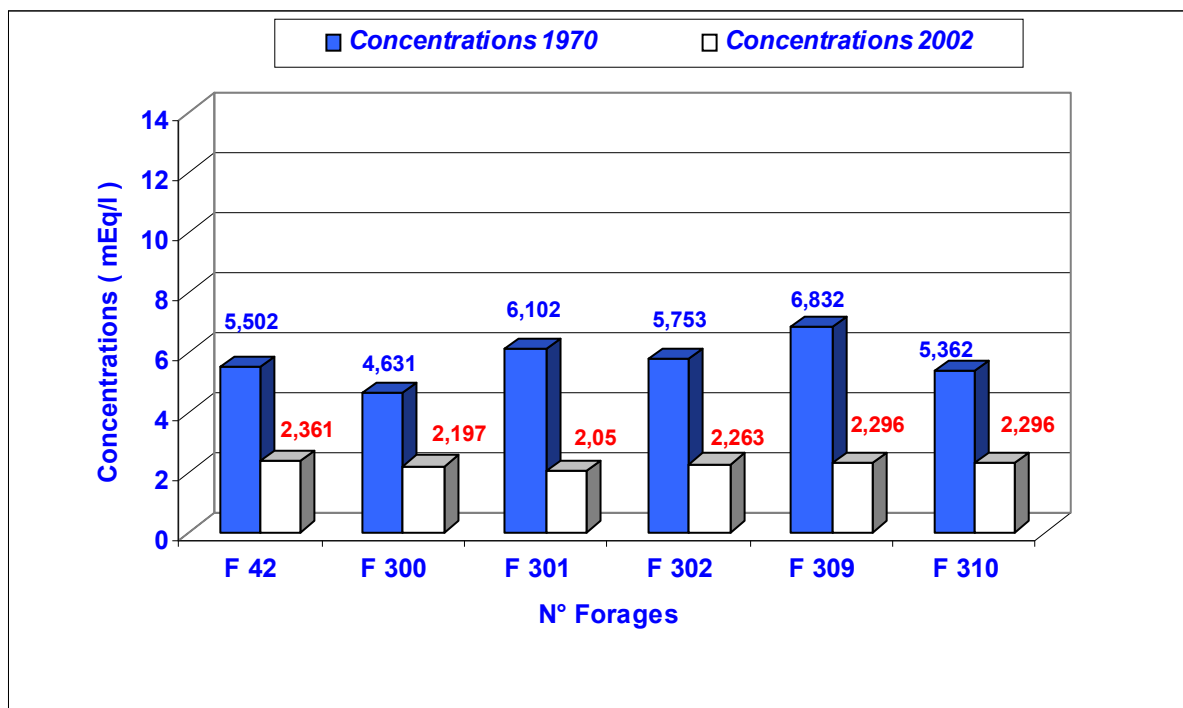


Figure 17 : Comparaison des concentrations Bicarbonates 1970 et 2002

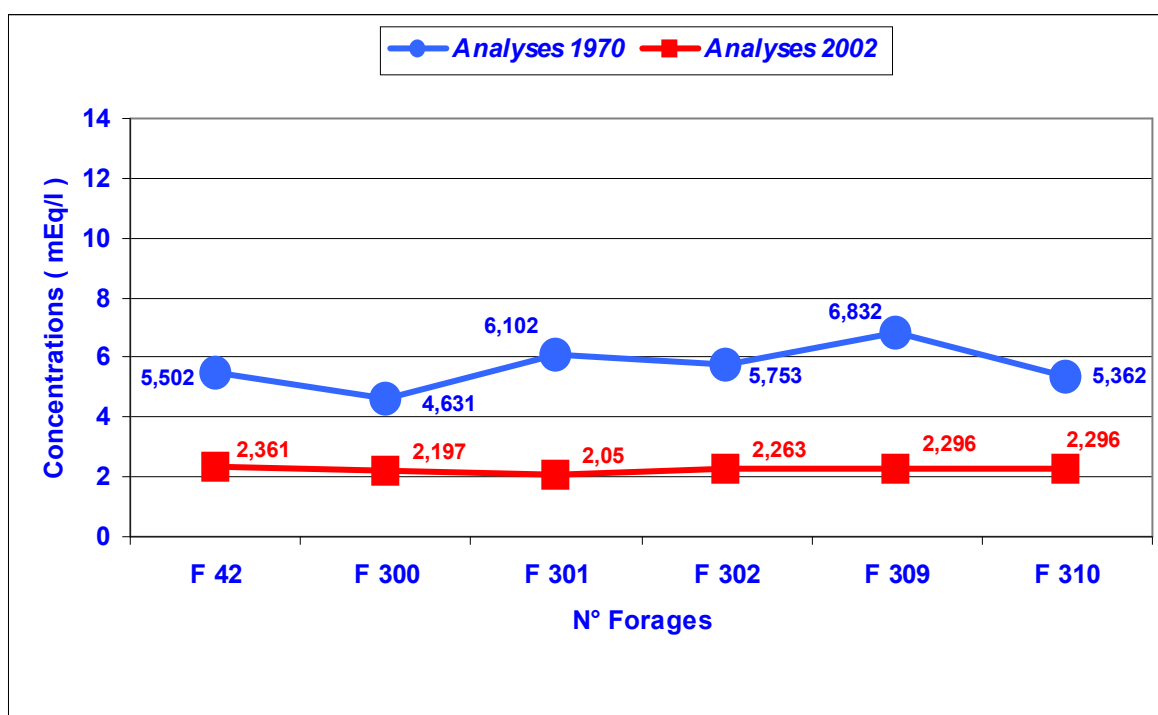


Figure 17 bis : Evolution des concentrations Bicarbonates par forage

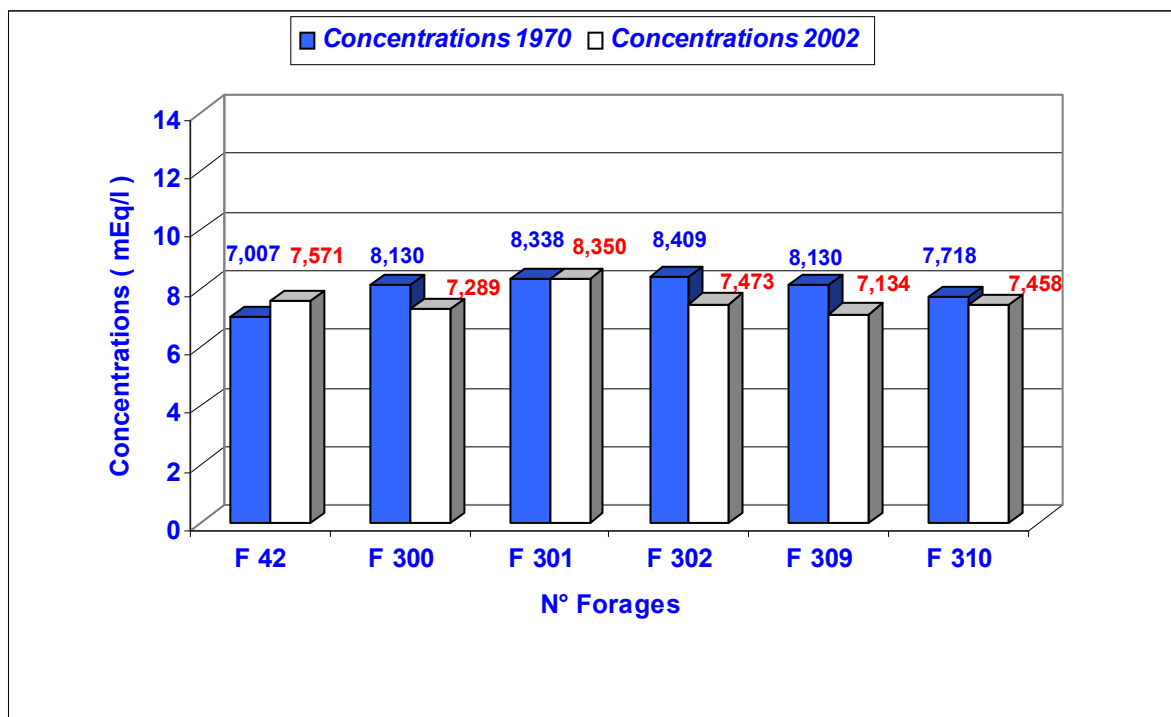


Figure 18 : Comparaison des concentrations Chlorures 1970 et 2002

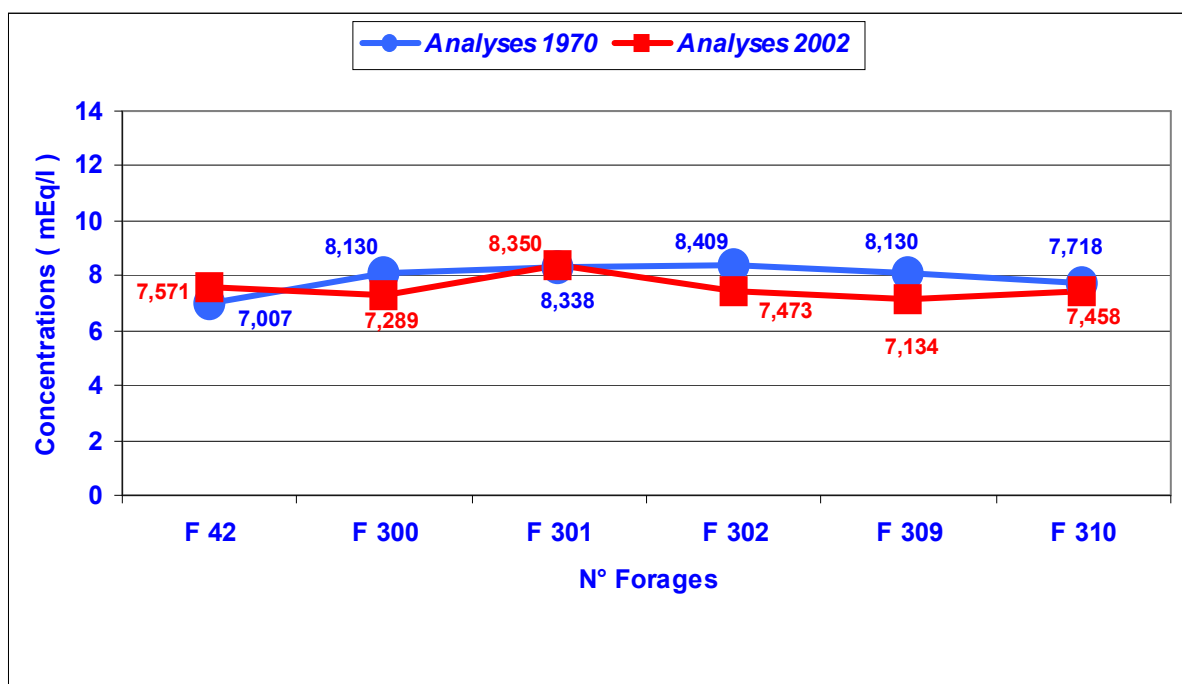


Figure 18 bis : Evolution des concentrations Chlorures par forage

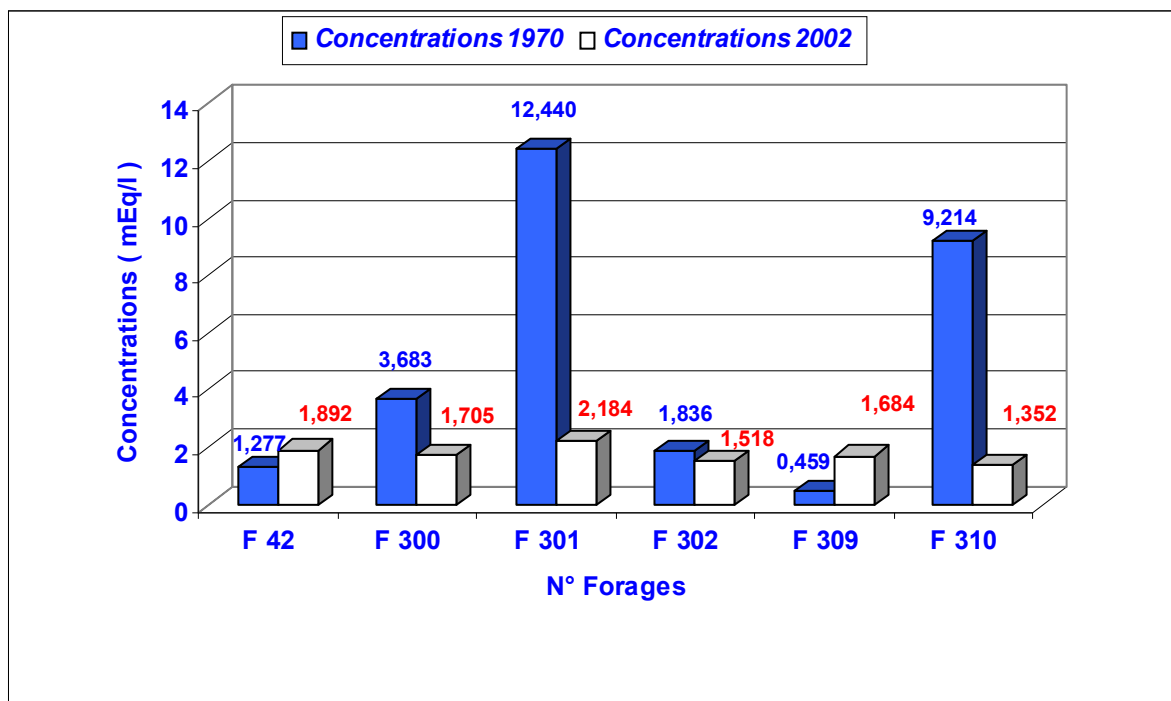


Figure 19 : Comparaison des concentrations Sulfates 1970 et 2002

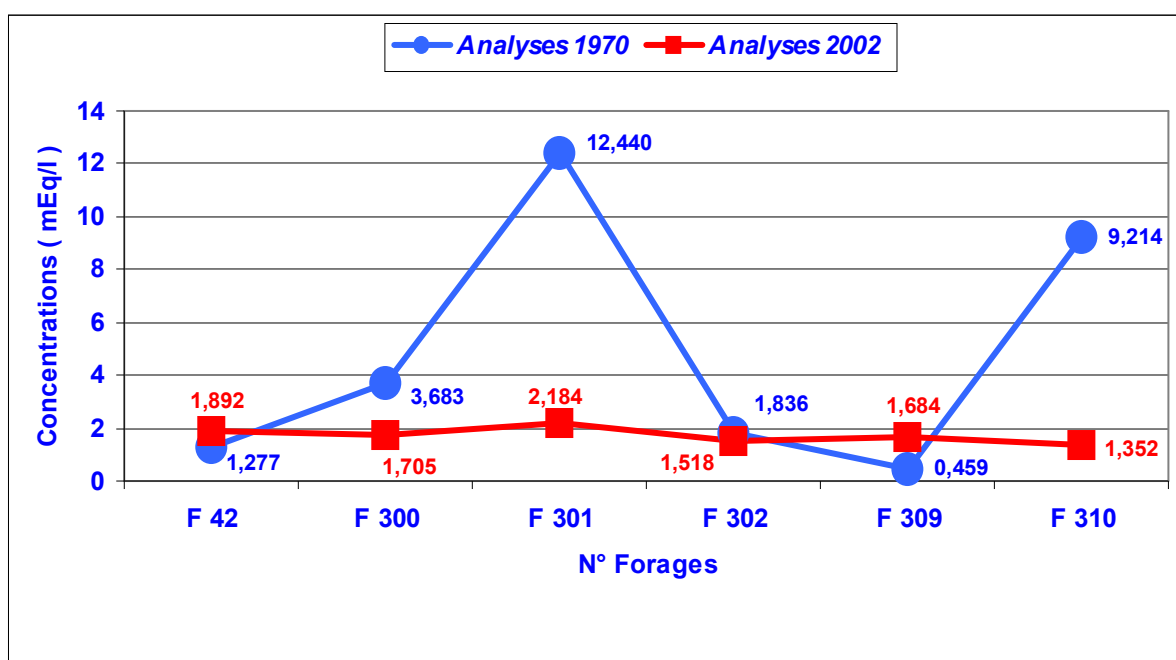


Figure 19 bis : Evolution des concentrations Sulfates par forage

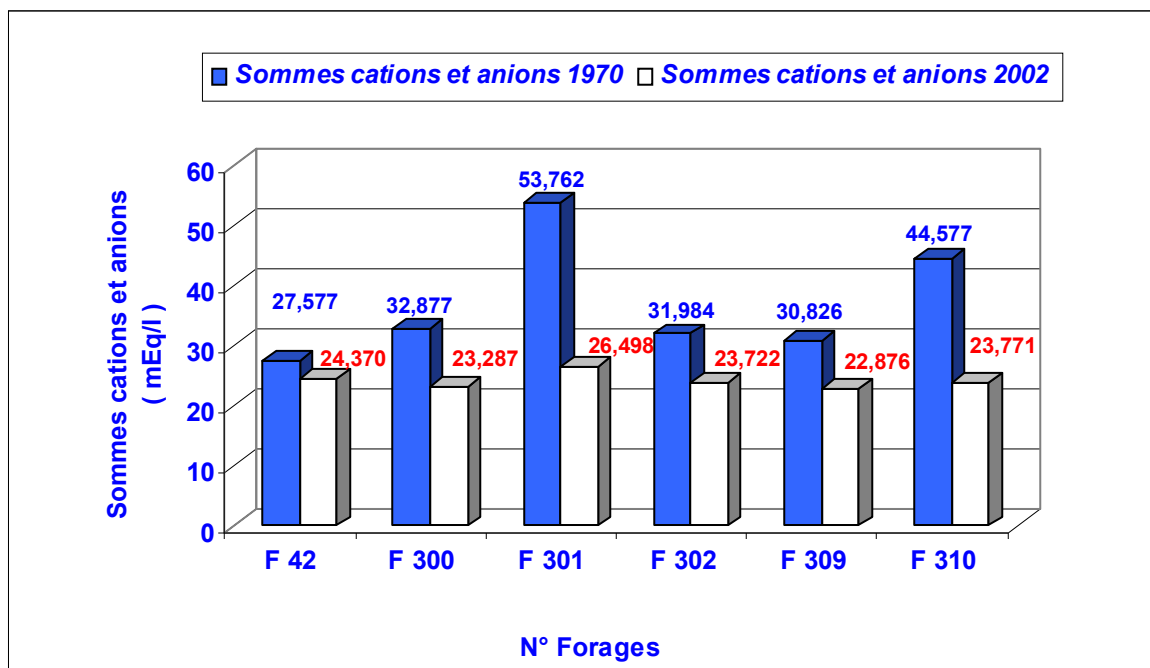


Figure 20 : Comparaison des sommes cations et anions 1970 et 2002

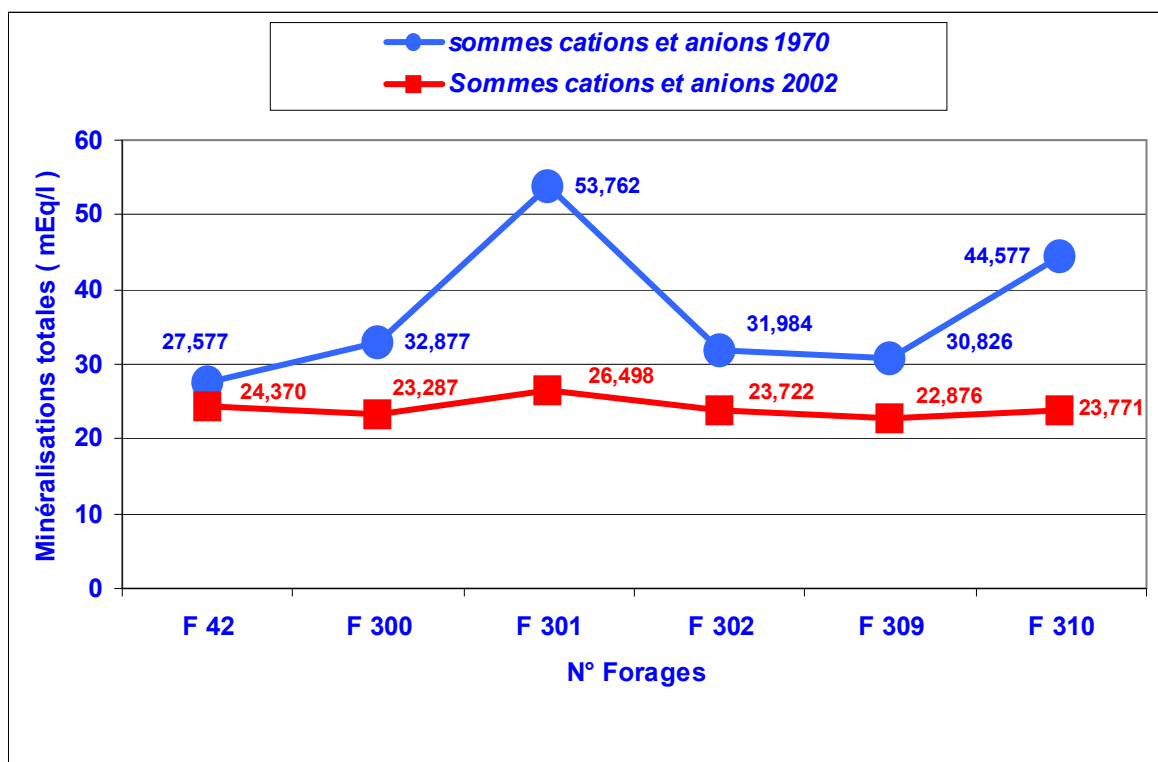


Figure 20 bis : Evolution des sommes cations et anions par forage

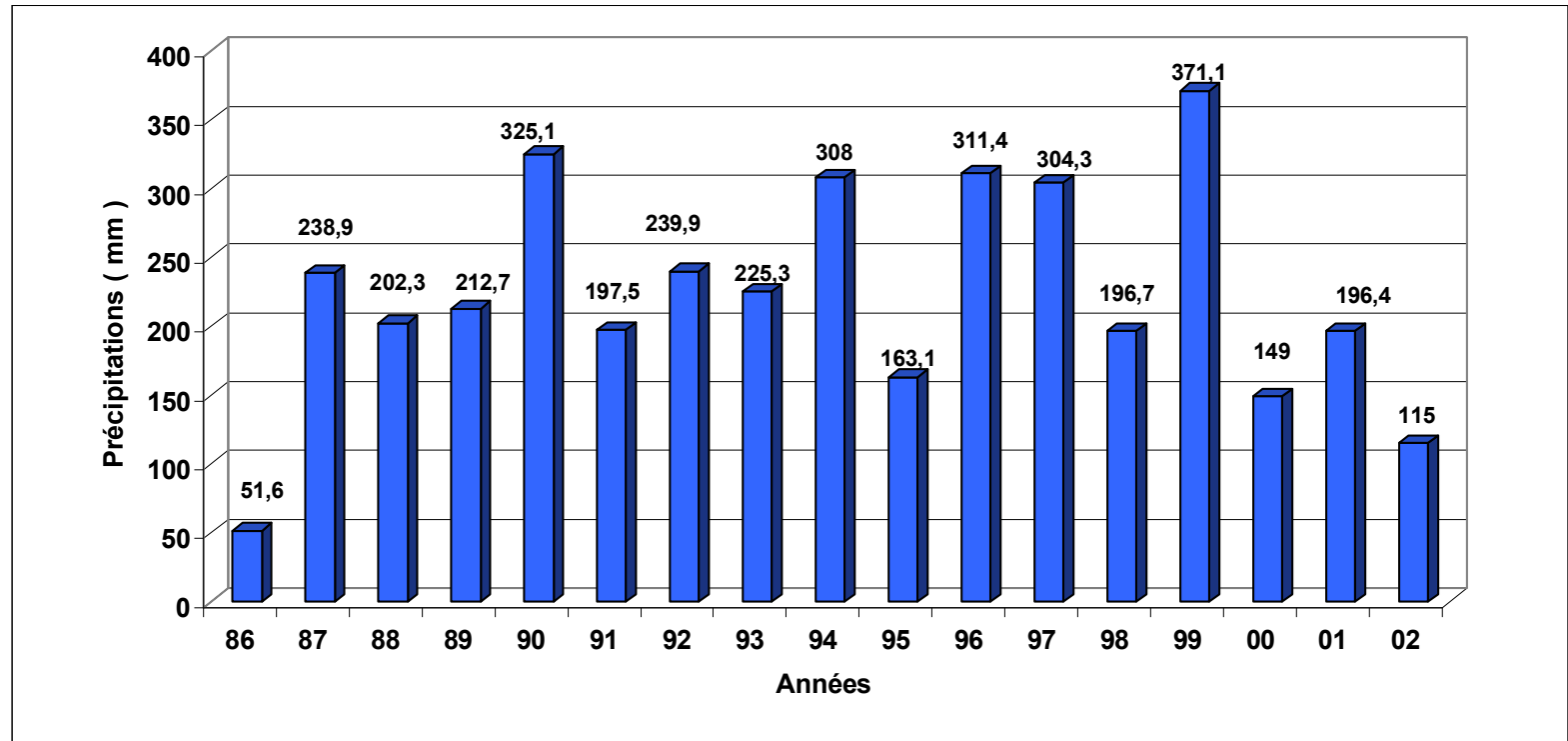


Figure 21 : Pluviométrie de Ksar Chellala sur 17 ans (1986 / 2002)

Conclusion générale

L'étude entreprise dans le cadre de cette thèse a commencée par le choix du site d'étude du point de vue géographique et géologique. Ce choix est basé sur l'existence des points d'eau utilisés aussi bien pour la consommation collective que pour l'agriculture.

L'étude physico chimique des eaux nous a révélée que celles ci sont en général chlorurées calciques et parfois chlorurées sodiques.

Ces eaux répondent parfaitement aux normes des eaux de consommation collective et des eaux pour l'irrigation.

A l'exception du magnésium et calcium conférant une certaine dureté à l'eau, cette dernière pose un problème particulièrement aigu en cas d'utilisation dans les chaudières industrielles (entartrage) et incrustation des conduites.

Il n'est pas encore établi s'il y a ou non relation entre la santé et la dureté de l'eau de consommation. Le calcium et le magnésium sont des éléments nutritifs importants. Le calcium est un constituant majeur des os et le magnésium est essentiel à maintes réactions métaboliques.

Les eaux analysées ne présentent aucun danger en ce qui concerne la présence des ions toxiques au vu des résultats des analyses (présence minime des ions nitrates, plomb et cadmium).

Il est important de dire que ce travail doit se poursuivre dans le temps et l'étendre à l'ensemble de la région de Serguine pour avoir une base de données fiable des eaux de la région et répondre à l'attente du développement de l'agriculture dans le cadre du projet de Oued Touil. Pour cela et pour mener à bien un tel suivi, il est primordial de disposer d'un laboratoire spécialisé dans la chimie des eaux dans la région.

Vu que la région est à vocation agricole et que la plupart des forages réalisés sont destinés au projet de Oued Touil, ce qui engendrera une utilisation des engrais et risque de contamination des nappes souterraines.

Références bibliographiques

- [1] **ABRIKOSOV (I)** et **GOUTMAN (I)**. – Géologie du pétrole. – Editions Mir Moscou 1986.
- [2] **ALI AYUB (Mahmood)** et **KUFFNER (Ulrich)**. – La gestion de l'eau dans le Maghreb. – Finances & Développement. - Volume 31 N° 2 Juin 1994.
- [3] **A.N.R.H.** – Précipitations Ksar Chellala 1985 / 1989.
- [4] **ARNAUD.** – La chimie de l'eau. – Chimie de l'eau.htm.2000.
- [5] **BAOUNI (Tahar)**. – Etude comparative du traitement par adoucissement et déminéralisation des eaux utilisées en laiteries. – I.N.A. Alger 1984.
- [6] **BENRAÏS.** – Qualité de l'eau et réglementation. – I.N.P.E. Alger 1993.
- [7] **BIZE (J)**, **BOURGUET (L)** et **LEMOINE (J)**. – L'alimentation artificielle des nappes souterraines. Editions Masson & C^{ie}, 120 B^d Saint-Germain Paris VI^e, 1972.
- [8] **BOGOMOLOV (G)**. – Hydrogéologie et notions de géologie d'ingénieur. – Traduit du Russe par Frolov (V). – Editions de la paix Moscou.
- [9] **BOUZIANI (Mustapha)**.- L'eau de la pénurie aux maladies. – Editions Ibn Khaldoun, 2000, ISBN: 9961-71-071-1.
- [10] **BRIÈRE (François G.)**. – Distribution et collecte des eaux. – Editions de l'Ecole Polytechnique de Montréal, 1994, ISBN :
- [11] **CASTANY (Gilbert)**. – Principes et méthodes de l'hydrogéologie. - Editions Dunod, Paris, 1982, ISBN : 2-04-011221-9.
- [12] **CHEVAL (A)**. – La désinfection des eaux de consommation. – Etude technique de synthèse. – AFEE, 21, Rue de Madrid 75008 Paris 1982.
- [13] **COLLOQUE EUROPÉEN.** – La gestion de l'eau. – Volume II. – Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 28, rue des Saints-Pères 75007 Paris 1990.
ISBN: 2-85978-156-0.
- [14] **D.H.W TIARET.** – Coupes techniques des forages Réalisés entre 1969 et 1970.
- [15] **DEGREMONT.** - Mémento technique de l'eau. – Tome 1. - Copyright by DEGREMONT, 183, Avenue du 18 juin 1940 Reuil- Malmaison Cedex 1989.
ISBN : 2.9503984.0.5.
- [16] **DEGREMONT.** - Mémento technique de l'eau. – Tome 2. - Copyright by DEGREMONT, 183, Avenue du 18 juin 1940 Reuil- Malmaison Cedex 1989.
ISBN : 2.9503984.0.5.

- [17] **Desjardins** (Raymond). – Le traitement des eaux. – 2^e édition revue. – Editions de l'Ecole Polytechnique de Montréal, C.P. 6079. Succursale A Montréal (Québec), 1990, ISBN : 2-553-00211-5.
- [18] **DJILI** (Kaddour). – Essai de cartographie en isodifférenciation des sols calcaires de Ksar Chellala. – Thèse Magister Sciences Agronomique I.N.A Alger 1983.
- [19] **DROUET** (Dominique). – L'industrie de l'eau dans le monde. - Presses de l'Ecole Nationales des Ponts et Chaussées, 28, rue des Saints-Pères 75007 Paris 1987. ISBN : 2-85978-106-4.
- [20] **DUPONT** (André). – Hydraulique urbaine. – Tome 1. – Hydrologie - Captage et traitement des eaux. 6^e édition. – Editions Eyrolles, 61, B^d Saint –Germain 75005 Paris, 1986.
- [21] **ECKENFELLER** (W.). – L'eau dans l'industrie. – Editions technique et documentation, Paris 1973.
- [22] **E.N.S.P.M.** - Les traitements des eaux dans l'industrie pétrolière. – Editions Technip 27, Rue Ginoux 75737 Paris Cedex 15, 1972.
- [23] **ENVIRONNEMENT CANADA.** – Polluants qui détériorent la qualité de l'eau. – Site Internet : <http://www.ec.gc.ca./water/accueil.htm>, 1999.
- [24] **ENVIRONNEMENT QUEBEC.** – Modes de prélèvement et de conservation des échantillons relatifs à l'application du règlement sur la qualité de l'eau potable. – Site Internet : Mode de prélèvement et de conservation Eau potable.htm, 2000.
- [25] **FEDER** (Gershon) et **LE MOIGNE** (Guy). – Une gestion équilibrée des ressources en eau. – Finances & Développement. - Volume 31 N° 2 Juin 1994.
- [26] **GOMELLA** (Cyril) et **GUERRÉE** (Henri). – Guide de l'alimentation en eau dans les agglomérations urbaines et rurales. – Tome 1 La distribution. – Editions Eyrolles, 61, B^d Saint –Germain 75005 Paris, 1985.
- [27] **GUIGUE** (Simon). – Les sources thermo minérales de l'Algérie.–Etude géochimique Tome 1^e . – Imp. Typo – Litho et Carbonel Réunion, 2, Rue de Normandie Alger 1940. N° 973.
- [28] **GUIGUE** (Simon). – Les sources thermo minérales de l'Algérie. – Etude géochimique Tome II. – Imp. Typo – Litho et Carbonel Réunion 2, Rue de Normandie Alger 1947.
- [29] **HAÏK** (Nacer). – Pollution des eaux et traitement. – O.P.U, 1 place centrale de Ben Aknoun Alger, 1989. Codification : 1.03.2999.
- [30] **I.O.W.** – Fiabilité de la distribution de l'eau potable. - L'entretien des réseaux d'eau. – TEC & DOC, 11, rue Lavoisier F.75384 Paris Cedex 8.
- [31] **KETTAB** (A.). – Traitement des eaux. – Les eaux potables. – O.P.U, 1 place centrale de Ben Aknoun Alger, 1992. Codification : 2.02.3623.

- [32] **LAUGA** (Robert). – Pratique du forage d'eau. – Edition Seesam, 37, Avenue des Ternes 75017 Paris, 1990.
- [33] **LE COZ** (C), **TASSIN** (B) et **THEVENOT** (D). – Transfert des polluants dans les hydrosystèmes. - Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, 49, rue de l'Université 75007 Paris, 1996. ISBN : 2-85978-255-9.
- [34] **LE COZ** (C), **TASSIN** (B) et **THEVENOT** (D). – Pluie et environnement. - Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, 28, rue des Saints-Pères 75007 Paris, 1997. ISBN : 2-85978-297-4.
- [35] **LEGRAND** (Luc) et **POIRIER** (Georges). – Chimie des eaux naturelles – Agressivité-Corrosivité-Traitements- Applications numériques. – Editions Eyrolles, 61, B^d Saint –Germain 75005 Paris, 1976.
- [36] **LYONNAISE DES EAUX**. – Mémento de l'exploitant de l'eau et de l'assainissement. – Technique et Documentation 11, Rue Lavoisier – F 75384 Paris Cedex, 1986. ISBN:2-85206-318-2.
- [37] **LYONNAISE DES EAUX**. – Mémento du gestionnaire de l'alimentation en eau et de l'assainissement. – Tome I. – Eau dans la ville Alimentation en eau. - Technique et Documentation 11, Rue Lavoisier – F 75384 Paris Cedex 08, 1994. ISBN : 2-85206-935-0.
- [38] **MABILLOT** (Albert) Le forage d'eau. – Guide pratique. – Crépines Johnson France S.A 86 Naintre, 1984.
- [39] **MACKENZIE** (Aulay), **BALL** (Andy S.) et **VIRDEE** (Sonia R.). – L'essentiel en écologie. – Editions BERTI, Paris, 2000. – ISBN : 2-911808-13-4.
- [40] **MARTIROSSIAN** (R). - La lutte contre la contamination des eaux. – I.H.B Tipaza 1981.
- [41] **MASSCHELEIN** (W.J). – Processus unitaires du traitement de l'eau potable. – Editions CEBEDOC sprl Liège, 1996. – ISBN : 2-87080-35-5.
- [42] **OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU**. – Gestion technique d'un service des eaux. – Tome 1. - Limoges 1999.
- [43] **O.N.M KSAR CHELLALA**. – Précipitations et températures de Ksar Chellala 1990 / 2002.
- [44] **P.D.A.U**. – Commune de Ksar Chellala. – URBATIA, Direction Tissemsilt 1994.
- [45] **P.D.A.U**. – Commune de Seguine – ANAT 30, Avenue Mohamed Fellah Kouba Alger.
- [46] **REZNIKOV** (A). – Laboratoire hydro chimique de campagne type 1959. Instruction. – Tbilissi. 1963.

- [47] **REZZIG MAKHADMI** (Abdelkader). – Pollution de l'environnement. – Dangers du présent et défis du futur. – O.P.U, 1 place centrale de Ben Aknoun Alger, 2000. – ISBN : 9961.0.0474.4.
- [48] **ROBERSON** (John A.), **CASSIDY** (John J.) **CHAUDHRY** (M.Hanif). – Hydraulic engineering. – Second edition. – John Wiley & Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York, 1997. ISBN : 0-471-12466-4.
- [49] **RODIER** (Jean). – L'analyse de l'eau; eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. – Tome I. – 8^e édition. – Editions Dunod, Paris, 1996, ISBN : 2 10 002416 7.
- [50] **ROUESSAC** (F) et **ROUESSAC** (A). – Analyse chimique. – Méthodes et Techniques Instrumentales Modernes. – Masson Editeur 120, Bd Saint-Germain 75280Paris Cedex 06. 1994. ISBN : 2-225-84523-9.
- [51] **SAMSOEN** (Marc). – Les eaux souterraines dans les territoires du sud. - Imp. Typo – Litho et Carbonel Réunion, 2, Rue de Normandie Alger 1941. N° 3508.
- [52] **SELTZER** (P). – Le climat de l'Algérie. – Travaux de l'institut de météorologie et de physique du globe de l'Algérie. – Université d'Alger, 1946.
- [53] **S.E.S.** - Recueil des méthodes d'analyse, interprétation des résultats et informations diverses à l'usage des demandeurs d'analyses. – Service des études scientifiques – Laboratoire d'hydro chimie, Clair bois Birmandreïs Alger 1969.
- [54] **TAMPO** (Deborah). – Les eaux conditionnées. – TEC & DOC, 11, rue Lavoisier F. 75384 Paris Cedex 8, 1992. – ISBN : 2-85206-801-X.
- [55] **TARDAT-HENRY** (Monique). – Chimie des eaux. – Editions Le Griffon d'argile, 7649, Boulevard Wilfrid-Hamel Sainte-Foy (Québec), 1992. – ISBN : 2-920922-87-4.
- [56] **TCHELIDZE** (D.) et **KOKRACHVILI** (Z.) Hydrochimie. – Manuel d'étude méthodique pour l'appréciation de la composition chimique de l'eau. – I.H.B Tipaza 1980.
- [57] **VALIRON** (F.). – Gestion des eaux. – principes - moyens - structures. Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, 28, rue des Saints-Pères 75007 Paris, 1990. – ISBN : 2-85978-136-6.
- [58] **VÆTZEL** (A.) et **RICHARD** (M.). – Service des eaux. – Editions France Sélection, 9 à 13 rue du Département 75019 Paris, 1974.
- [59] **VSESSOJUZOJE** (O.). – Rapport général sur les études hydrogéologiques, Volume II, Livre 1, Textes. – Moscou. 1971.
- [60] **VSESSOJUZOJE** (O.). – Catalogue des ouvrages et résultats des analyses de laboratoires des échantillons d'eau et des roches, Volume II, Livre 3, Moscou.1971.

ANNEXES

Méthodes d'analyses physico-chimiques de l'eau

Dosage du calcium :

Méthode gravimétrique :

Principe :

Le calcium de l'eau à analyser est précipité sous forme d'oxalate en milieu acétique.

Le précipité est, après lavage minéraliser et peser.

Réactifs :

- Solution saturée d'oxalate d'ammonium.
- Solution saturée de chlorure d'ammonium.
- Solution d'hélianthine à 1 %.
- Acide chlorhydrique pur.
- Acide acétique pur.
- Ammoniaque pure.

Mode opératoire :

Introduire dans un becher 200 ml d'eau à analyser puis 10 ml de solution saturée de chlorure d'ammonium et une goutte de solution d'hélianthine à 1 %. Ajouter ensuite goutte à goutte de l'acide chlorhydrique pur jusqu'à virage au rouge, puis de l'ammoniaque jusqu'à virage au jaune. S'il se produit un précipité de fer, filtrer. Rendre alors la solution nettement acide par un excès d'acide acétique, puis verser 25 ml de solution d'oxalate d'ammonium à saturation. Couvrir et laisser reposer pendant 24 heures à température ambiante. Filtrer à froid sur filtre et laver abondamment le précipité à l'eau bouillante jusqu'à cessation de toute réaction. Sécher le précipité à l'étuve à 110 °C puis minéraliser au rouge vif dans une capsule de platine tarée. Refroidir au dessiccateur et peser. Soit M la masse du précipité en mg.

Expression des résultats :

Pour une prise d'essai de 200 ml :

$M \times 5$ donne la teneur en calcium, exprimée en mg de CaO par litre d'eau.

$M \times 5 \times 0,701$ donne la teneur en calcium, exprimée en mg par litre d'eau.

Dosage du magnésium :

Méthode gravimétrique :

Principe :

Après élimination du calcium, le magnésium est précipité dans l'eau sous forme de phosphate ammoniaco-magnésien qui, après calcination permet le dosage des ions Mg^{++} sous forme de pyrophosphate MgP_2O_7 milieu acétique.

Réactifs :

- Acide chlorhydrique (d =1,19).
- Solution de phosphate d'ammonium à 25 %.
- Ammoniaque pure.
- Solution d'ammoniaque diluée au 1/2.

Mode opératoire :

Evaporer le filtrat acétique provenant de la précipitation du calcium jusqu'à environ 150ml. Ajouter 2 gouttes d'acide chlorhydrique, puis 20ml de phosphate d'ammonium à 25 %. Porter à ébullition. Neutraliser la solution encore chaude par de l'ammoniaque, puis ajouter 1/5 du volume d'ammoniaque pure. Si le précipité est lent à se former, frotter les parois du bécher avec un agitateur.

Agiter et laisser reposer 12 heures à la température ambiante.

Filtrer et laver le précipité à l'ammoniaque. Sécher. Minéraliser au rouge vif dans une capsule tarée.

Peser. Soit P le poids du pyrophosphate de magnésium en milligrammes.

Expression des résultats :

Pour une prise d'essai de 200 ml :

$P \times 5$ donne la teneur du pyrophosphate de magnésium, exprimée en mg par litre d'eau.

$P \times 5 \times 1,086$ donne la teneur en magnésium, exprimée en mg par litre d'eau.

Dosage simultané du sodium et du potassium :

Méthode par spectrophotométrie d'émission de flamme :

Principe :

Lorsque les atomes d'un élément sont excités par une flamme, ils émettent des photons de longueur d'onde déterminée dont l'intensité peut être mesurée par spectrophotométrie.

La concentration initiale du cation à doser est déduite de la valeur absolue de l'intensité spectrale mesurée.

Réactifs :

- Acide nitrique.
 - Solution étalon de sodium à 1g/l :
Chlorure de sodium pur déshydraté 2,542g.
Eau permutée q.s.p 1000 ml.
- Conserver cette solution dans un flacon en verre ou en PVC.
- Solution étalon de potassium à 1g/l :
Chlorure de potassium déshydraté 1.907g.
Eau permutée q.s.p 1000 ml.

Dosage des ions toxiques :

Une analyse concernant les ions toxiques susceptibles d'être présent en quantité pouvant engendrer des problèmes pour la santé, a été faite.

Les résultats obtenus ont prouvé que la quantité en ions toxiques est très faible comparativement avec les normes et ne pouvant en aucun cas nuire, voir annexe A.

Annexe A : Résultats des ions toxiques

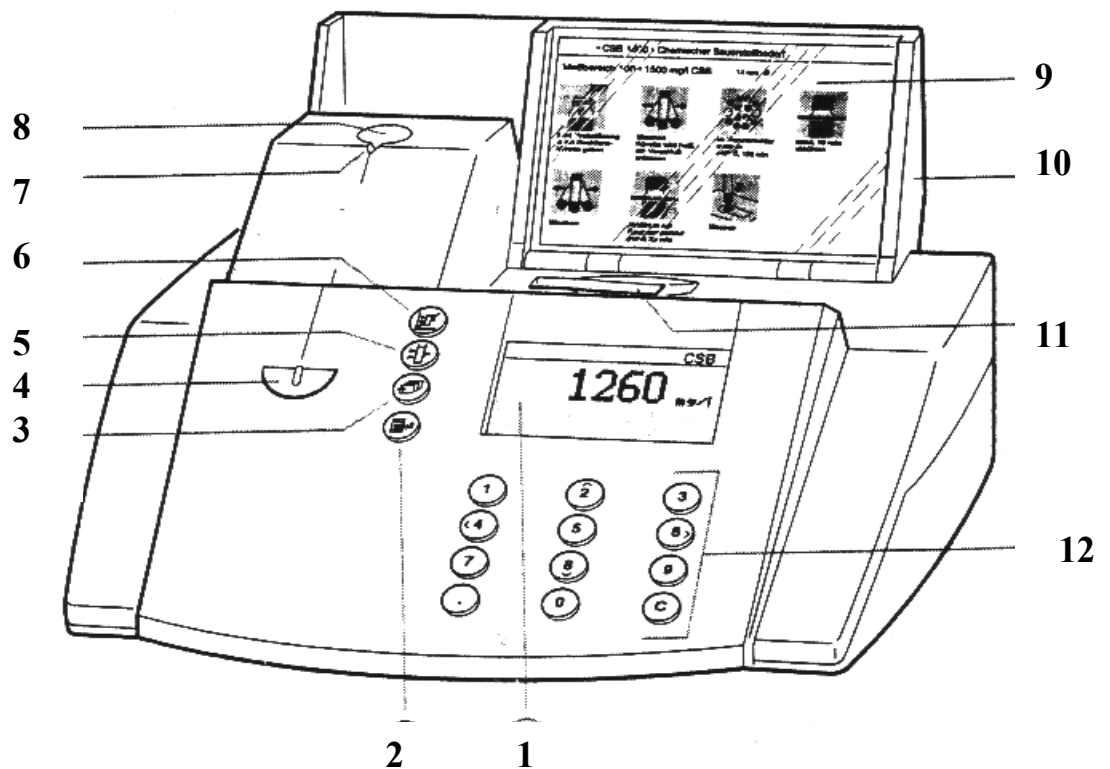
| N° Forages | Ions dosés (mg / L) | | |
|------------|------------------------------|------|---------|
| | NO ₃ ⁻ | Pb | Cd |
| 42 | 1.04 | 0.04 | < 0.025 |
| 300 | 1.035 | 0.05 | " |
| 301 | 0.37 | 0.02 | " |
| 302 | 0.8 | 0.03 | " |
| 309 | 0.99 | 0.02 | " |
| 310 | 1.44 | 0.05 | " |

Les recherches actuelles prouvent que la consommation des nitrates est totalement inoffensive pour l'homme sans limites de doses.

Les expérimentations chez l'animal, avec des doses massives jusqu'à 2.5g/Kg de masse corporelle, n'ont provoqué aucun trouble.

Chez l'homme la norme de l'OMS est fixée à 3.65mg/Kg de masse corporelle par jour et revue en hausse à 5mg/Kg de masse corporelle par jour.

Les eaux de consommation collective titrent jusqu'à 40mg/L de nitrates et sont tout à fait potables et totalement inoffensives. Tous les tests de toxicité sont négatifs.



1. Affichage
2. Touche d'appel menu
3. bouton page
4. Cavité pour note
5. Bouton arrêt
6. Bouton concentration
7. entaille ajustement cuvette
8. Fente circulaire de cuvette
9. Case pour analyses
10. Couvercle avec contacteur marche / arrêt intégré
11. Cuvette rectangulaire
12. bloc principal : clavier numérique , curseur remise à zéro , virgule

Annexe B : Photomètre à filtre

SONDAGE SERGUINE ERITISSA F.42
 Carte: DJEBEL KRADDU N° 250 Au. 1/50.000
 Date des travaux: 1966-1970
 Echelle de la coupe: 1/2000

N° Fichler Forages | INVENTAIRE

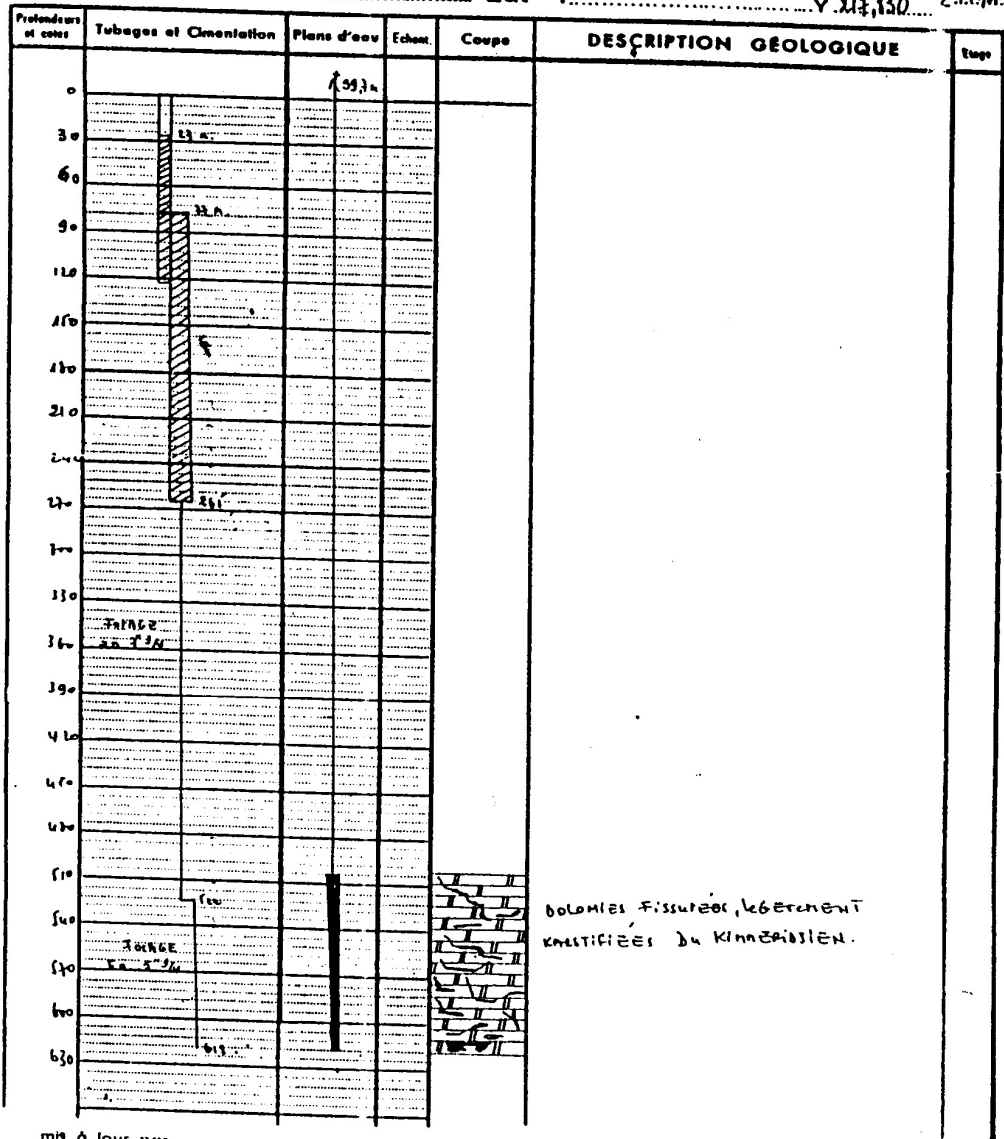
Long: X 47,340
 Lat: Y 25,490 Z 296

| Profondeurs et cotes | Tubages et Cimentation | Plans d'eau | Echant. | Coupe | DESCRIPTION GÉOLOGIQUE | Topo |
|-------------------------|------------------------|-------------|---------|-------|------------------------|------|
| 0 | | | | | | |
| 20 | | | | | | |
| 40 | | | | | | |
| 60 | | | | | | |
| 80 | | | | | | |
| 100 | | | | | | |
| 120 | | | | | | |
| 140 | | | | | | |
| 160 | | | | | | |
| 180 | | | | | | |
| 200 | | | | | | |
| 220 | | | | | | |
| 240 | | | | | | |
| 260 | | | | | | |
| 280 | | | | | | |
| 300 | | | | | | |
| 320 | | | | | | |
| 340 | | | | | | |
| 360 | | | | | | |
| 380 | | | | | | |
| 390 | | | | | | |
| 400 | | | | | | |
| 410 | | | | | | |
| 420 | | | | | | |
| 430 | | | | | | |
| 440 | | | | | | |
| 450 | | | | | | |
| 460 | | | | | | |
| 470 | | | | | | |
| 480 | | | | | | |
| 490 | | | | | | |
| 500 | | | | | | |
| 510 | | | | | | |
| 520 | | | | | | |
| 530 | | | | | | |
| 540 | | | | | | |
| 550 | | | | | | |
| 560 | | | | | | |
| 570 | | | | | | |
| 580 | | | | | | |
| 590 | | | | | | |
| 600 | | | | | | |
| 610 | | | | | | |
| 620 | | | | | | |
| 630 | | | | | | |
| 640 | | | | | | |
| 650 | | | | | | |
| 660 | | | | | | |
| 670 | | | | | | |
| 680 | | | | | | |
| 690 | | | | | | |
| 700 | | | | | | |
| 710 | | | | | | |
| 720 | | | | | | |
| 730 | | | | | | |
| 740 | | | | | | |
| 750 | | | | | | |
| 760 | | | | | | |
| 770 | | | | | | |
| 780 | | | | | | |
| 790 | | | | | | |
| 800 | | | | | | |
| 810 | | | | | | |
| 820 | | | | | | |
| 830 | | | | | | |
| 840 | | | | | | |
| 850 | | | | | | |
| 860 | | | | | | |
| 870 | | | | | | |
| 880 | | | | | | |
| 890 | | | | | | |
| 900 | | | | | | |
| 910 | | | | | | |
| 920 | | | | | | |
| 930 | | | | | | |
| 940 | | | | | | |
| 950 | | | | | | |
| 960 | | | | | | |
| 970 | | | | | | |
| 980 | | | | | | |
| 990 | | | | | | |
| 1000 | | | | | | |

Annexe C : Coupe technique forage 42 [14]

SONDAGE SERGUINE F. 301
 Carte: DIEBEL KRADOU, N° 250 du 1/10.000
 Date des travaux: 1966, 1970 Long:
 Echelle de la coupe: 1/5000 Lat: X 411,260
 Y 217,830 2.711,0

N° Fichier Forages:
 N° INVENTAIRE:



mis à jour par

Annexe D : Coupe technique forage 301 [14]

SONDAGE SERGUINE F 302
 Carte: DIEBEL KRADOU N° 250 au 1/50.000
 Date des travaux: 1966-1972
 Echelle de la coupe: 1/1.000

N: Fichler Forages N: INVENT: IRE

Long: X 479,520
 Lat: Y 217,320 Z 100

| Profondeurs et cotés | Tubages et Cimentation | Plans d'eau | Echant. | Coupe | DESCRIPTION GÉOLOGIQUE | type |
|-------------------------|------------------------|-------------|---------|-------|------------------------|------|
| 0 | | 2,10 | | | | |
| 10 | | | | | | |
| 20 | | | | | | |
| 30 | | | | | | |
| 40 | | | | | | |
| 50 | | | | | | |
| 60 | | | | | | |
| 70 | | | | | | |
| 80 | | | | | | |
| 90 | | | | | | |
| 100 | | | | | | |
| 110 | | | | | | |
| 120 | | | | | | |
| 130 | | | | | | |
| 140 | | | | | | |
| 150 | | | | | | |
| 160 | | | | | | |
| 170 | | | | | | |
| 180 | | | | | | |

COLONIES FISCALES ARTIFICIELLES DU
 KINNEBASSIEN.

mis à jour par

Annexe E : Coupe technique forage 302 [14]

SONDAGE SERRA GUINE F 309

Carte: DIEBEL KRABOU N° 250 Au 1/50.000

N° Fichier Forages N° INVENTAIRE

Date des travaux: 1966-1970

Long: X 436,360

Echelle de la coupe: 1/1000

Lat: Y 214,410 Z 117

| Profondeurs et cotes | Tubages et cimentation | Plans d'eau | Echant. | Coupe | DESCRIPTION GÉOLOGIQUE | Essai |
|----------------------|------------------------|-------------------|---------|-------|---|-------|
| 0 | | Station ↑ 0,11 | | | | |
| 15 | | | | | | |
| 30 | | | | | | |
| 45 | | | | | | |
| 60 | | | | | | |
| 75 | | | | | | |
| 90 | | | | | | |
| 105 | | | | | | |
| 120 | | | | | | |
| 135 | | | | | | |
| 150 | FORAGE E.S. | | | | | |
| 165 | | | | | | |
| 180 | | | | | | |
| 195 | | | | | | |
| 210 | | | | | | |
| 225 | | | | | DOLOMIES TRÈS FISSURÉES, KARSTIFIÉES DU KINNEBIDJEN. | |
| 240 | | | | | | |
| 255 | | | | | | |

m à jour par

Annexe F : Coupe technique forage 309 [14]

SONDAGE SERGUINE F.310

Carte: DIEBEL KRADO, N. 250. AU 1/50.000

Date des travaux: 1966-1970

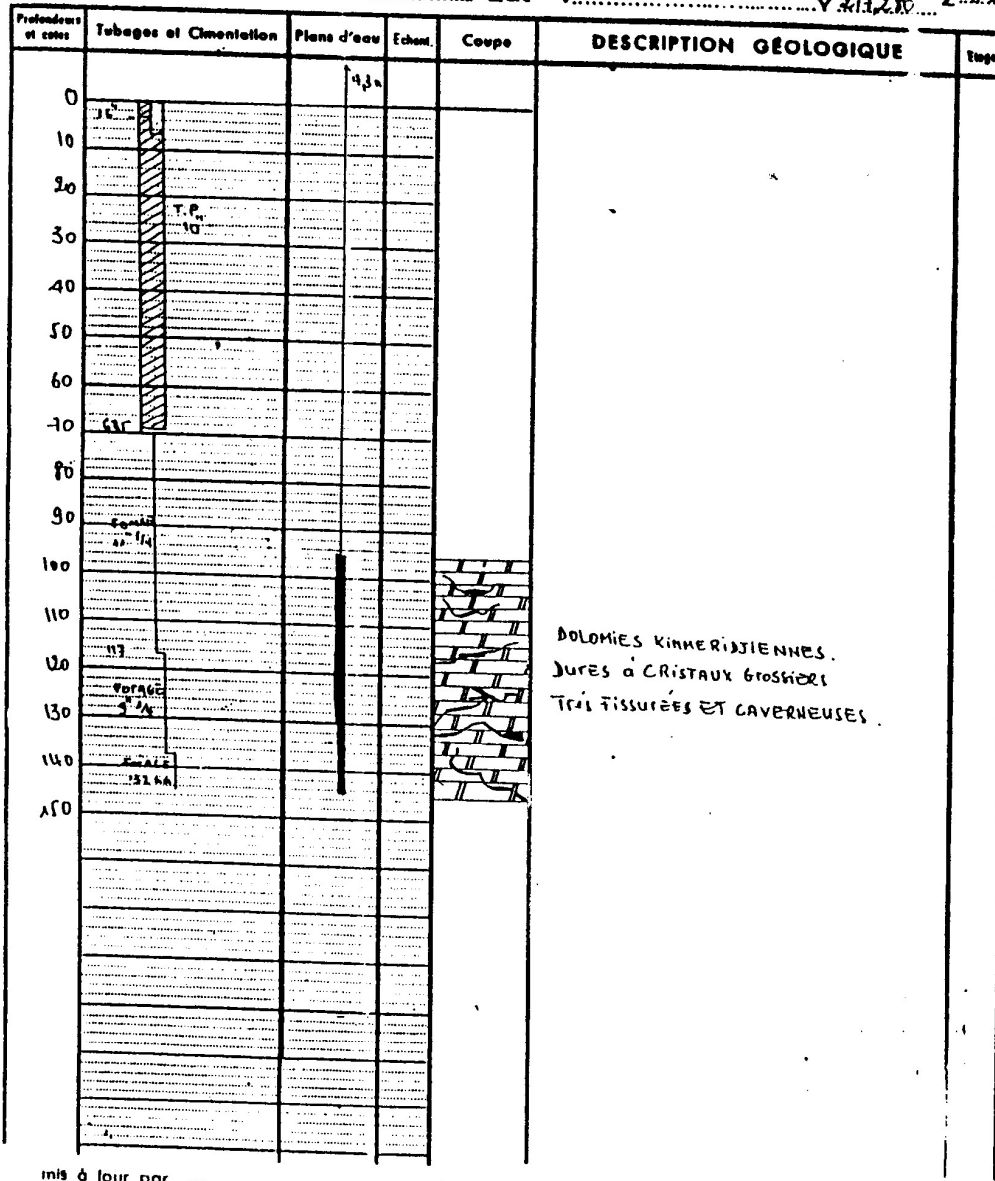
Echelle de la coupe: 1/1.000

N°Fichier Forages

N°INVENTAIRE

Long: X 479,252

Lat: Y 213,280 Z 812



Annexe G : Coupe technique forage 310 [14]