



*Université Cadi-Ayyad  
Faculté des Sciences et Techniques  
Département des sciences de la Terre  
Marrakech*



*Agence du Bassin Hydraulique  
de Tensift  
Marrakech*

## ***RAPPORT DE STAGE DE FIN D'ETUDES***

*Licences ès-Sciences et Techniques  
Eau et Environnement (LST – EE)*

# **Etude de la problématique des ressources en eau au voisinage de la mine de sel du centre Ida Ouazza, région de Smimou- Bassin d'Essaouira, Maroc**

*Réalisé par :*

***Ikram RHAF FOUR et Fatima-zahra KARMIL***

*Encadrées par :*

***Ait Addi A. (FST Marrakech)***

***El Hasnaoui N. (ABHT)***

*Soutenu le 17 juin 2015, devant le jury composé de :*

***Pr. Ben Kaddour A.F.***

***Dr. El Hasnaoui N.***

***Pr. Ait Addi A.***

*Année Universitaire : 2015-2016*

## *Remerciement*

Au terme de ce travail, il est agréable d'exprimer nos reconnaissances à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à sa réalisation.

Je tiens en premier lieu, à exprimer mes sincères remerciements à tous les Enseignants du Département des Sciences de la Terre de la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, et plus particulièrement au Professeur monsieur AIT ADDI ABDELAH, de nous avoir soutenues et appuyés tout le long de ce projet de fin d'études. Il nous a encouragés à surmonter les difficultés. Ces précieux conseils, ces commentaires, et ces critiques ont été très utiles pour structurer ce travail.

Monsieur, vous nous avez consacré de nombreuses heures de discussion, votre générosité nous a été un atout précieux. Un simple mot de merci n'est pas suffisant pour vous exprimer notre gratitude.

Les mots ne suffisent pas pour remercier, madame NAJAT EL HASNAOUI le Chef de la division du domaine public hydraulique pour leurs conseils, orientations et pour la grande liberté qu'ils m'ont laissée afin de réaliser ce travail, tout en restant à l'écoute et en veillant à ce que mon stage se déroule dans de bonnes conditions.

Notre remerciement également pour tous les fonctionnaires de service de planification dans l'agence de bassin hydraulique Tensift EL Haouz, qui ont essayé de nous encourager pendant toute la durée de notre stage.

Un grand merci est adressé à Madame Laila MANDI directrice du CNEREE et à toute l'équipe du centre, pour leurs conseils et leurs encouragements.

La gratitude la plus profonde est pour nos parents : Merci pour votre dévouement, votre amour, vos encouragements, votre soutien. Les mots ne suffisent pas à leur exprimé nos grand amour.

# Table des matières

INTRODUCTION .....	5
Cadre administratif de l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift .....	6
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE .....	7
I.1. Situation géographique .....	8
I.2. Contexte géologique .....	9
I.2.1. Géologie régionale .....	9
I.2.2. Géologie Locale .....	10
I.3. Contexte hydro-climatique .....	13
I.3.1. Climatologie .....	13
I.3.2. Hydrologie .....	14
I.4. contexte socio-économique .....	15
CHAPITRE II : METHODOLOGIE DU TRAVAIL .....	17
II.1. Bibliographie .....	18
II.2. Etablissement d'une coupe géologique .....	18
II.3. Enquête de terrain .....	19
II.4. Elaboration des logs stratigraphique .....	22
II.5. Numérisation des forages sur la carte géologique .....	23
II.6. Elaboration des cartes piézométriques .....	25
II.7. Analyses chimiques au laboratoire .....	28
II.7.1. La géolocalisation des sites de prélèvement (ABHT.2015) .....	28
II.7.2. Les dosages effectués en Laboratoire (CNEREE.2015) .....	28
II.7.3. Les représentations graphiques utilisées .....	30
CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATION DE L'ETUDE .....	33
III.1. Les ressources en eau locale .....	34
III.1.1. Coupe géologique .....	34
III.1.2. Logs stratigraphiques .....	35
III.1.3. Cartes piézométriques .....	36
III.1.4. Qualité des eaux souterraines .....	38
III.1.5. Identification des faciès chimiques .....	42
III.2. Aspect environnementale de la production des sels et son impact sur les ressources en eau .....	45
III.2.1. Impact de la salinité sur les terrains de la région d'Ida Ouazza .....	45
III.2.2. Impact des bâches plastiques dans la région d'Ida Ouazza .....	46
III.2.3. Impact de lavage des bassins de décantation sur la végétation .....	47
Conclusion .....	49

*Recommandation*..... 50  
*Références bibliographiques* : ..... 51  
*Liste des figures* : ..... 52  
*Liste des tableaux* : ..... 53  
*Liste des photos* : ..... 54



## Liste des Abréviations

- **A.B.H.T** : Agence De Bassin Hydraulique de Tensift El Haouz
- **F.S.T.G** : Faculté des Sciences et Techniques
- **X** : Longitude
- **Y** : Latitude
- **Z** : Altitude
- **NE** : Niveau d'eau
- **PT** : Profondeur d'eau total
- **NP** : Niveau piézométrique
- **Cd** : Conductivité
- **AEP** : Alimentation en Eau Potable
- **N.IRE** : Numéro d'Indice de Ressources en Eau
- **CNEREE** : le Centre National d'Etude et de Recherche sur l'Eau et l'Energie
- **E.D.T.A** : l'acide éthylène diamine tétra-acétique
- **CF** : coliformes fécaux

## INTRODUCTION

Le Maroc est connu à l'échelle mondiale par sa richesse minière très importante et très diversifiée. Cela est traduit par un nombre important d'exploitations minières, et parmi les plus connue dans la province d'Essaouira est celle de la région d'Ida Ouazza, c'est une mine exploitant un gisement salifères.

Cette exploitation de sels pourrait avoir un impact sur les ressources en eau d'une manière particulière et sur l'environnement d'une manière générale.

Dans le cadre de notre formation en licence science et technique filière « Eau et Environnement », au sein de la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech (F.S.T.), nous sommes tenues de préparer un projet de fin d'étude. Dans ce sens, nous avons effectué un stage au sein de l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift El Haouz (A.B.H.T.), intitulé « Etude de la problématique des ressources en eau du centre Ida Ouazza, région de Smimou- Bassin d'Essaouira, Maroc ». Les principaux objectifs de notre étude consistent en la détermination :

- L'influence des ressources en eau d'Ida Ouazza par la mine de sel.
- Aspect environnementale de la production des sels et son impact sur les ressources en eau.

Le travail réalisé comporte quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude du point de vue géologique, climatique, topographique, hydrologique et socio-économique.
- Le deuxième chapitre expliquera la méthodologie utilisée pour l'analyse de cette problématique.
- Le troisième chapitre présentera l'analyse approfondie des données sur les eaux souterraines pour évaluer la qualité des eaux de la région étudiée et l'aspect environnemental de la salinité sur la région.
- Le dernier chapitre donnera une conclusion et des recommandations.

## Cadre administratif de l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift

Au Maroc, la planification des ressources en eaux a été amorcée dès les années 1980 et améliorée en 1995 à travers le décret de la loi de l'eau 10-95 qui a donné naissance aux Agences du Bassin Hydraulique « ABH » qui sont au nombre de neuf.

Ces Agences ont pour but d'évaluer, de planifier et de gérer les ressources en eaux au niveau des bassins hydrauliques et cela par l'élaboration et la mise en œuvre des Plan Directeurs d'Aménagements Intégrés des Ressources en Eaux. «PDAIRE».

L'ABHT est instaurée par le décret du 14 Novembre 2000, en application de l'article 20 de la loi sur l'Eau, afin d'assurer une gestion intégrée et concertée des ressources en eau pour un développement durable du bassin hydraulique du Tensift (ABHT. LACHGAR).

### Objectifs de création des Agences de Bassins Hydrauliques :

- Protection et conservation quantitative et qualitative des ressources en eau.
- Planification cohérente et obligatoire à l'échelle du bassin hydraulique.
- Utilisation rationnelle et optimale de l'eau.
- Gestion intégrée, décentralisée et forcée des ressources en eau et du domaine public hydraulique. (ABHT. LACHGAR).

### Agence du Bassin Hydraulique est chargée de :

- Réaliser les mesures et les études nécessaires à l'évaluation, la planification et la gestion des ressources en eau.
- Réaliser les mesures de qualité de l'eau et appliquer les dispositions réglementaires relatives à la protection des ressources en eaux et à la restauration de leur qualité.
- Elaborer le « PDAIRE » et de veiller à son application.
- Fournir les aides financières et l'assistance technique dans le domaine de la pollution des ressources en eau.
- Gérer et contrôler l'utilisation des ressources en eau mobilisées.
- Proposer et exécuter les mesures adéquates pour assurer l'approvisionnement en eau en cas de pénurie d'eau ou pour prévenir les risques d'inondations.
- Réaliser les infrastructures nécessaires à la prévention et à la lutte contre les inondations.
- Tenir un registre des droits d'eau reconnus et des concessions et autorisations de prélèvement d'eau accordée. (La loi 10-95 sur l'eau ? section III, Articles 20-24) (ABHT. LACHGAR).

CHAPITRE I  
PRESENTATION DE LA ZONE  
D'ETUDE

## CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

### I.1. Situation géographique

La zone d'Ida Ouazza étudiée dans le présent mémoire est située dans la région de Smimou (bassin d'Essaouira). Elle est rattachée administrativement à la province d'Essaouira et culturellement à la ville d'Agadir. Elle correspond au prolongement du Haut Atlas occidental sur une superficie totale d'environ 53,73 km<sup>2</sup>. Elle est limitée au Nord par la ville d'Essaouira à 40,15km, au Sud par la Commune de Tamarar à 15,61Km, à l'Ouest par l'océan atlantique à 9,94km (Figure. 1).

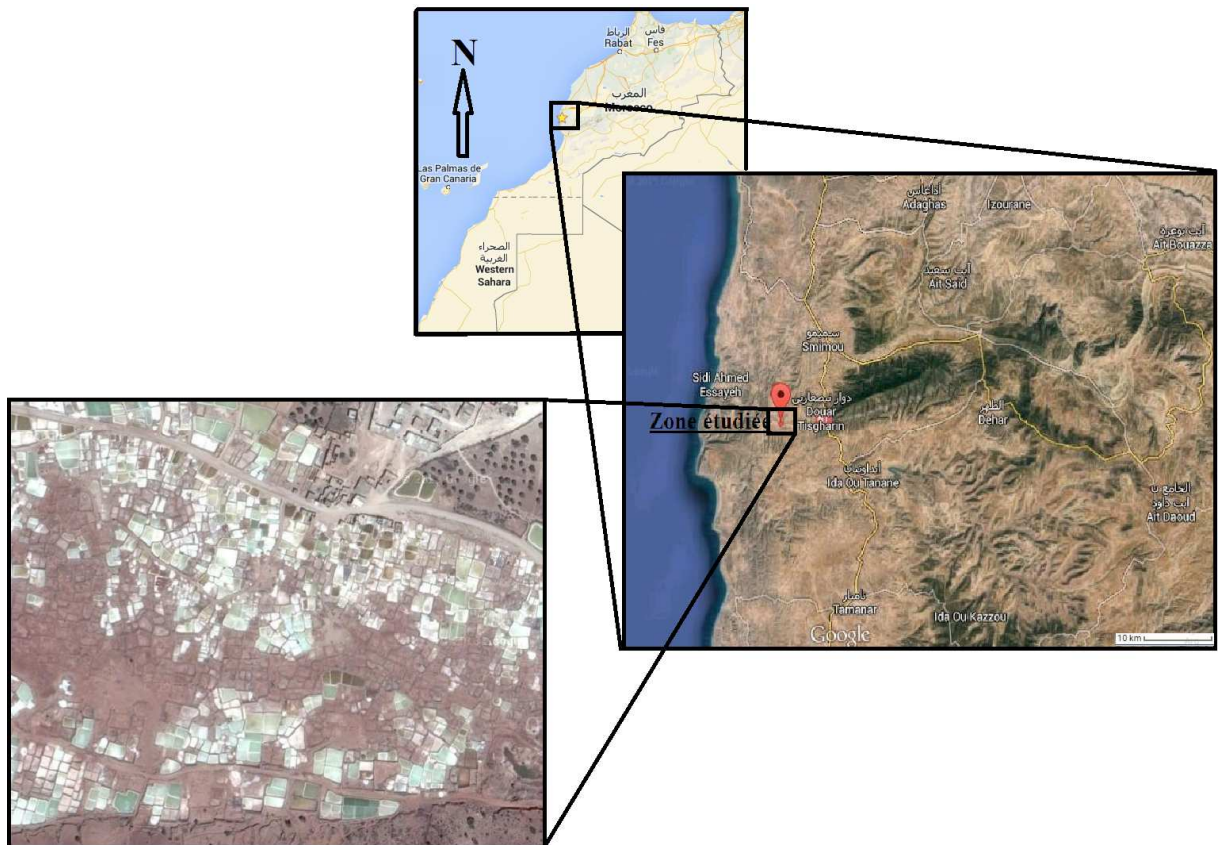


Figure 1 : Localisation de la zone étudiée.

## I.2. Contexte géologique

### I.2.1. Géologie régionale

Le bassin d'Essaouira est situé au centre-ouest du Maroc. Il couvre une superficie de l'ordre de 20 000 km<sup>2</sup> de la marge passive du mésozoïque. Il est caractérisé par des dépôts paléozoïques qui ont été largement affectés, au carbonifère, par l'orogénèse hercynienne (Fig. 2). A la suite de cet important évènement tectonique, l'évolution tectono-sédimentaire du bassin fut contrôlée, durant le mésozoïque par une distension qui a débuté au Trias et qui est liée à l'ouverture de l'océan atlantique. En effet, durant le Trias et le début du Lias, les dépôts ont été contrôlés par des failles normales extensives entraînant la formation de blocs basculés et d'épaisses séries détritiques rouges, de sel et de dolomies ont été déposées (Duffaud et al. 1966).

Durant le Jurassique et le Crétacé, la sédimentation a été caractérisée par des carbonates marins de plate-forme et des anhydrites qui furent interrompus par plusieurs intervalles silicoclastiques. Les dépôts mésozoïques ont été déformés par la suite par l'orogénèse alpine qui a été à l'origine de nombreuses structures salifères.

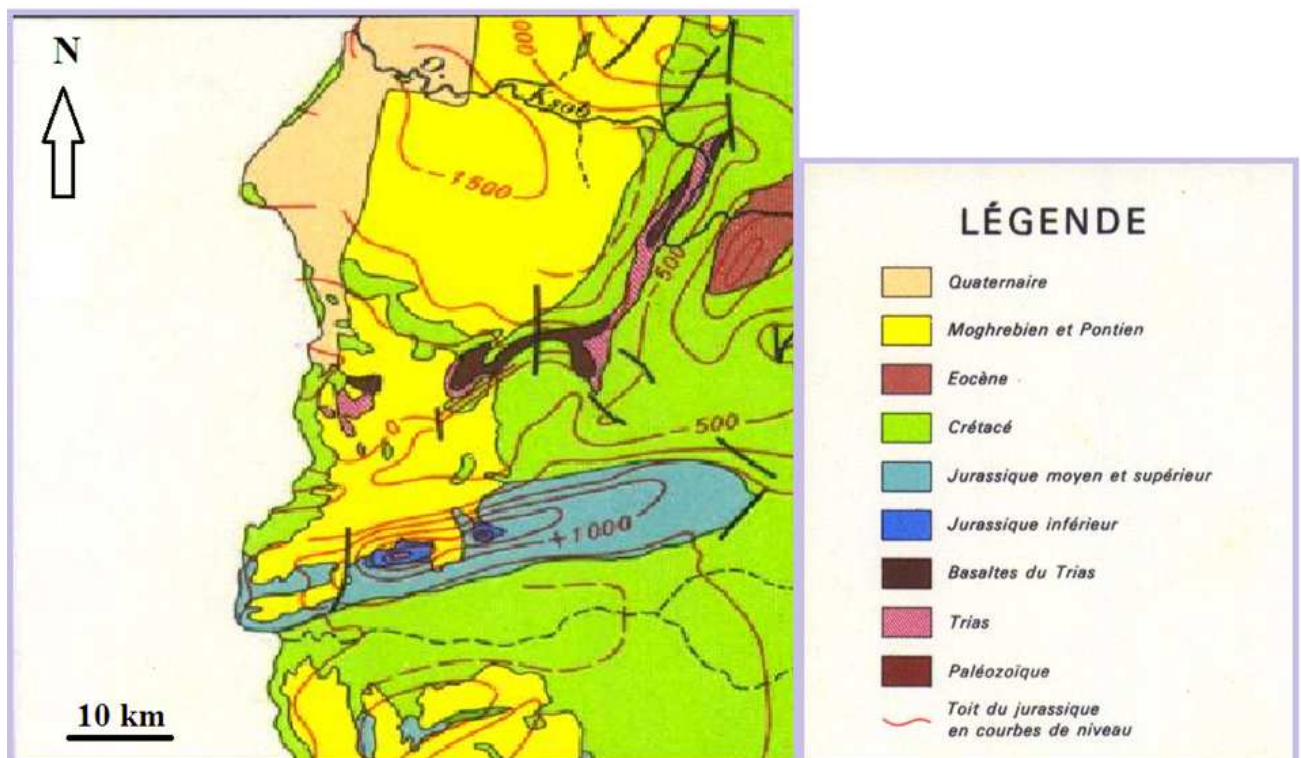


Figure 2 : Carte géologique du bassin d'Essaouira (ABHT).

### I.2.2. Géologie Locale

Le centre de la région d'Ida Ouazza est situé dans le cœur de l'anticlinal d'Amsittène formé suite à la montée de diapirs de sel dans une zone de dépression. Cet anticlinal est un peu dissymétrique avec un faible déversement au Nord (Duffaud et al. 1966). Il est situé au sommet d'une faille de transfert triasique orientée E-W. L'anticlinal est formé par les formations géologiques ci-dessous (Figures 3 et 4) :

- **Trias** : sa partie supérieure est formée par des argiles-salifères d'Argana (Diapir).
- **Jurassique** : la série jurassique a été différenciée en treize unités lithostratigraphiques (Fig. 4):
  - Le récif de l'Amsittène (30 m) : composé de dolomies et de calcaires récifaux ou épi récifaux. Il a été daté lias inférieur à moyen.
  - Des grès rouges de l'Amsittène (200 m) : constitués par des conglomérats à la base, des argiles et des marnes sableuses au sommet. Ils ont été attribués au Lias supérieur.
  - Des dolomies d'Anklout : Cette formation est carbonatée aux bases (200 à 300 m) et marneuses au sommet (100 à 150 m). Elle est datée du Toarcien Aalénien.
  - Des grès rouges d'Ameskhoud (200 à 300 m) : Ce sont des conglomérats, des grès et des marnes rouges intercalées de bancs calcaires. Un âge Jurassique moyen (Dogger) a été attribué à cette unité.
  - Des dolomies de l'Amsittène (50 m) : constitués de grès à ciment dolomitique. Cette formation a été daté Dogger.
  - Des calcaires d'Anklout : épais de 50 m, ils sont formés par des calcaires bioclastiques argileux et finement gréseux. Ils sont datés Callovien moyen et supérieur.
  - Des marnes d'Anklout (50 m) : constituées de marnes grises et vertes. Ils ont été datées Oxfordien inférieur.
  - Le réservoir de Sidi Rhalem (40 m) : Il débute par des calcaires fins gris à beiges Parfois argileux (85 m) et se termine par des dolomies

gréseuses cristallines beiges. Un âge Oxfordien moyen a été attribué à cette formation

- Des calcaires du Hadid (120 m) : Ils débutent par des calcaires gris-beiges, puis des calcaires argileux blanchâtres et se terminent par des calcaires graveleux. Ils sont datés Oxfordien supérieur.
- Des marnes rouges d'Imouzzer (50 m) : Ce sont des marnes rouges anhydritiques aux bases, suivies d'une alternance de dolomies à dolomies calcaires à taches d'anhydrite et de niveaux marneux. Les marnes rouges d'Imouzzer sont datées Kimméridgien inférieur.
- Des calcaires dolomitiques d'Ihchech (150 m) : Des calcaires dolomitiques alternant avec des niveaux marneux à anhydrites. Ils ont été attribués au Kimméridgien supérieur.
- Anhydrite de l'Ihchech (60 m) : Il correspond à un épisode régressif représenté par des marnodolomitique, parfois entièrement envahi par l'anhydrite. cette unité litho stratigraphique est datée Portlandien.
- Des calcaires de Timsilline (200 m) : Il s'agit de calcaires dolomitiques et de marno-dolomies à niveaux de calcaires grumeleux ou pseudoolithiques. Ces calcaires correspondent en grande partie au Portlandien supérieur mais se terminent au sommet par un niveau bien daté du Berriasien par les Dasycladacé.
- **Oligocène** : Grès et conglomératiques d'Agadir (50 m) : il s'agit de grès et conglomérats.
- **Plio-quaternaire** (Figure 4):
  - Marnes et grès d'EL Mhasseur (70 m)
  - Grès de Tidsi (20 m)
  - Grès dunaires d'Akermoud (15 m).



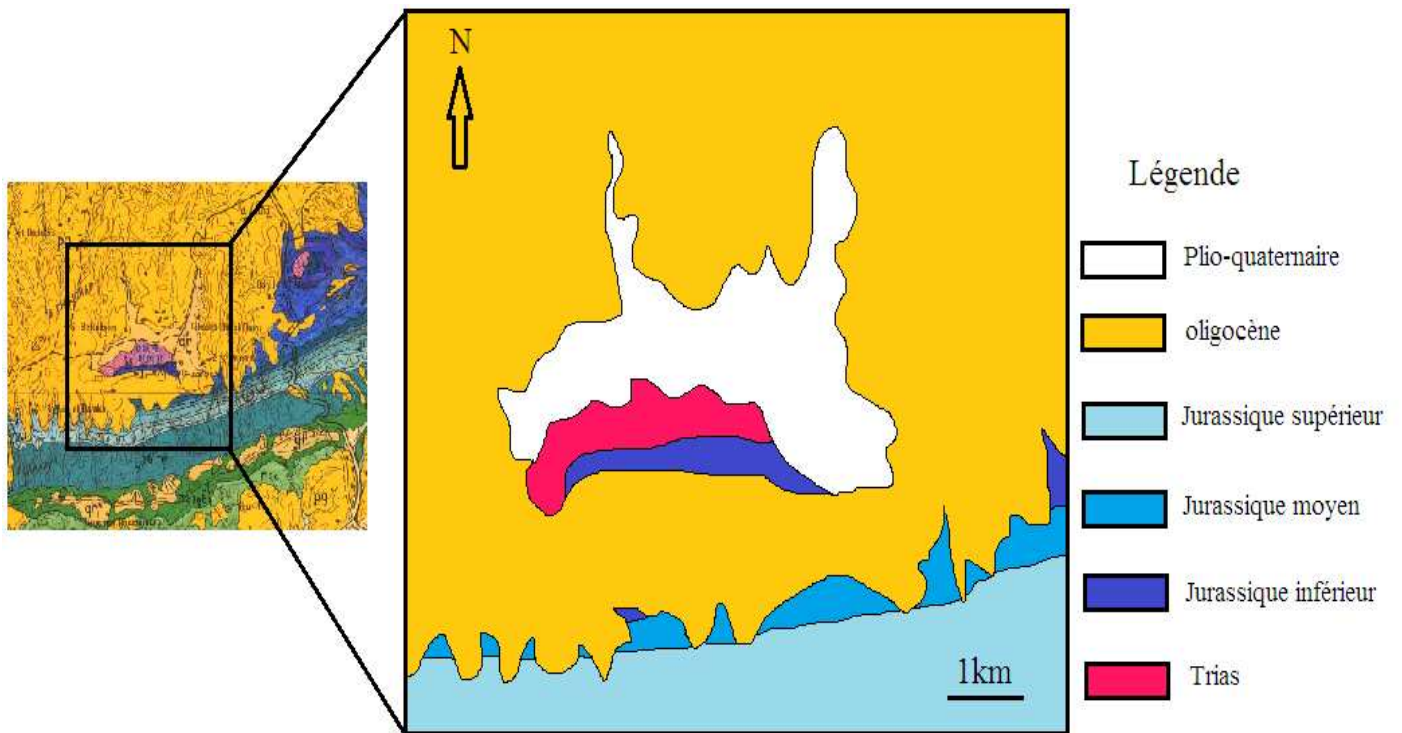


Figure 3 : Carte géologique schématique du centre de la région d'Ida Ouazza (ABHT).

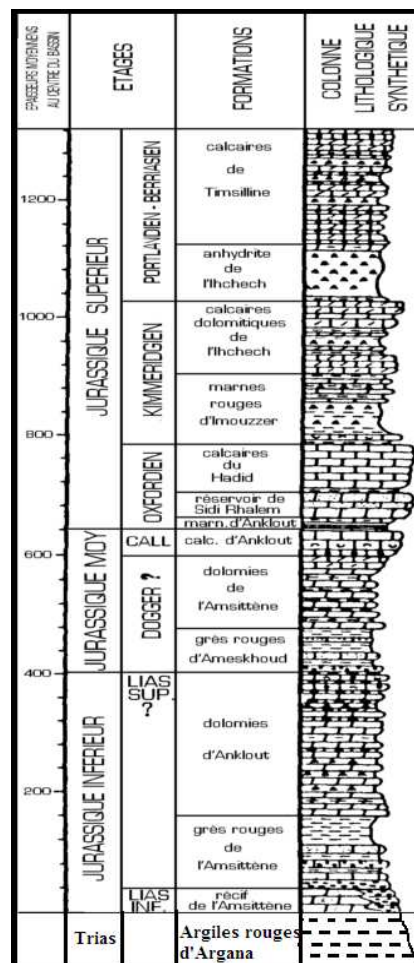


Figure 4: Log stratigraphique du centre de la région d'Ida Ouazza (Duffaud et al., 1966).

## I.3. Contexte hydro-climatique

### I.3.1. Climatologie

La région d'Ida Ouazza est caractérisée par un climat aride à semi-aride (Water management consulting, 2010). Les températures annuelles moyennes varient entre 18°C et 23°C, faisant de la province une destination favorable tout au long de l'année. Les mois les plus chauds sont généralement Juillet et Aout (supérieure à 27°C) et le mois le plus froid est Janvier (inférieur à 10°C).

En effet, le climat présente aussi une diversité tant du point de vue des températures que des précipitations. Ceci est dû à l'encadrement océanique (Atlantique) d'un côté et la hauteur des montagnes de l'autre.

Le régime pluviométrique est caractérisé par la succession de deux périodes : la première est une saison pluvieuse en automne et en hiver suivie d'une longue période très peu pluvieuse d'avril à octobre. La moyenne annuelle des précipitations est de 300 mm/an (Water management consulting, 2010).

L'évaporation dans la région d'Ida Ouazza est de moyenne annuelle de l'ordre de 2400 mm, variant très peu d'année en année. C'est un facteur très important pour l'extraction de sel dans le centre de la région d'Ida Ouazza (La mine de sel), plus la température est augmentée plus que le taux d'évaporation est forte plus la précipitation des cristaux de sel est élevée.

### I.3.2. Hydrologie

Le réseau hydrographique de la province d'Essaouira est très dispersé dont le principale cours d'eau important est Oued Ksob puisqu'il représente la majorité des ressources en eau de la région d'Essaouira.

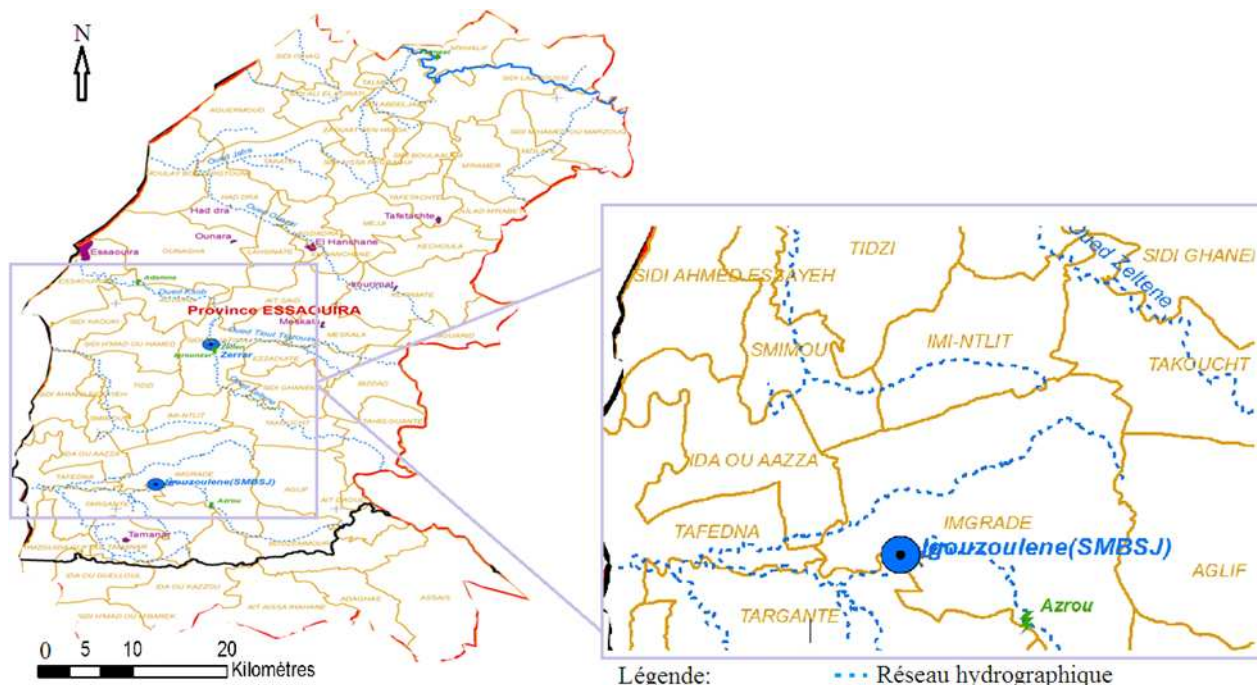


Figure 5 : Carte des réseaux hydrographiques (ABHT).

De même pour le centre d'Ida Ouazza, le réseau hydrographique est formé de cours d'eaux et talwegs qui s'écoulent à partir des eaux pluviales (Figure 6 B), ce qui engendre une accumulation de ces eaux de pluies au niveau de la dépression de la mine (Figures 6A)

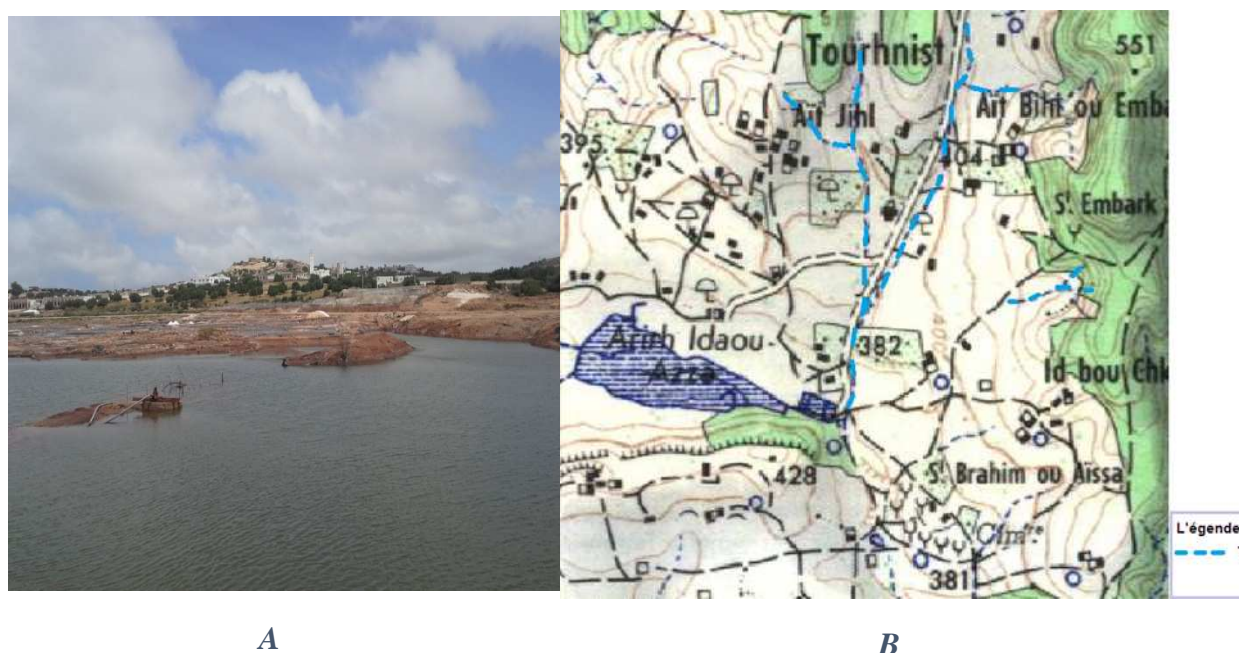


Figure 6 : A : Talwegs alimentant le centre de la région d'Ida Ouazza. B : Les eaux stagnantes de la mine de sel d'Ida Ouazza (05 Mai 2015).



## I.4. Contexte socio-économique

### Production de sels

La mine de sel d'Ida Ouazza est modernisée dans les années 1980, l'exploitation est très ancienne et basée sur l'extraction des cristaux salins de la mine (Photo 1). De nombreux petits puits ont été creusés avec des moyens rudimentaires afin d'atteindre les veines de sel gemme. L'extraction consiste alors à faire circuler de l'eau douce ou de pluies à travers de ces puits et galeries afin qu'elle se charge en cristaux de sel, puis à pomper cette eau salée à la surface. L'eau salée est alors versée dans divers bassins de décantation

- **Origine des sels :**

La mine de sel d'Ida Ouazza se trouve dans une formation triasique formée des argiles rouges salifères connue sous le nom de Diapir comportant des anhydrites solubles dans l'eau.



*Photo 1 : La mine de sel d'Ida Ouazza (5 Mai 2015).*

- **Bassin de décantation :**

Ils sont quelques dizaines aux alentours de cette petite mine de sel, répartis sur une dizaine d'hectares. Tout d'abord façonnés à la main dans une terre glaise très fine, le fond et les côtés sont recouverts de bâches plastiques. Une fois cette opération délicate menée à bien, l'eau chargée en sel est déversée dans ces bassins où l'action conjuguée du soleil et de la chaleur provoque l'évaporation de l'eau et la décantation du sel (Photo 2). Par la suite les sels sont collectés d'une manière traditionnelle et sont stockés en tas réguliers recouverts de bâches plastiques, en attendant d'être mis en sacs et transportés.



*Photo 2 : Un bassin de décantation dans la région d'Ida Ouazza (05 Mai 2015).*



CHAPITRE II  
METHODOLOGIE DU  
TRAVAIL

## CHAPITRE II : METHODOLOGIE DU TRAVAIL

### II.1. Bibliographie

La première phase de notre stage consiste à prendre contact avec l'ABHT, savoir ses attributions et son rôle pour la gestion intégrée des ressources en eau. Par la suite, prendre connaissance des études existantes et collecter les données disponibles au niveau de cette agence.

Parmi les données disponibles, nous présentons le tableau ci-joint (Tableau1) récapitulatif des points d'eau collectés (Forages), dont les caractéristiques sont les suivantes :

*Tableau1: Tableau des données collectées de l'ABHT.*

<i>N°IRE</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	<i>NE (m)</i>	<i>PT (m)</i>	<i>NP (m)</i>	<i>Cd (μS/cm)</i>
484/51	89000	70900		63,5	114		
443/51	90400	79000	280	Sec	164		
444/51	92650	68350	355	Sec	148		
442/51	90500	66000	220	46,2	160	173,8	2500
469/51	90500	66000	220	45,9	127	174,1	2400
483/51	89050	70900	400	61,5	190	338,5	2200
487/51	86800	69200	380	12	230	368	3600
441/51	86250	66800	180	Sec	190		
277/51	86450	70310	382	63,6	72	318,4	1259
485/51	85800	71100	390	Sec	230		
487/51	86800	69200	380	12	230	368	3600
361/51	86450	70300	382	33,5	90,6	348,5	1250
400/51	81300	70950	340	Sec	89		
401/51	81350	71000	350	Sec	150		
402/51	80850	68950	390	Sec	42		

### II.2. Etablissement d'une coupe géologique

On a établi une coupe géologique A-B NNW-SSE traversant la mine de sel et montrant la coupe des forages avoisinant (Figure 7). (A partir de cette coupe on a ressortie deux logs stratigraphiques des deux forages étudiés (d'exploitant de sel (12) et de l'AEP). Cette coupe géologique nous permettra de déterminer la lithologie des forages du secteur étudié, le pendage et la succession des formations et en fin de mieux cerner les causes de la variation du chimisme des eaux de la région.



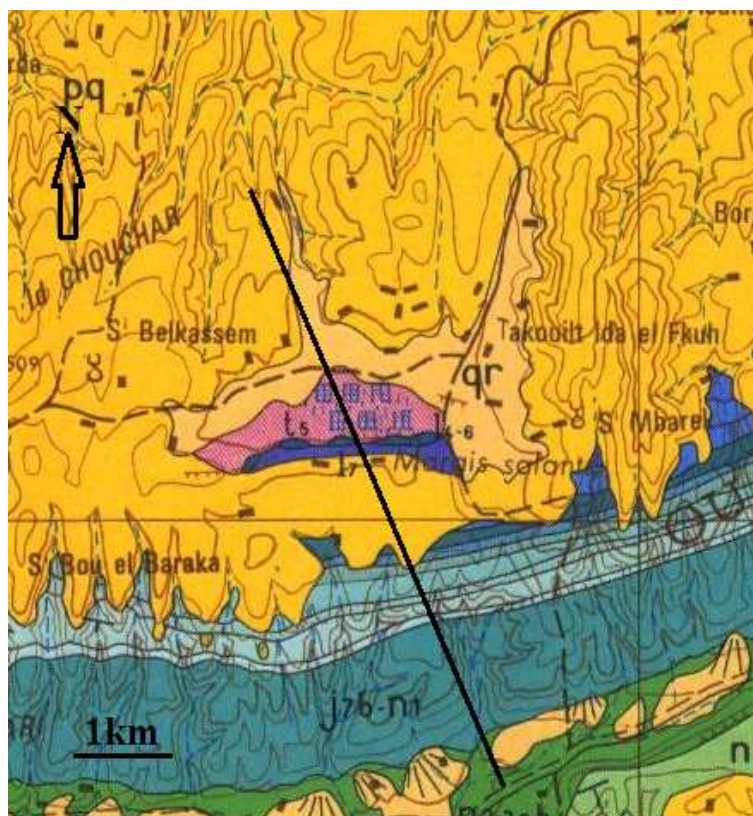


Figure 7 : L'orientation de la coupe géologique sur la carte géologique de Tamanar au 1/1000000 (ABHT).

### II.3. Enquête de terrain

C'est la deuxième phase du stage qui nous a servi de bien comprendre le sujet de notre stage et de l'exploration géologique du secteur.

La visite des lieux nous a permis de mieux comprendre la problématique des ressources en eaux locales, l'impact de la production de sels sur ces ressources en eau, mesurage *in-situ* des forages et des puits existants et récolter des échantillons d'eaux pour les analyser.

Parmi les mesures qui nous avons fait *in-situ* le 5/5/2015 : La température, la conductivité et le pH. En effets, pour effectuer ses mesures il faut utiliser des appareils spéciaux :

- **Instrument 1 : le GPS** ou (*global positioning system*)

Le GPS est un système de géolocalisation nous permettant de mesurer les coordonnées des forages et des puits dans le site visité (Photo 3A)

- **Instrument 2 : le pH-mètre**

Cet appareil permet de mesurer le pH d'une solution. Son fonctionnement est basé sur le rapport qui existe entre la concentration en ions  $H_3O^+$  et la différence de potentiel électrochimique qui s'établit dans le pH-mètre une fois plongés dans la solution étudiée.



- **Instrument 3 : le thermomètre :**

Consiste à mesurer la température d'eau qui joue un rôle très important dans la correction des paramètres d'analyses dont toutes les valeurs sont liées à la température (notamment la conductivité). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau (Photo 3C).

- **Instrument 4 : le Conductivimètre :**

Cet appareil permettant de mesurer la conductivité de l'eau pour déterminer la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouve sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (Photo 3D).

- **Instrument 5 : la sonde piézométrique:**

La mesure de niveau des eaux souterraines est effectuée à l'aide d'une sonde piézométrique (Photo 3B) dont le capteur est réactif à la conductivité de l'eau. Lorsque la sonde atteint le niveau de l'interface air/eau, un contact électrique est établi entre deux tiges métalliques, déclenchant un signal sonore et lumineux.



A



B



C



D

Photo 3 : Les appareils des mesures faite *in situ* : A : Le GPS. B : La sonde piézométrique. C : le thermomètre. D : le conductimètre.

Le Tableau ci-dessous résumant toutes les données collectées :

*Tableau 2 : Tableau des données collectées dans le secteur étudié.*

$n^{\circ}$	$X (m)$	$Y (m)$	$Z (m)$	$NE (m)$	$PT (m)$	$NP (m)$	$Cd$ ( $\mu S/cm$ )	Qualité
0	86050	69875	391	10	30	381	>20000	Eau salée
1	85890	69947	389	1,7	5,4	387,3	>20000	Eau salée
2	85837	69991	384	2		382	>20000	Eau salée
3	85825	70007	383	1,5	5,3	381,5	>20000	Eau salée
4	85707	69904	388		4,3		>20000	Eau salée
5	85636	69916	386	5,2	9,8	380,8	>20000	Eau salée
6	85635	69963	383	4,6	13	378,4	>20000	Eau salée
7	85420	69976	384	17,2	18,1	366,8	>20000	Eau salée
8	85394	69947	386	10,3	12,5	375,7	>20000	Eau salée
9	85340	69972	389	11,1		377,9	>20000	Eau salée
10	86236	69759	391	Sec	8,7			
11	86244	69836	388	21,6	82	366,4	10000	Eau salée
12	86293	69780	390	30	54	360	10000	Eau salée
13	86377	69383	386				1460	Eau douce
14	86723	69257	391	7,4		383,6	1310	Eau douce
15	84993	70024	393	24		369	>20000	Eau salée
16	84907	70129	390	24,8		365,2	>20000	Eau salée
17	86043	70068	386	30		356	>20000	Eau salée
18	84767	69301	381	40	70	341		Eau douce
19	86600	69500	397	8,2	60	388,8		Eau douce
20	83250	70050	509	42,35	111	466,65		Eau douce

#### II.4. Elaboration des logs stratigraphique

Pour voir une idée l'hydrogéologie du site étudié on a travaillé par des forages de l'ABHT (Tableau1) (données partielles et incomplètes dont la répartition spatiale est déséquilibrée) et deux forages parmi ceux qui sont visités pendant la mission du terrain (de l'AEP et d'exploitant de sel). On a travaillé seulement par les forages qui traversent le Jurassique.

Le travail consiste l'élaboration des logs stratigraphiques schématiques et de mentionner le niveau piézométrique (Tableau1) dedans pour faciliter la lecture et l'interprétation des résultats. Ce dernier est fait à l'aide du logiciel Adobe Illustrator 10.

On a élaboré seulement 4 logs stratigraphiques parmi 10 logs pour ne pas charger le rapport.

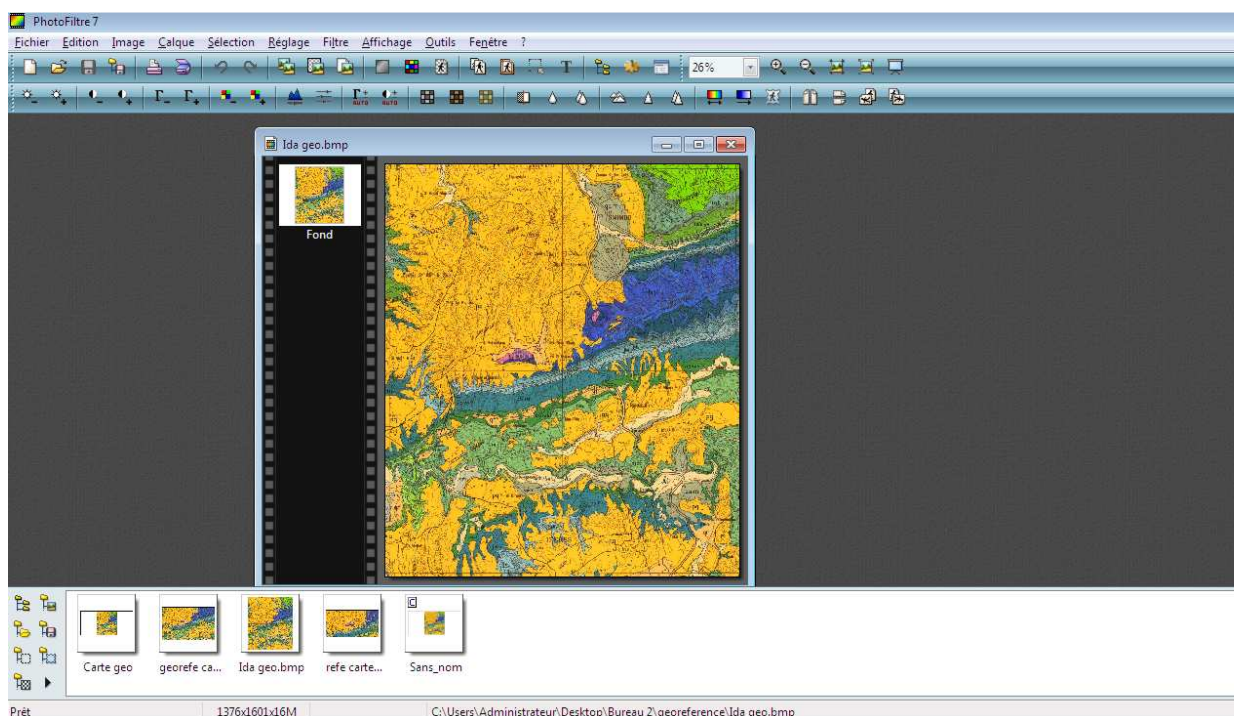
## II.5. Numérisation des forages sur la carte géologique

Parmi les objectifs principaux du stage, était la numérisation des forages sur la carte géologique d'Ida Ouazza. Pour cela on n'a utilisé la carte du Tamanar d'une échelle de 1/100 000. Les logiciels utilisés pour assurer cette numérisation sont :

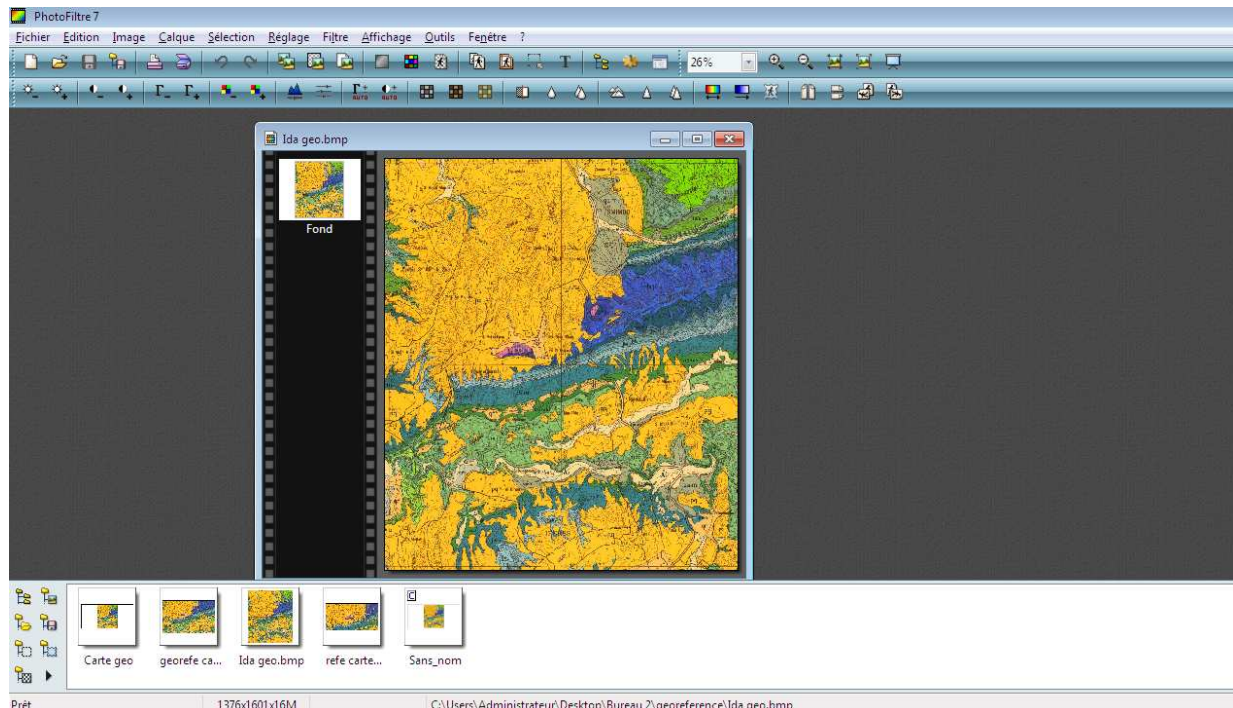
- Adobe Photoshop
- Map Info Professional

Pour la réalisation de la carte géologique numérisée nous avons suivi les étapes ci-dessous:

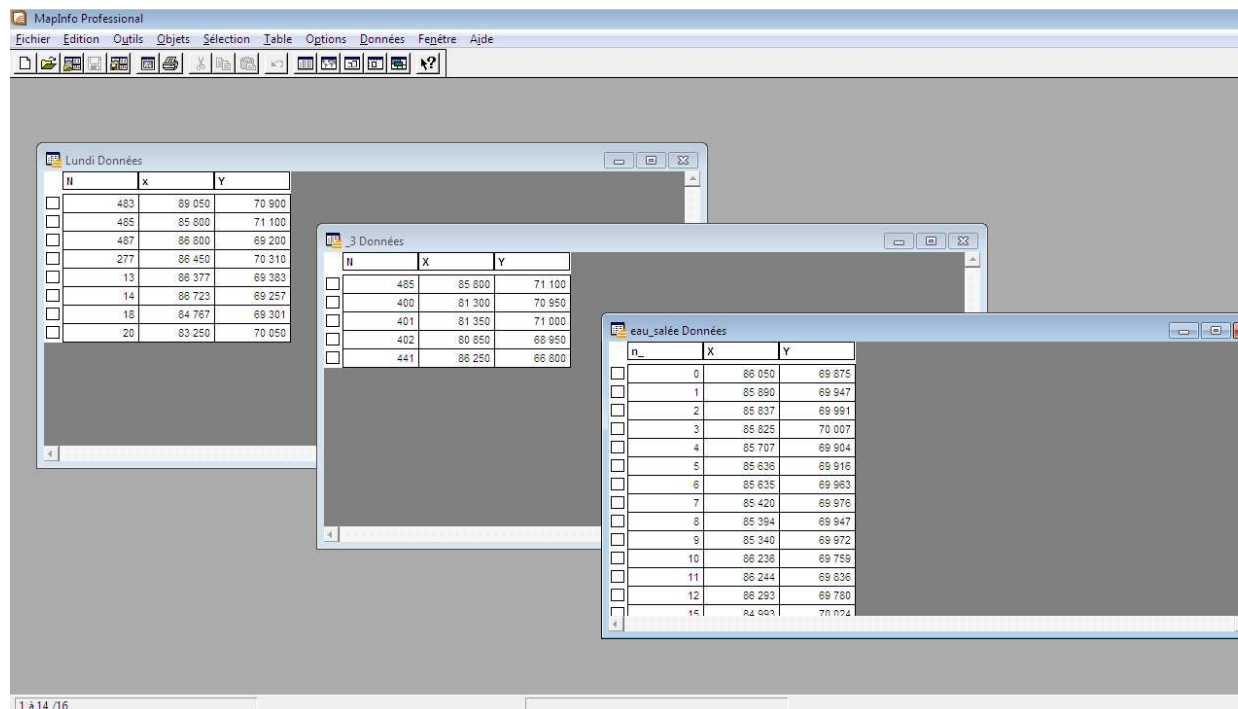
- La première étape était d'effacer les limites de la carte à l'aide du logiciel Photoshop, en utilisant l'outil gomme, puis on enregistre la carte sous forme PNG (Figure 8A)
- La deuxième étape a pour but de géoréférencer la carte enregistrée sous forme PNG. Cette étape est réalisée avec le logiciel Map Info Professional. On transforme les coordonnées géographiques dans les cartes géologique en coordonnées Lambert Maroc II, puis on fait entrer les coordonnées de 4 points (Figure 8B).
- La dernière étape consiste à ajouter les piézomètres, on a créé des fichiers Excel avec le N°IRE et les coordonnées de chaque piézomètre et on a intégré les tableaux dans Map Info Professional (Figure 8C).



A



B



C

Figure 8 : A : Etape 1 de la numérisation des cartes topographiques : Limitation du secteur étudié.  
 B : Etape 2 : Géo- référencement des cartes. C : Etape 3 : Ajout des piézomètres à la carte.

## II.6. Elaboration des cartes piézométriques

Tout d’abord, il est impératif de préciser que le nombre de points d’eau douce disponibles est très réduit et répartis de part et d’autre du diapir. Ce qui montre la difficulté d’établir une carte piézométrique dans les normes. On ne peut pas entrer les piézomètres de


l'ABHT puisqu'ils sont anciens, on va travailler seulement par les 6 piézomètres qui nous avons visités et qui traversent le jurassique dans un tableau Excel qui contient le numéro, les coordonnées correspondantes et le niveau piézométrique (profondeur) de chaque piézomètre (Tableau3).

On a élaboré deux cartes piézométriques : la première carte tient compte de tous les forages, la deuxième élimine les deux forages d'eau salée (11 et 12).

*Tableau 3 : Tableau des coordonnées des piézomètres et leurs niveaux piézométriques.*

<i>n°</i>	<i>Coordonnées (m)</i>		<i>NP (m)</i>
	<i>X</i>	<i>Y</i>	
<i>11</i>	<b>86244</b>	<b>69836</b>	<b>366,4</b>
<i>12</i>	<b>86293</b>	<b>69780</b>	<b>366</b>
<i>14</i>	<b>86723</b>	<b>69257</b>	<b>383,6</b>
<i>17</i>	<b>86043</b>	<b>70068</b>	<b>356</b>
<i>18</i>	<b>84767</b>	<b>69301</b>	<b>341</b>
<i>20</i>	<b>83250</b>	<b>70050</b>	<b>466,65</b>

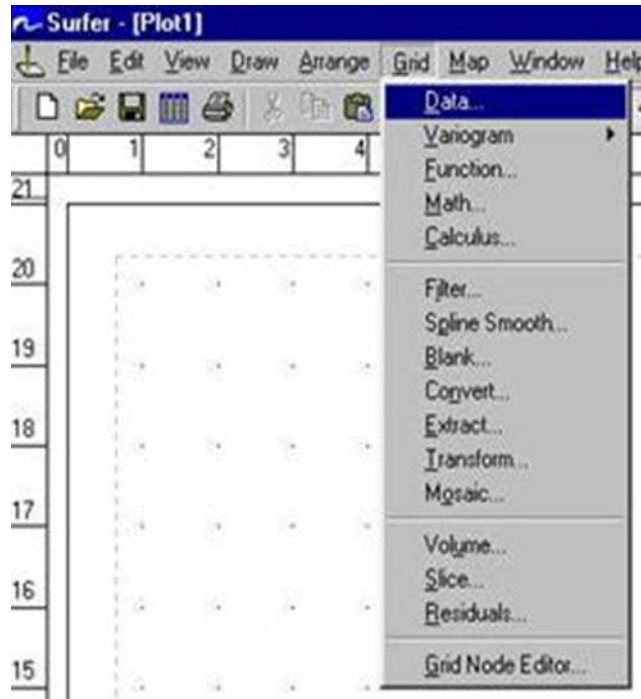
A l'aide de surfer8, Les étapes à suivre sont :

- Copie le tableau Excel dans New Worksheet ou encore le bouton  et l'enregistrer (Figure 9A).
- Dans la barre de menu cliqué sur Grid →Data→ Sélectionner le fichier Excel →Ok. Une fois le fichier *gridé* (Figure 9B), cliqué sur Map→ New contour map. Cette fonction permettra de voir les courbes isopiézométriques (Figure 9C).
- Pour voire la localisation des forages, on clique dans la même barre sur Map →Post map→New post map (Figure 9D). De Même pour afficher le sens d'écoulement, en clique sur Map →Vector Map→New1-Grid Vector map.

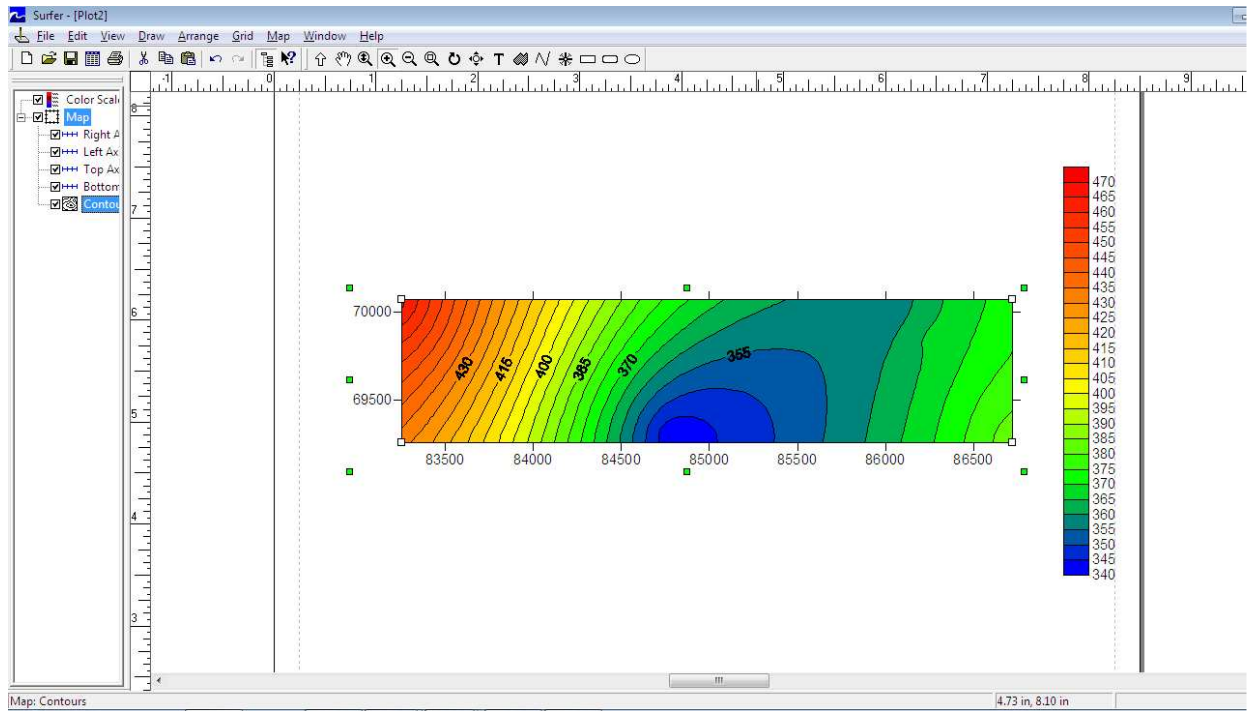


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	n	X	Y	NP													
2		11	86244	69836	366.4												
3		12	86293	69780	366												
4		14	86723	69257	383.6												
5		17	86043	70068	356												
6		18	84767	69301	341												
7		20	83250	70050	466.65												
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	
34																	

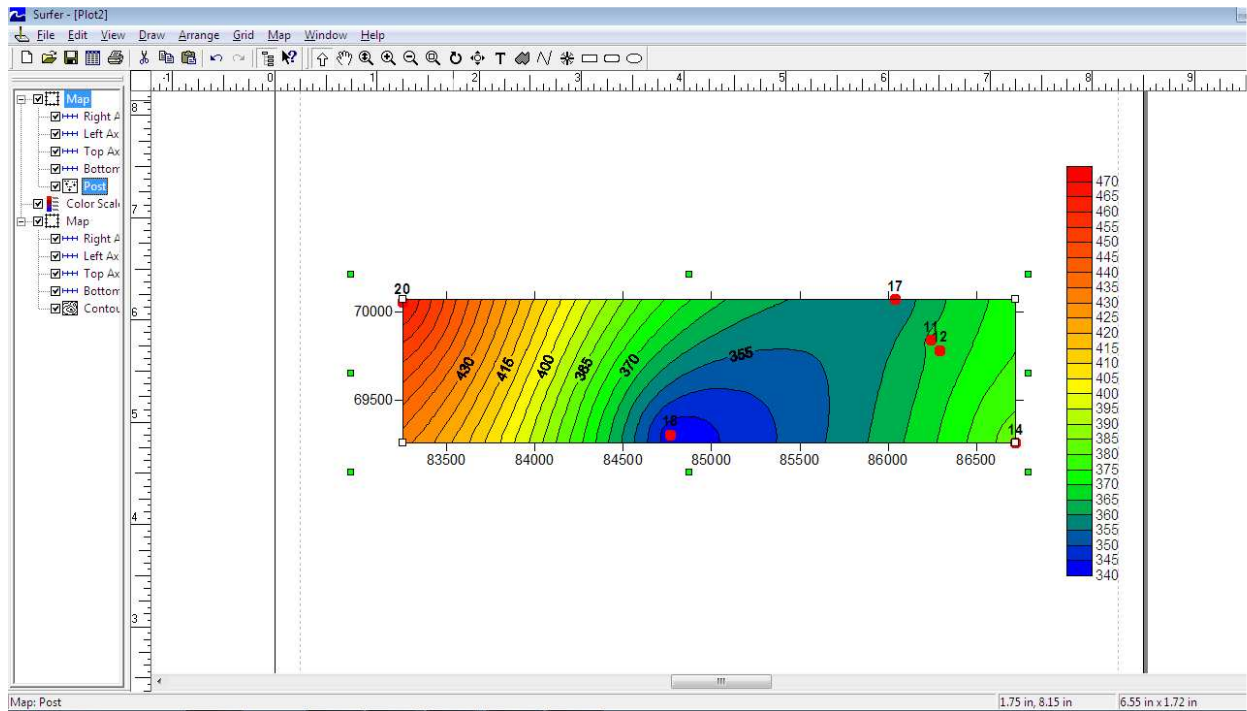
A



B



C



D

Figure 9 : A: La copie du tableau Excel dans Worksheet. B: La fonction Grid-Data. C: Les courbes isopiézométriques. D : La localisation des forages



## II.7. Analyses chimiques au laboratoire

Après la prise des mesures *in situ* et des échantillons d'eau, étant donné que l'ABHT ne dispose pas des moyens nécessaires pour effectuer les analyses, et c'est grâce au centre national d'étude et de recherche sur l'eau et l'énergie (CNEREE) à la Faculté des Sciences et Techniques Marrakech (F.S.T.G.) que ses analyses ont été effectuées.

Ces analyses consistent à mesurer les éléments chimiques majeurs,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $-$ ,  $Ca^{++}$ ,  $SO_4^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$   $HCO_3^-$  et d'étudier le chimisme des eaux souterraines des 3 échantillons du centre de la région d'Ida Ouazza, dont le but d'identifier la qualité des eaux de ces 3 forages et le type de facies chimique qui caractérise la zone étudiée.

### II.7.1. La géolocalisation des sites de prélèvement (ABHT.2015)

Les eaux prélevées pendant la sortie de terrain sont de nature différente : Des eaux salées pour les deux forages d'exploitant de sel (Forage 11 et 12) et un forage de l'alimentation en eau potable (Forage 14). Le tableau 4 montre les coordonnées de ces 3 forages.

Tableau4: Situation des points d'eaux de la mine d'Ida Ouazza.

Points	Type d'eau	X (m)	Y (m)	Z (m)
Forage 11	eau salée	86.244	69.836	388
Forage 12	eau salée	86.293	69.780	390
Forage d'AEP(14)	eau douce	86.723	69.257	391

### II.7.2. Les dosages effectués en Laboratoire (CNEREE.2015)

Les étapes analyses effectuées au laboratoire CNEREE(2015) :

- **Chlorure** : le dosage des ions chlorure dans l'eau (Figure 10A) est effectué par la solution de nitrate d'argent ( $AgNO_3$ ) dans un milieu neutre en présence de chromate de potassium. Ce qui permet la précipitation des chlorures sous forme de chlorures d'Argent  $AgCl$ .

**Mode opératoire** : On introduit dans un erlenmeyer 50 ml d'eau à analyser préalablement filtrée, on ajoute 2 à 3 gouttes d'acide nitrique, une pincée de carbonate de calcium 0,2 g de carbonate de calcium ( $CaCO_3$ ) et 3 gouttes de chromate de potassium à 10% ( $K_2Cr_2O_7$ ), puis on verse alors au moyen d'une burette

- **Sulfate** : le dosage des ions sulfates dans l'eau (Figure 10B) est effectué par une solution titrée de chlorure de Barium stabilisé ( $ClBa$ ).

**Mode opératoire** : on prend 10 ml de l'échantillon d'eau, on lui rajoute 2 ml de  $H_2SO_4$ , après on chauffe à  $100^\circ C$  lorsqu'on commence à voir des bulles on rajoute 5 ml de  $BaCl_2$ , 2ml de

$MgCl_2$  et 10 ml d'une solution tampon enfin un colorant noir d'eriochrome dosé par la E.D.T.A. la couleur de cette solution devient bleue.

- **Calcium** : le dosage des ions calcium dans l'eau est effectué par complexométrie dans un milieu alcalin à  $pH = 10$  à la présence de la soude  $NaOH$ . Nous titrons par l'acide éthylène diamine tétra-acétique E.D.T.A ainsi que le murexide comme indicateur coloré.

**Mode opératoire** : dans un erlenmeyer de 50 ml rincé à l'eau distillé, on met 10 ml de l'échantillon d'eau prélevé, on lui rajoute 40 ml de l'eau distillé à l'aide d'une éprouvette, ensuite 2 ml de  $NaOH$ , puis on effectue un dosage par E.D.T.A, et vers la fin on a un virage rose rouge violet.

- **Magnésium** : dosage des ions magnésium dans l'eau peut être effectué par la technique de complexométrie E.D.T.A avec l'ajout d'une solution tampon et le colorant noir d'eriochrome comme indicateur coloré.

**Mode opératoire** : on prend 10 ml de l'eau de l'échantillon prélevé, on lui rajoute 2 ml d'une solution tampon avec un  $pH = 10$ , ensuite 3 gouttes de noir d'eriochrome, puis on commence à doser par la E.D.T.A, vers la fin on obtient un virage rouge sombre vers un bleu.

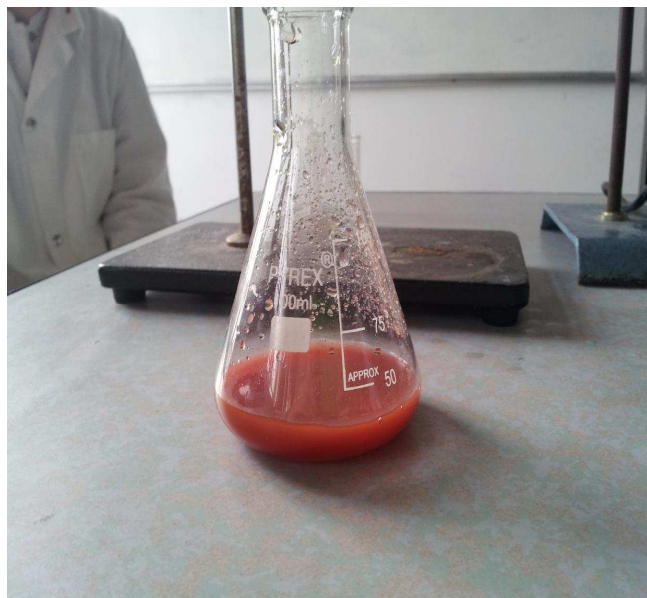
- **Bicarbonate** : le dosage des ions bicarbonates dans l'eau est effectué par la technique d'acidimétrie d'une solution d'acide sulfurique  $H_2SO_4$ , avec la présence de l'indicateur coloré le vert de bromocrésol qui donne une couleur bleue dans la solution de carbonates (Figure 10C).

**Mode opératoire** : on prend 10 ml de l'eau de l'échantillon prélevé, on lui rajoute 3 gouttes de vert de bromocrésol, vers la fin on obtient un virage du bleu vers le jaune à jaune orange.

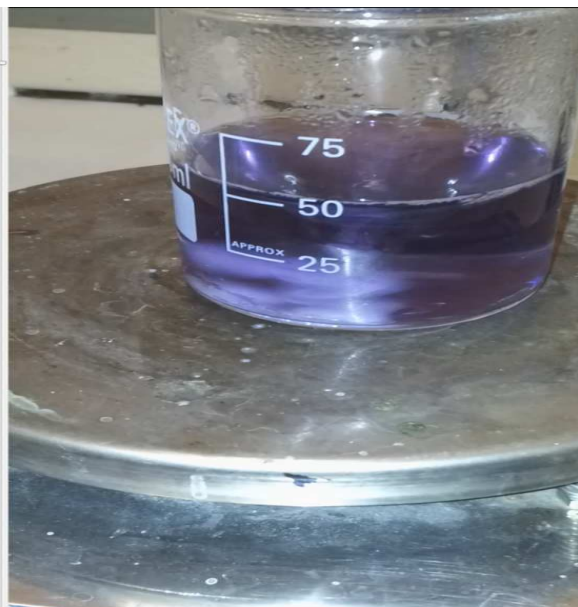
- **Sodium potassium** : dosé par la méthode de spectrophotométrie à flamme (Figure 10D) basé sur la dissociation des atomes pendant leur passage dans la flamme, qui émettent de l'énergie à leur excitation. chaque élément va émettre une longueur d'onde bien précise qui sera détectée par des filtres optiques de chaque élément.

**Le principe** consiste à réaliser une courbe d'étalonnage de l'élément à doser avec des concentrations connues, puis évaporer dans la flamme du photomètre l'eau à analyser et déterminer la teneur du  $Na^+$  ou  $K^+$ , en connaissant la longueur d'onde d'absorption de chacun d'eux.

*E.D.T.A : l'acide éthylène diamine tétra –acétiques*



A



B



C



D

Figure 10 : A : dosage des chlorures .B : dosage des sulfates .C : dosage des bicarbonates. D : dosage de sodium

II.7.3. Les représentations graphiques utilisées

Pour déterminer la qualité des eaux on a utilisé le logiciel **Diagrammes**, (figure : 11A) qui permet le traitement des données sous formes d'un tableau puis la transformation des

résultats sous formes de différents types de représentation graphique à titre d'exemples : le diagramme de : *Piper*, *Schoeller Berkaloff*, *Stiff*, *Stabler* et d'autres représentations.

Dans notre étude on va utiliser seulement les représentations de *Piper* et *Schoeller Berkaloff* pour l'identification de faciès chimique des eaux souterraines de la mine de la région d'Ida Ouazza.

**Le diagramme de Piper** : Il est formé de deux triangles, un réservé aux cations et l'autre aux anions. Le résultant de ces deux triangles est un losange représentant le faciès final de notre échantillon.

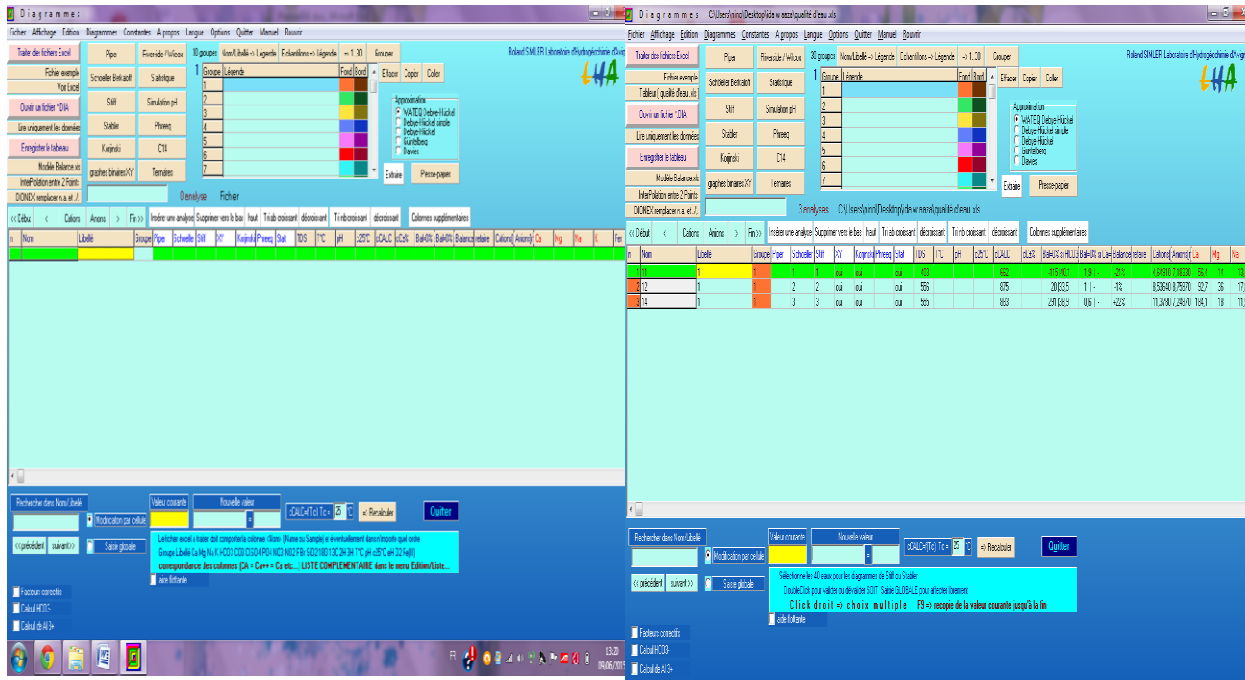
Le digramme de *Piper* permet aussi de projeter plusieurs échantillons à la fois (figure : 11C). Et ainsi, faire le lien entre la lithologie et le faciès chimique d'une eau.

**Le diagramme de Schoeller Berkaloff** : est une représentation graphique utilisée en hydrochimie, dont les échantillons sont représentés sous forme des droites tracées compte tenu des différentes concentrations en éléments majeurs (figure 11D). Cette représentation illustre la présence ou non du groupe d'eau qui présente le même chimisme dû à une interconnexion hydraulique entre les points de mesure (échantillonnage).

Outre, le diagramme de *Schoeler-Berkaloff* rend les variations proportionnelles même si la marge de ces variations est faible.

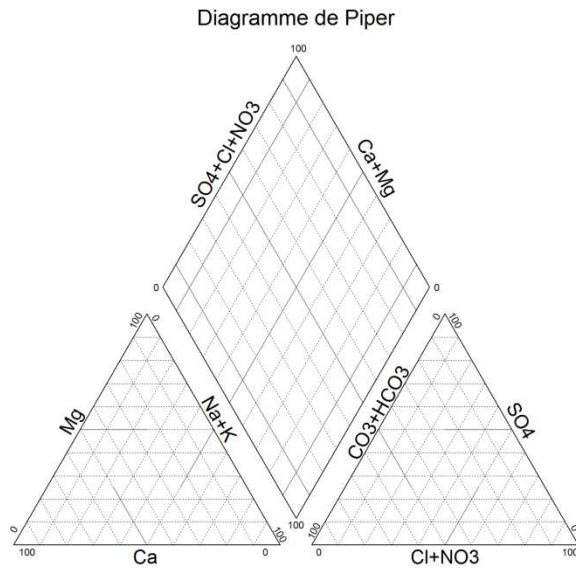
A l'aide de logiciel **Diagrammes** les étapes à suivre pour établir les deux représentations sont :

- Tout d'abord il faut enregistrer le tableau des analyses chimiques sous formes d'un fichier EXCEL, pour être facile à traiter.
- Ouvrir le logiciel (figure : 11A) → Dans la barre de menu cliqué sur Fichier → Ouvrir un fichier Excel → le fichier est déjà enregistré sous le nom «Analyses chimiques» → Ouvrir → OK → Traiter → apparition de tableau d'analyses chimiques dans le logiciel (figure : 11B). Après cette dernière étape on va seulement choisir le type de représentation graphique. Dans notre cas on va prendre seulement la représentation de **Piper** (figure : 11C.) et de **Schoeller Berkaloff** (figure : 11D.).

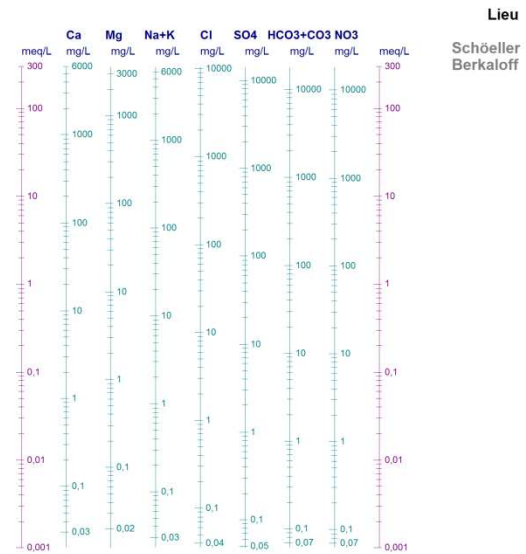


A

B



C



D

Figure 11 : A: interface de logiciel Diagrammes  
 B: tableau des échantillons analysés.  
 C: la représentation graphique de Piper.  
 D: la représentation graphique de Schoeller-Berkaloff

CHAPITRE III

RESULTATS ET  
INTERPRETATION DE  
L'ETUDE



## CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATION DE L'ETUDE

### III.1. Les ressources en eau locale

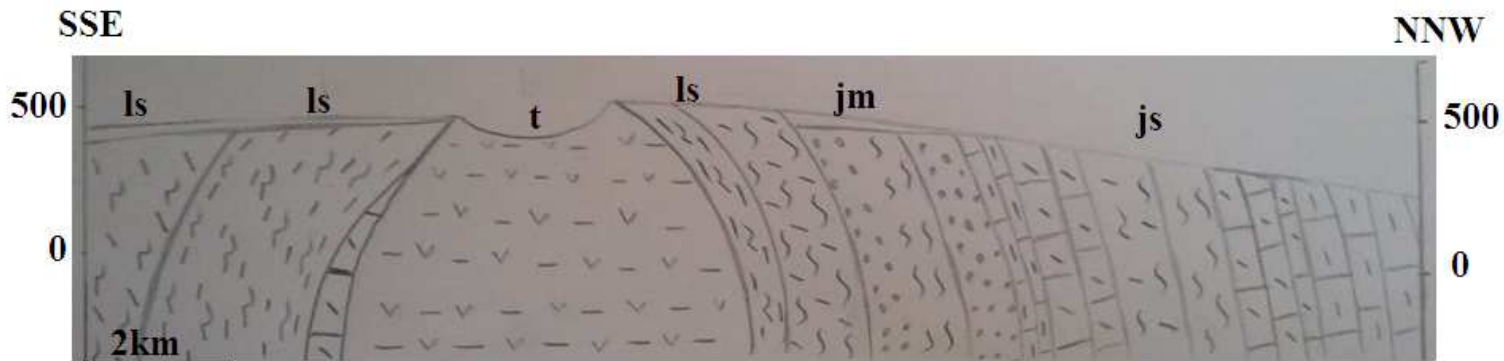
#### III.1.1. Coupe géologique

La carte géologique localisée (Figure 12), la coupe géologique A-B (Figure 13) et les deux logs stratigraphiques (Figure 14 : A et B) montrent que :

- Le forage d'exploitant de sel (12) traverse les formations du Lias (Jurassique inférieur) sur une faible profondeur et atteint les argiles salifères du Trias. Les eaux de ce forage présentent une concentration en sel de l'ordre de 7g/l, la salinité de ces eaux pourrait être due soit de la contamination des eaux du Lias par les sels soit que les eaux captées proviennent totalement d'interface du diapir et Lias.
- Le forage de l'AEP (14) traverse seulement les formations jurassiques (dolomies du Lias) qui se caractérisent par une qualité des eaux douces de forte dureté



Figure 12 : Carte géologique numérisée du secteur étudié (ABHT).



**t : Trias évaporitique, ls : Lias carbonaté, jm : Jurassique moyen marneux, js : Jurassique supérieur marneux dolomitique.**

*Figure 13: Coupe géologique au niveau de la mine de sel, Amsittène.*

### III.1.2. Logs stratigraphiques

D'après la carte géologique numérisée (Figure 14), Les forages secs qui traversent le jurassique sont :

- |  |   |  |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ N°IRE 400/51</li> <li>▪ N°IRE 401/51</li> </ul> | } | <ul style="list-style-type: none"> <li>• N°IRE 402/51 (Tableau 2)</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ N°IRE 485/51</li> <li>▪ N°IRE 441/51</li> </ul> | } |  |

Les forages fertiles sont :

- |  |   |  |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ N°IRE 277/51</li> </ul> | } | <ul style="list-style-type: none"> <li>• N°IRE 483/51 (Tableau 2)</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ N°IRE 487/51</li> </ul> | } |  |

Les logs stratigraphiques montrent que les eaux des forages fertiles se trouvent dans les formations Jurassique inférieur et les forages secs traversent les formations Jurassique supérieur. Il pourrait être qu'on n'a pas une nappe généralisée mais seulement des aquifères multicouches localisés et la variation de ses niveaux piézométriques dépend de la perméabilité des couches géologiques, la vitesse d'infiltration et les aires de recharges.



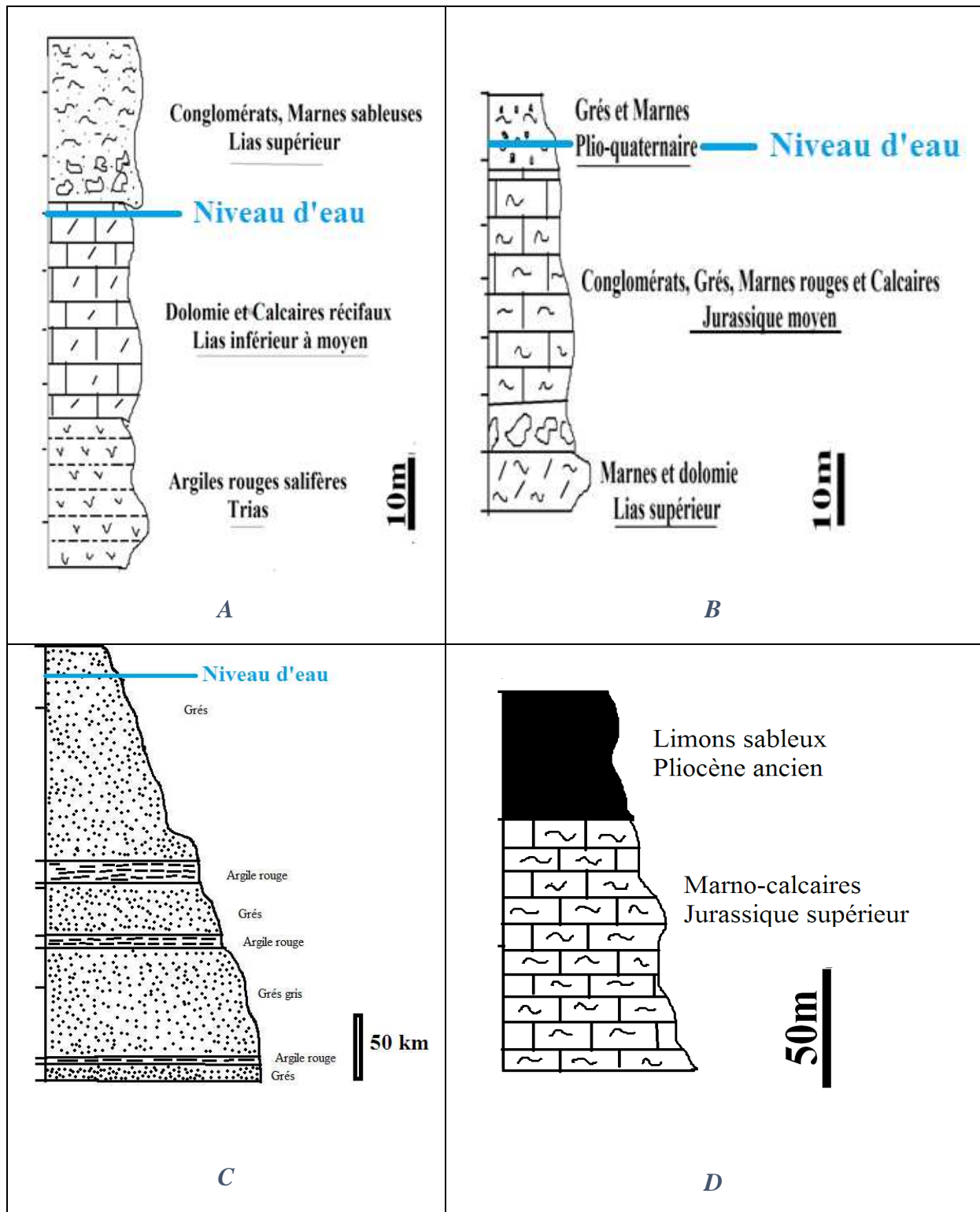


Figure 14 : A : Log stratigraphique du forage d'exploitant de sel (n°12). B : Log stratigraphique du forage de l'AEP (n°14). C : Log stratigraphique du forage 487/51. D : log stratigraphique du forage 400/51

### III.1.3. Cartes piézométriques

On va interpréter cette carte même si on n'a pas une nappe généralisée et aussi le diapir (Figure 15 et 16) qui joue le rôle d'une barrière et qui bloc la circulation des eaux. Donc elle bloc l'interconnexion des eaux de l'Est avec l'Ouest.

On a réalisé deux cartes piézométriques une avec tous les forages (Figure 16) et l'autre sans les forages d'exploitant de sel (Figure 18) pour voir comment varie les courbes isopièzes et est ce qu'il influence sur la nappe

On remarque au niveau des deux cartes piézométriques qu'on n'a pas un grand changement en absence et en présence des forages d'exploitant de sel (n°12 et 11). Les écoulements sont restés relativement stables.

Cette carte montre une surface piézométrique à courbes irrégulières avec un écoulement général dans la partie Est du diapir se fait du Sud-est vers le Nord-ouest. Et dans la partie Ouest du NW vers le SE ça implique une importante alimentation de l'Est et l'Ouest du diapir (Zone de dépression).

Aussi cette carte montre que le forage d'AEP est en amont de l'écoulement et le forage d'exploitant de sel est en aval ce qui veut dire que ce dernier n'influence pas d'une manière directe sur le forage d'AEP.

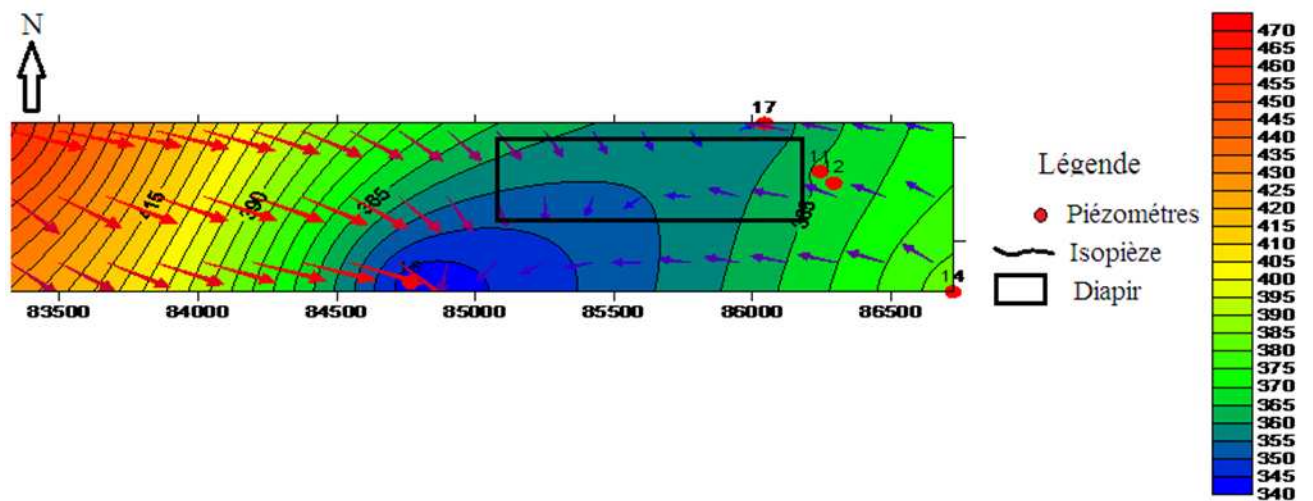


Figure 15: La carte piézométrique de tous les forages (5/5/2015).

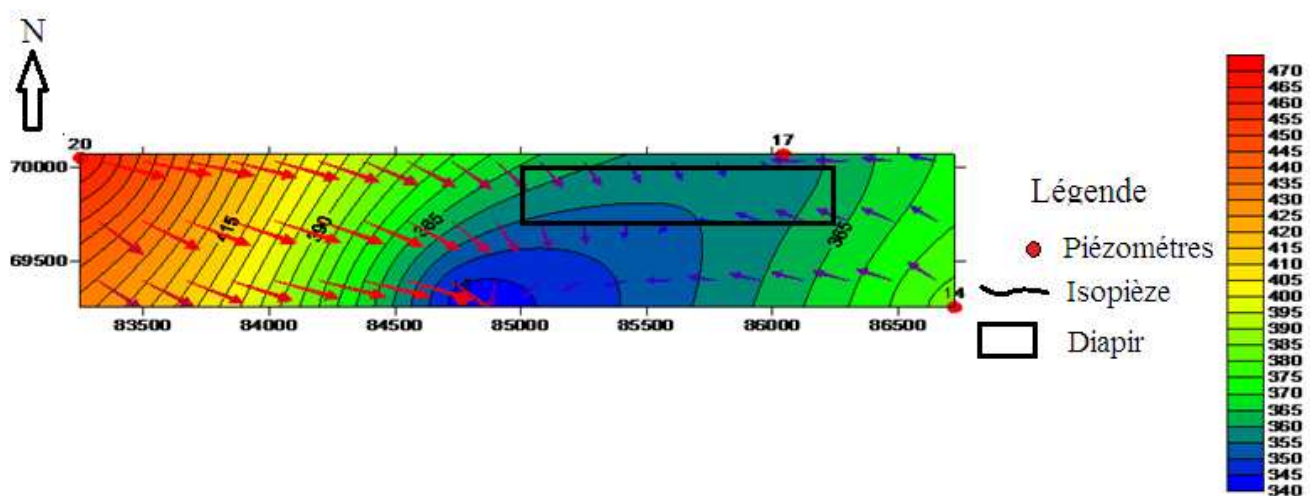


Figure 16 : La carte piézométrique de tous les forages sauf les exploitants de sel (5/5/2015).

### III.1.4. Qualité des eaux souterraines

#### III.1.4.1. Les normes marocaines des eaux souterraines

Avant de déterminer la cause de la dureté des eaux douces de forage d'AEP (Forage 14), il faut avoir est ce que ces eaux ont respecté les normes de potabilité.

Pour répondre à cette question on est basé sur une grille (tableau5) composée d'un ensemble de paramètres et comporte 5 classes de qualité. Chaque classe de qualité est définie par des valeurs seuils que les différents paramètres ne doivent pas dépasser.

Ces paramètres sont :

- La conductivité et les ions chlorures qui renseignent sur la qualité minéralogique des eaux.
- Les nitrates, principal indicateur d'une pollution d'eau souterraine
- $\text{NH}_4^+$ : forme réduite de l'azote.
- Matières oxydables : déterminées par oxydabilité au  $\text{KMnO}_4$ .
- Les coliformes fécaux.

Tableau5: Grille simplifiée de la qualité des eaux souterraines (ABH Tensift / Etude de la qualité de l'eau / 43ème Campagne).

Paramètre de qualité	Cond ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Cl- (mg/l)	$\text{NO}_3^-$ (mg/l)	$\text{NH}_4^+$ ( $\text{mgNH}_4^+/\text{l}$ )	MO ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ )	CF (UFC/100ml)
Excellente	<400	<200	<5	$\leq 0,1$	<3	$\leq 20$
Bonne	400-1300	200-300	5-25	0,1-0,5	3-5	20-2000
Moyenne	1300-2700	300-750	25-50	0,5-2	5-8	2000-20000
Mauvaise	2700-3000	750-1000	50-100	2-8	>8	>20000
Très mauvaise	>3000	>1000	>100	>8	.	.

#### Signification des différents paramètres utilisés pour l'évaluation de la qualité des eaux souterraines

- **La conductivité :**

La conductivité de l'eau est proportionnelle à la concentration en sels minéraux dissous dans l'eau. Plus une eau aura une conductivité importante plus elle comportera de sels minéraux.

En général, une eau douce accusera une conductivité basse, par contre une eau dure aura une conductivité élevée.

- **$Cl^-$  :**

Le chlore provoque des dommages environnementaux à des concentrations faibles. Et il est spécialement nocif pour les organismes vivant dans l'eau et le sol.

- **$NO_3^-$  :**

La présence de nitrates dans l'eau est un indice de pollution d'origine agricole (engrais), urbaine (dysfonctionnement des réseaux d'assainissement) ou industrielle.

- **$MO$  :**

Dans le cas de la matière organique, les polluants peuvent augmenter la turbidité des eaux et créer un phénomène d'eutrophisation avec une diminution de la quantité d'oxygène dissous.

Ces modifications environnementales ont de profondes conséquences sur les populations d'un milieu (disparition d'espèces, prolifération d'autres espèces)

- **$NH_4^+$  :**

L'ammonium  $NH_4^+$  provient des processus de décomposition microbologique des protéines animales et végétales. Il peut être réutilisé directement par les plantes et est utilisé dans les engrais commerciaux.

Lorsque le pH est élevé l'ammonium se transforme en ammoniac  $NH_3$  toxique (dose létale pour certains poissons 1 mg/l).

- **Coliformes fécaux:**

Ils sont d'origine fécale, on les retrouve donc dans les eaux usées et le sol. Les coliformes étant des bactéries vivant dans les intestins d'animaux ou humains, leur présence dans l'eau indique une pollution fécale. Ce sont donc des organismes indicateurs de la qualité de l'eau.

*III.1.4.2. Les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la mine d'Ida Ouazza*

- **Le pH : potentiel hydrogène**

Le pH mesure l'activité en ion  $H_3O^+$ , il renseigne sur la balance entre acide et base sur l'échelle de 0 à 14. Ce paramètre conditionne un grand nombre des équilibres physico-chimiques et dépend de la température et la profondeur de l'eau.

Le potentiel d'hydrogène dans la mine d'Ida Ouazza varie entre 7,2 pour le forage des eaux douces (forage 14) et de 7,86 à 8,02 pour les eaux salées (forages 11 et 12). Il est relativement neutre à l'égerment alcalin, il ne dépasse pas les normes marocaines ( $6,5 < pH < 9,2$ ).

- **La Conductivité**

La conductivité mesure l'aptitude d'eau à conduire le courant entre deux électrodes, la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent se forme d'ions chargés électriquement. La conductivité permet de donner une idée sur la qualité de sels dissous dans l'eau et aussi donne un aperçu sur la minéralisation (Tableau 6) d'une eau. Pour calculer la minéralisation on utilise la relation suivante :

$$\text{Minéralisation} = K (\mu\text{S/cm}) \times A \quad \text{avec } A=0,7$$

Tableau6: La conductivité et la minéralisation des 3 échantillons analysés (05 Mai 2015).

Echantillons	Conductivité	minéralisation
Forage 11	10000 $\mu\text{S/cm}$	7000 $\mu\text{S/cm}$
Forage 12	10000 $\mu\text{S/cm}$	7000 $\mu\text{S/cm}$
Forage 14	1310 $\mu\text{S/cm}$	917 $\mu\text{S/cm}$

D'après les données du tableau (tableau 6) on constate que les eaux douces de forage d'AEP (14) sont moins minéralisées avec une bonne qualité (d'après la grille des eaux souterraines), car la conductivité est variée entre  $400 < Cd < 1300$  par rapport aux normes, par contre les eaux des deux forages 11 et 12 ont une très mauvaise qualité (d'après la grille des eaux souterraines) ceci est lié à la nature des eaux, la profondeur, la température, le temps de séjour et la nature lithologique.

La minéralisation comme la conductivité évolue de la même façon, elle est influencée aussi par les mêmes.

- **La température**

La température reste un facteur catalyseur, et toutes les réactions chimiques et biologiques sont thermodépendantes. Par conséquent, toute variation de ce paramètre entraînera une variation radicale du chimisme de l'eau.

Les eaux souterraines de la mine d'Ida Ouazza sont caractériser par une température varie entre 13°C et 18°C par rapport à la profondeur. Elle joue un rôle très important dans les variations du chimisme des eaux, plus la température est augmenté plus la conductivité est forte et plus la minéralisation est élevée. L'étude de la température des eaux souterraines permet d'interpréter d'avance le type d'écoulement.

III.1.4. 3 Résultats des analyses et discussions :

Le tableau suivant montre les résultats des analyses chimiques des éléments majeurs, il confirme que ces eaux sont très minéralisées.

Echantillons	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TDI
Forage 11	56,4mg/l	14mg/l	13,4mg/l	3,9mg/l	112,6mg/l	156,4mg/l	40,1mg/l	5,8mg/l	402,6mg/l
Forage 12	92,7mg/l	36mg/l	17,8mg/l	6,8mg/l	76,8mg/l	284,6mg/l	33,5mg/l	7,3mg/l	555,5mg/l
Forage 14	184,1mg/l	18mg/l	11,5mg/l	8,2mg/l	69,7mg/l	219,3mg/l	38,9mg/l	4,9mg/l	554,6mg/l

Tableau7: Analyses chimiques effectuées au laboratoire (1/06/2015)

La qualité des analyses chimiques a été vérifiée à l'aide du bilan ionique exprimé sous forme de la Balance Ionique (BI). La balance ionique est calculée selon la relation suivante :

$$Bi = \frac{\sum cations - \sum anions}{\sum cations + \sum anions} \times 100 \text{ Avec } \sum cations - \sum anions \text{ exprimés en méq/l}$$

Selon la valeur de la balance ionique trouvée, les analyses chimiques sont classées comme suite :

- 0% < BI < 5 % : analyses chimiques de bonne qualité
- 5 % < BI < 10 % : analyses chimiques acceptable
- BI > 10 % : analyses chimiques douteuses.

en méq/L	Somme anions (méq/l)	Somme cations (méq/l)	Balance ionique (%)
Forage11	7,08	4,65	-20,71
Forage 12	8,7	8,6	-0,58
Forage 14	7,2	11,41	22,62

Tableau8: La balance ionique des analyses chimiques

D'après le tableau 8 malgré que les valeurs obtenus des balances ioniques lors de ces analyses est douteuses, mais les résultats trouvés seront traités et considérés comme acceptables puisque les analyses ne concernent que les huit éléments majeurs.



### III.1.5. Identification des faciès chimiques

Le diagramme de Piper représente la répartition des éléments majeurs dans les eaux souterraines (figure 17).

Les analyses chimiques des eaux prélevées des 3 différents forages (Tableau 8) présentent le même type de faciès chimique : un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien.

- L'eau de forage 11 révèle clairement la présence de forte teneur en chlorures, il est de l'ordre de 80% et aussi une concentration importante en  $Ca^{++}$ .
- L'eau de forage 12 présente un faciès chimique chloruré sulfaté-calcique et magnésien, elle est riche en  $SO_4^-$
- L'eau de forage 14 est projetée sur le faciès hyper chloruré calcique et hyper sulfatée calcique avec une proportion de 90% en  $Ca^{++}$ . et  $SO_4^-$ .

L'étude analytique du diagramme de Piper de ces eaux souterraines permet de confirmer l'origine du faciès chimique des eaux pour les forages 11,12 et 14.

On remarque ainsi que la conductivité des forages 11 et 12 est de 10 ms/cm. Ce qui donne naissance à une minéralisation allant de 7000 $\mu$ S/cm ceci est dû au contact lithologique des faciès calciques et la contamination de ces eaux par l'effet de diapirs.

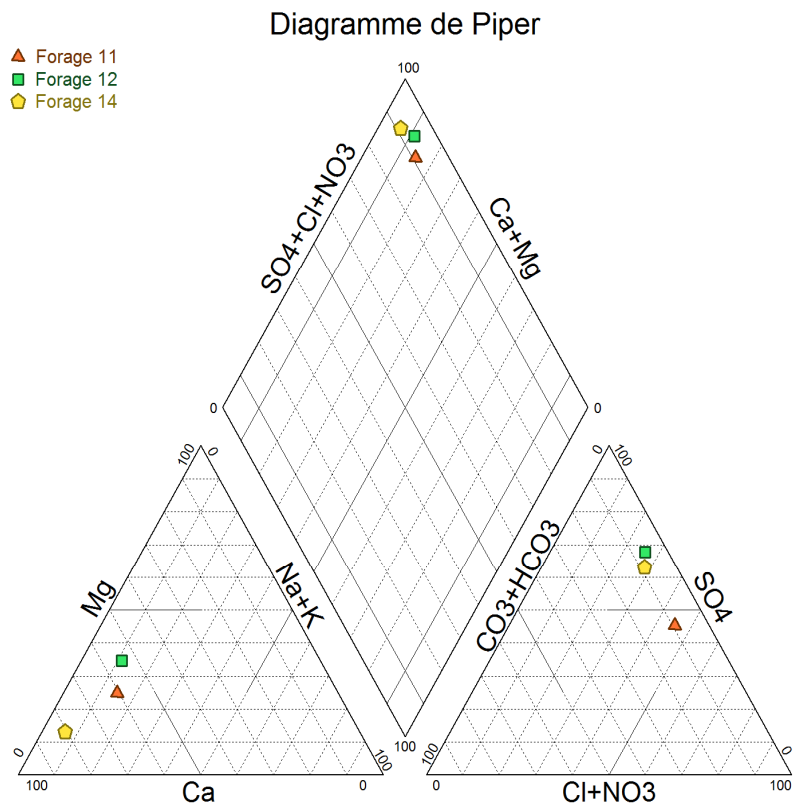


Figure 17 : Projection des analyses chimiques de les trois échantillons sur le diagramme de Piper(5/5/2015).

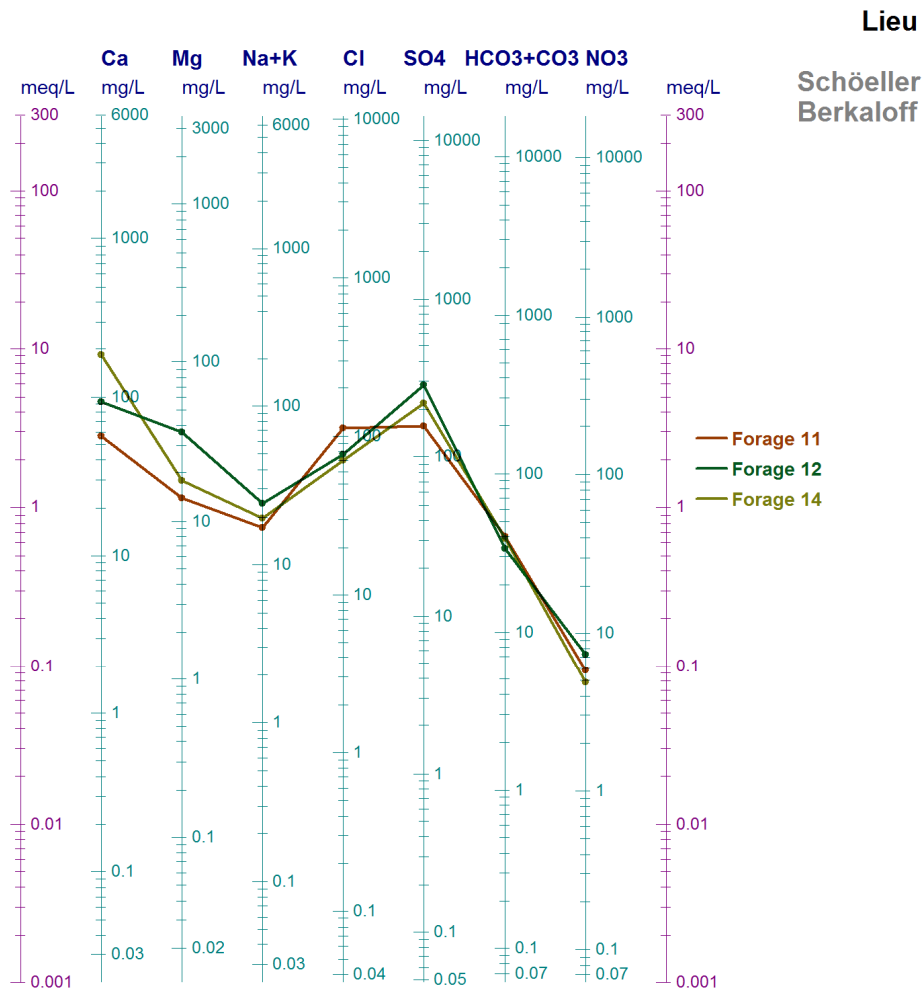


Figure 18 : Projection des analyses sur le diagramme de Schoeller Berkaloff (5/5/2015).

L'analyse du diagramme de Schoeller des eaux des 3 forages (Figure18) reflète une évolution continue de la concentration en éléments majeurs, notamment les concentrations de  $Ca^{++}$  et  $SO_4^-$  avec une diminution de  $HCO_3^-$  et  $NO_3^-$ .

Une lecture globale du diagramme de Schoeller (figure : 18), nous a permis de conclure que l'eau de forage de l'AEP (14) est très dure avec une qualité bonne qui ne dépasse pas les normes marocaines, vue la présence d'un chimisme moyen et que la variation en concentration en éléments dissous est presque négligeable.

L'augmentation de la concentration de  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$  montre qu'il s'agit d'un forage logé dans une formation carbonatée. Ainsi, le log stratigraphique schématisé du forage 14 (Figure 14B) confirme que ce forage est localisé dans une formation calcaire dolomitique ce qui signifie la dureté de cette eau. Par contre, les eaux des deux forages 11 et 12 sont salées bien qu'elles sont situées dans des formations carbonatées ceci est due à la contamination de ces dernières par le diapir.

### III.2. Aspect environnementale de la production des sels et son impact sur les ressources en eau

Dans la région d'Ida Ouazza, l'augmentation de la production de sel conduit à une évolution des cavités souterraines et des vides résiduels liés aux anciens bassins de sel abandonnés et sans entretien, après un arrêt de l'exploitation.

Ces vides résiduels peuvent provoquer des perturbations sur le terrain voire des désordres en surface pouvant affecter la sécurité des personnes et des biens.

#### I.1.1. Impact de la salinité sur les terrains de la région d'Ida Ouazza

Parmi ces perturbations de terrains qui caractérisent la région d'Ida Ouazza on trouve :

Affaissements progressifs : ils se manifestent par un réajustement des terrains de surface induit par l'éboulement des cavités souterraines (Photo : 4). Les désordres, issus principalement de travaux de l'exploitation de diapir à grande profondeur sont généralement lents, progressifs et souples, ils prennent la forme d'une dépression topographique, sans rupture cassante importante, présentant une allure de cuvette (Jean St., 2013).



*Photo 4 :Affaissements des maisons par les eaux salées dans la région d'Ida Ouazza (05Mai 2015).*





*Photo 5 : Démolition de constructions à cause de l'affaissement du terrain (05 Mai 2015).*

En effets, la région d'Ida Ouazza est caractérisée par la présence des formations argileuses, ces dernières quand elles deviennent en contact avec l'eau salée, elles produisent des gonflements pendant la période humide et des tassements de terrain pendant la période sèche ce qui favorise les glissements de terrain. Ainsi l'augmentation de ses eaux salées a engendré la destruction des infrastructures (photo : 5) de la région, malgré la faible durée de leurs constructions (ne dépasse pas 20 ans).

### **I.1.2. Impact des bâches plastiques dans la région d'Ida Ouazza**

Les producteurs de sel dans la région utilisent des membranes de plastiques pour la couverture de leurs bassins de décantation. Quand ses dernières deviennent inutilisables, ils les rejettent, ce qui constitue une nuisit sur l'environnement et la santé (photo : 6)

Les matières plastiques influencent beaucoup le milieu de vie et leurs conséquences sur l'environnement sont énormes et multiples. Leur durée de vie varie entre 100 et 400 ans en fonction des conditions. Ils ont des effets nocifs sur la faune et la flore aquatique.

En effet, la région d'Ida Ouazza est caractérisée par un climat aride à semi-aride, ce qui provoque une forte évaporation des eaux salées, ce qui favorise la libération de la matière toxique dans le sel alimentaire et le sol.

D'ailleurs, la mauvaise qualité de la matière plastique utilisée par les producteurs de sel provoque une modification des sous-écosystèmes ces dernières s'infiltrant dans le sol et empêchent les eaux de circuler normalement et de descendre jusqu'à les eaux souterraines. Ils empêchent ainsi la croissance des végétaux qui n'arrivent pas à étendre leurs racines dans la profondeur du sol pour y tirer la sève.





*Photo 6: L'impact de la matière plastique sur l'environnement (05 Mai 2015).*

### I.1.3. Impact de lavage des bassins de décantation sur la végétation

Les eaux de lavage même si elles sont encore de faible importance pourraient engendrer un impact négatif sur la productivité des zones agricoles (Mermoud, A., 2006).

En effets cette augmentation de sel dans le sol rend difficile l'absorption de l'eau par le système racinaire, car il y a une compétition pour l'eau entre le sol et la plante, par le jeu des pressions osmotiques des deux milieux. En présence d'une forte concentration de sel dans le sol (Photo : 8), la pression osmotique de l'eau du sol est supérieure à la pression osmotique



de l'eau contenue dans la plante, ce qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol ; il s'en suit une diminution des rendements, et à terme, une stérilisation de sol.

La présence de sel agit également sur la structure même du sol (tassement, diminution de la perméabilité), ce qui renforce les difficultés d'alimentation hydrique du végétal provoqués par la sécheresse du sol.



*Photo 7 : L'impact de la salinité sur le sol (05 Mai 2015)*

## Conclusion

Notre secteur étudié est situé au centre de la région d'Ida Ouazza et dans la partie centrale de l'anticlinal d'Amsittène. Les formations qui caractérisent ce secteur sont généralement du Trias entouré par des formations Jurassique.

L'évolution des précipitations dans cette région reste irrégulière ne dépasse pas 300 mm, les températures moyennes mensuelles varient entre 18 et 23°C, évaporation annuelle de l'ordre de 2400 mm avec un climat aride à semi-aride.

Du point de vue des ressources en eau, la région d'Ida ouazza ne présente pas de nappe généralisée. Elle enregistre une accumulation des eaux de pluies, et les eaux superficielles s'écoulent dans les talwegs et «Chaaba».

Les cartes piézométriques nous ont montrés seulement que les forages d'exploitation de sels n'influence pas d'une manière directe sur les eaux potables de la région.

La conductivité est de 1300  $\mu S/cm$  pour le forage d'AEP et plus de 10000  $\mu S/cm$  pour les forages d'exploitant de sel (11 et 12). Elle varie d'une façon irrégulière et en fonction de la température.

L'analyse hydro-chimique a montré l'existence d'un seul type de faciès chimiques dans les eaux. Cela a permis d'identifier la principale réaction responsable du chimisme des eaux. L'interprétation des analyses chimiques montre que l'origine des fortes minéralisations est due à la dissolution des carbonates, et à la remonté des eaux profondes à cause de la présence de diapir. L'évaluation de la qualité chimique des eaux douces dans la zone d'étude est bonne, selon les paramètres identifiés. Le degré de contamination par la pollution doit être confirmé par d'autres analyses chimiques et biologiques.

Enfin, l'augmentation de la production de sel dans la région a conduite à une évolution des cavités souterraines et des vides résiduels ce qui joue un risque important sur les infrastructures et un impact très dispersé sur l'environnement et le sol.

## Recommandation

Au terme de ce travail, l'étude effectuée dans la région d'Ida Ouazza n'est pas suffisante pour obtenir une vision précise sur les ressources en eau, à cause de manque des données et des études localisés sur la région. Ainsi le temps est insatisfaisant.

C'est pour cela, les recommandations suggérées doivent être basé sur 3 stratégies principales :

### **Stratégie 1 : la gestion durable des ressources en eau :**

- ✓ Pour déterminer l'impact de prélèvement des eaux pour l'exploitation de sels sur les eaux de l'AEP de centre d'Ida Ouazza, il va falloir effectuer un essai de pompage pour préciser le rayon d'action et l'impact de ce pompage.
- ✓ Prévoir limiter ou interdire des pompages excessifs par les producteurs de sels dans les couches aquifères pour éviter la contamination des eaux de Lias par les eaux salées de diapir triasique.
- ✓ Eviter le rejet des eaux de lavage dans les milieux naturelles par le recyclage de ses eaux dans les bassins de décantation.

### **Stratégie2 : Prévention à long terme des risques de salinité :**

Prendre les mesures nécessaires pour empêcher la dégradation des terres par le sel et le sodium et formuler des recommandations précises en matière de prévention.

### **Stratégie3 : le risque des mouvements de terrains :**

Réfléchir à une exploitation modernisée de ses sels et évaluer les variations des quantités d'eau dans certains terrains pour minimiser les impacts négatifs sur les structures géologiques dans la région.

## Références bibliographiques :

- ABHT, (1995) – Les objectifs de création des Agences de bassin Hydrauliques. Rapport interne, 39 p.
- ABHT, (2013) – Situation Hydrologique de la période Septembre –Décembre de l’année ABHT, (2013b) – Présentation de l’Agence du Bassin Hydraulique, 9p.
- ABHT, (2015) – Situation Hydrologique de la période Septembre –Décembre de l’année hydrologique 2014-2015. 28p... .
- hydrologique 2013-2014. 30p.
- Duffaud A. (1966) – Haut Atlas occidental *Western Hight* Atlas notes, Mém. Serv. Geol. Maroc, n°562, pp. 9-62, 53fig.
- Fakhi S. (2003) – Approche géochimique élémentaire des dépôts sédimentaires du bassin d’Essaouira-Doukkala et la présence de la matière organique, Phys. Chem. News 10 52-62.
- Jean St. (2013) - Risques miniers. (page consultée le 16/05/2015). <http://www.rhone.gouv.fr/>
- Mermoud A. (2006) - Maitrise de la salinité des sols. 150p.
- Martin S. (2009). – Maroc Santé et environnement : C'est officiel, le sac en plastique noir est désormais interdit. (page consultée le 12/05/2/15). <http://www.lavieeco.com/>
- Morrabi A. et Soudani O. (2013) – Caractérisation de la qualité des ressources en eau dans le sous bassin Ksob (Région d’Essaouira, Maroc). Rapport LST EE, FST, Université Cadi Ayyad Marrakech. 65p.
- Liouba D. (2014) - les mines de sel : une balade au sud d’Essaouira (page consultée le 15/05/2015). <http://www.darliouba.eu/actualites/mines-sel-salins-balade/>



## Liste des figures

•	<i>Figure 1 : Localisation de la zone étudiée.</i>	8
•	<i>Figure 2 : Carte géologique du bassin d'Essaouira</i>	9
•	<i>Figure 3 : Carte géologique schématique du centre de la région d'Ida Ouazza.</i>	12
•	<i>Figure 4 : Log stratigraphique du centre de la région d'Ida Ouazza.</i>	12
•	<i>Figure 5 : La carte des réseaux hydrographiques (ABHT).</i>	14
•	<i>Figure 6 : A : Talwegs alimentant le centre de la région d'Ida Ouazza. B : Les eaux stagnantes de la mine de sel d'Ida ouazza (05 Mai 2015).</i>	14
•	<i>Figure 7 : L'orientation de la coupe géologique sur la carte géologique de Tamanar au 1/1000000 (ABHT).</i>	19
•	<i>Figure 8 : A : Etape 1 de la numérisation des cartes topographiques : Limitation du secteur étudié. B : Etape 2 : A:Géo- référencement des cartes. C : Etape 3 : Ajout des piézomètres à la carte.</i>	24
•	<i>Figure 9 : A : La copie du tableau Excel dans Worksheet. B : La fonction Grid-Data. C : Les courbes isopiézométriques. -D : La localisation des forages.</i>	27
•	<i>Figure 10 : A : dosage des chlorures .B : dosage des sulfates .C : dosage des bicarbonates. D : dosage de sodium</i>	30
•	<i>Figure 11 : A : interface de logiciel Diagrammes B : tableau des échantillons analysés. C : la représentation graphique de Piper. D : la représentation graphique de Schoeler-Berkaloff.</i>	32
•	<i>Figure 12 : Carte géologique numérisée du secteur étudié.</i>	34
•	<i>Figure 13 : Coupe géologique au niveau de la mine de sel, Amsittène.</i>	35
•	<i>Figure 14 : A : Log stratigraphique du forage d'exploitant de sel (n°12). B : Log stratigraphique du forage de l'AEP (n°14). C : Log stratigraphique du forage 487/51. D : log stratigraphique du forage 400/51</i>	36
•	<i>Figure 15 : La carte piézométrique de tous les forages.</i>	37
•	<i>Figure 16 : La carte piézométrique de tous les forages sauf les exploitants de sel.</i>	37
•	<i>Figure 17 : Projection des analyses chimiques sur le diagramme de Piper.</i>	43
•	<i>Figure 18 : Projection des analyses sur le diagramme de Schoeller Berkaloff.</i>	44

## Liste des tableaux

- *Tableau 1 : Tableau des données collectées de l'ABHT..... 18*
- *Tableau 2 : Tableau des données collectées dans le secteur étudié..... 22*
- *Tableau 3 : Tableau des coordonnées des piézomètres et leurs niveaux piézométriques..... 25*
- *Tableau 4 : Situation des points d'eaux de la mine d'Ida Ouazza..... 28*
- *Tableau 5 : Grille simplifiée de la qualité des eaux souterraines (ABH Tensift / Etude de la qualité de l'eau / 43ème Campagne)..... 38*
- *Tableau 6 : La conductivité et la minéralisation des 3 échantillons analysés (05 Mai 2015)..... 40*
- *Tableau 7 : Analyses chimiques effectués au laboratoire (1/6/2015)..... 41*
- *Tableau 8 : La balance ionique des analyses chimiques..... 41*

## Liste des photos

- *Photo 1 : La mine de sel d'Ida Ouazza (5 Mai 2015)..... 15*
- *Photo 2 : Un bassin de décantation dans la région d'Ida Ouazza (05 Mai 2015). ..... 16*
- *Photo 3 : Les appareils des mesures faite in situ : A : Le GPS. B : La sonde piézométrique. C : le thermomètre. D : le conductimètre..... 21*
- *Photo 4 : Affaissements des maisons par les eaux salées dans la région d'Ida Ouazza (05Mai 2015). ..... 45*
- *Photo 5 : Démolition de constructions à cause de l'affaissement du terrain (05 Mai 2015). ..... 46*
- *Photo 6: L'impact de la matière plastique sur l'environnement (05 Mai 2015)..... 47*
- *Photo 7 : L'impact de la salinité sur le sol (05 Mai 2015)..... 48*