

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**



**ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**  
**ECOLE DOCTORALE INGENIERIE ET ENVIRONNEMENT**

Option : Mines et Environnement

**MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du diplôme de **MAGISTER**

Par :

**DJEZAIRI Omar**

**Représentation de la répartition hydrologique par un Système  
d'Information Géographique (SIG) : Cas de la région d'Ain Azel**

**Soutenu devant le jury**

M. OMRACI Kamel	Maître de Conférences A (ENP, Alger)	Président
M. SEBAI Amar	Professeur (ENP, Alger)	Rapporteur
Mlle. BENMAMAR Saâdia	Maître de Conférences A (ENP, Alger)	Examinatrice
M. CHABOU Moulley Charaf	Maître de Conférences A (Univ, Sétif)	Examineur
M. TALBI Tayeb	Maître-assistant A (ENST, Alger)	Invité

Année universitaire 2011-2012

ENP, 10 Avenue Hassen Badi, El Harrach, Alger

# Dédicace

Je tiens à remercier Dieu qui m'a donné la santé et le courage pour aboutir à la réalisation de ce travail.

Je dédie ce travail à :

Mes parents ;

Mes frères et sœurs ;

et à ma grande famille ;

A tous mes amis ;

A tous mes collègues.

# Remerciements

Je tiens à remercier :

Monsieur le Professeur SEBAI Amar, Directeur de ce mémoire, pour avoir accepté de diriger ce travail. Pour sa confiance, sa disponibilité, ses encouragements et ses précieux conseils qu'il a tenu à me prodiguer au cours de la réalisation de ce travail.

Mes remerciements vont également à Monsieur TALBI Tayeb, Maître-assistant A à l'Ecole Nationale Supérieure de Technologie (ENST), pour le temps qu'il a consacré pour m'aider et pour ses conseils et ses orientations précieuses.

Mes sincères remerciements vont aussi aux membres du jury, de m'avoir fait l'honneur d'examiner ce mémoire.

Je remercie Monsieur MESRATI Toufik Chef de service en hydrogéologie au niveau de l'ANRH, pour ses aides et Mademoiselle BELKHIRI Nabila, ingénieur en hydrogéologie au niveau de l'ANRH, pour m'avoir aidé à l'apprentissage du logiciel MapInfo.

Je tiens également à remercier Monsieur BOUKHELIF Benyoucef, Directeur au niveau de l'Agence Nationale de la Géologie et du Contrôle Minier pour ses aides.

Par la même occasion, j'exprime mes vifs remerciements et ma profonde gratitude à Mademoiselle BOUSDIRA Dina, ingénieur d'état au niveau de l'Agence Nationale de la Géologie et du Contrôle Minier, Direction de Protection de l'Environnement, pour son aide, et pour l'ensemble des données qu'elle a mis à ma disposition.

Mes remerciements vont aussi à Monsieur LAGAB Riad, ingénieur en transport ferroviaire pour le temps qu'il a consacré pour m'aider à l'apprentissage du logiciel MapInfo, et Monsieur HAMANI Mohamed, ingénieur d'état en informatique au niveau de Ministère de l'Enseignement Supérieur.

A tout le personnel de la Direction du Contrôle et de la Sécurité Minière ANGCM, je dis merci.

Je suis reconnaissant à tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation et à toute personne qui m'a appris une lettre ou une phrase, qu'ils trouvent ici un petit fruit de leurs sueurs.

## ملخص:

يهدف هذا العمل إلى وضع التوزيع الهيدرولوجي بالنظام المعلوماتي الجغرافي لمنطقة عين أزال الواقعة بولاية سطيف, كما تعتبر هاته المنطقة كمنطقة منجمية أين توجد الكثير من الكتل المتعددة المعادن للرصاص و الزنك, لا سيما منجم خرزة يوسف و منجم شعبة الحمراء, كذلك أين يوجد كمية هائلة من المياه, و للأسف هذين المنجمين يمكن أن يعتبروا كمصدر لتلوث هاته المياه

هذه الأطروحة هي كذلك حوصلة لنتائج التحاليل الكيميائية لمختلف الدراسات التي أجريت سابقا في هاته المنطقة, و التي أجريت للمياه للرواسب و للتربة و بعد ذلك و باستعمال أداة (SIG), قمنا بوضع النتائج المتحصل عليها في الخرائط الرقمية.

و في النهاية و في إطار متابعة العمل من هذا المنوال, يمكن أن تستعمل هاته الخرائط كمرجع لإجراء أخذ العينات للتربة و المياه

الكلمات المفتاحية النظام المعلوماتي الجغرافي, عين أزال, منجم, خرزة يوسف, شعبة الحمراء, الرصاص, الزنك, المياه, التلوث.

## **Résumé**

Ce travail a pour objet la représentation de la répartition hydrologique par un Système d'Information Géographique (SIG) dans la région d'Ain Azel, Wilaya de Sétif. Cette région correspond à une zone minière, lieu de gisements polymétalliques de Plomb-Zinc (mines de Kherzet Youcef et de Chaâbet El Hamra), où se trouve une grande masse d'eau ; malheureusement ces mines peuvent être une source de contamination de cette masse d'eau.

Ce mémoire est aussi une synthèse des résultats d'analyses chimiques de l'eau, des sols et des sédiments, à partir des études et rapports qui ont été effectués sur cette région ; le résultat de cette synthèse nous a permis d'établir une cartographie par l'outil SIG.

Enfin, cette cartographie sous SIG pourrait servir de base pour un éventuel échantillonnage d'eau et de sol, et ce dans le cadre de la recherche de la pollution dans cette région.

**Mots clés :** Système d'Information Géographique(SIG), Ain Azel, mine, Kherzet Youcef, Chaâbet El Hamra, Plomb, Zinc, Eau, pollution.

## **Abstract**

This work has as main task the representation of the hydrological distribution by a Geographic Information System (GIS) in the area of Ain Azel, wilaya of Setif. This region, corresponding to a mining area with important resources of Polymetals, especially Lead-Zinc deposits (mines of Chaâbet El Hamra and Kherzet Youcef), is characterized by the presence of a large body of water, but unfortunately these mines can be a source of contamination of groundwater.

This thesis aims to achieve a synthesis of the main results of chemical analysis of water, soils and sediments, and reiterated the main studies and reports in the region. The result of this synthesis has allowed us to map the hydrogeological distribution in this area by the GIS tool.

Finally, this mapping, using GIS, could provide the basis or guide for possible water and soil sampling, which could be used to search for pollution in this area.

**Key words:** Geographic Information System (GIS), Ain Azel, mine, Kherzet Youcef, Chaâbet El Hamra, Lead, Zinc, water, contamination.



# TABLE DE MATIERES

<b>DEDICACE</b>	<b>I</b>
<b>REMERCIEMENTS</b>	<b>II</b>
<b>RESUME</b>	<b>III</b>
<b>TABLE DE MATIERES</b>	<b>IV</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	<b>VII</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b>	<b>X</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	<b>1</b>

## **Chapitre I : PRESENTATION ET GEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE**

<b>I.1. Cadre géographique et physique</b>	<b>3</b>
I.1.1 <i>Localisation géographique et description géomorphologique</i>	<b>3</b>
I.1.2 <i>Description de la région</i>	<b>5</b>
I.1.3. <i>Cadre climatique</i>	<b>6</b>
I.1.3.1 Pluviométrie	<b>7</b>
I.1.3.2 Température	<b>8</b>
I.1.3.3 Grêles et gelées	<b>9</b>
I.1.3.4 Vents	<b>9</b>
<b>I.2. Géologie locale de la région</b>	<b>9</b>
I.2.1 <i>Stratigraphie</i>	<b>9</b>
I.2.1.1 Quaternaire	<b>10</b>
I.2.1.2 Tertiaire	<b>10</b>
I.2.1.3 Secondaire	<b>11</b>
I.2.2 <i>Tectonique de la région</i>	<b>14</b>
I.2.2.1 Failles	<b>14</b>
I.2.2.2 Plis	<b>16</b>
I.2.2.3 Structures diapiriques	<b>17</b>
<b>I.2.3. <i>Géologie des gisements</i></b>	<b>17</b>
I.2.3.1 Gisement de Kherzet Youcef	<b>17</b>
I.2.3.2 Gisement de Chaâbet El-Hamra	<b>17</b>

## **Chapitre II : ACTIVITE MINIERE ET RISQUE DE POLLUTION**

<b>II.1. Activité minière de la région d'étude</b>	<b>18</b>
II.1.1 <i>Présentation des gisements de plomb-zinc</i>	<b>18</b>
II.1.1.1 Gisement de Kherzet Youcef	<b>18</b>
II.1.1.2 Gisement de Chaabet El-Hamra	<b>19</b>
II.1.2 <i>Localisation géographique des gisements</i>	<b>19</b>
II.1.3 <i>Minéralisation</i>	<b>20</b>
II.1.3.1 Les sulfures	<b>20</b>

II.1.3.2	Les minéraux de la zone d'oxydation	21
II.1.3.3	Les minéraux de la gangue	21
II.1.4	<b>Méthode d'exploitation</b>	<b>21</b>
II.1.5	<b>Traitement du minerai</b>	<b>22</b>
II.1.6	<b>Digue</b>	<b>26</b>
<b>II.2</b>	<b>Pollution dans la région d'étude</b>	<b>28</b>
II.2.1	<b>Pollution des eaux</b>	<b>28</b>
II.2.1.1	Pollution des eaux souterraines	28
II.2.1.2	Rejet des eaux résiduaires	32
II.2.2.	<b>Pollution des sédiments et des sols</b>	<b>33</b>
II.2.2.1	Pollution des sédiments	33
II.2.2.2	Pollution des sols	35
<b>Chapitre III : DONNEES HYDROGEOLOGIQUES</b>		
<b>III.1.</b>	<b>Hydrologie de la région</b>	<b>37</b>
III.1.1	<b>Inventaire des points d'eau</b>	<b>37</b>
III.1.2	<b>Description du bassin versant</b>	<b>37</b>
III.1.3	<b>Caractéristiques physiques du sous-bassin versant d'Ain Azel</b>	<b>37</b>
III.1.4	<b>Réseaux hydrographiques</b>	<b>40</b>
III.1.4.1	Les principaux oueds d'Ain Azel	40
III.1.4.2	Les sebkhas	40
III.1.5	<b>Bilan hydrologique</b>	<b>41</b>
<b>III.2</b>	<b>Hydrogéologie de la région</b>	<b>43</b>
III.2.1	<b>Hydrogéologie des gisements</b>	<b>44</b>
III.2.1.1	Gisement de Kherzet Youcef	44
III.2.1.2	Gisement de Chaâbet El-Hamra	46
<b>III.3.</b>	<b>Sèismicite de la région</b>	<b>50</b>
<b>Chapitre IV : REALISATION D'UN SIG</b>		
<b>IV.1.</b>	<b>Description du SIG</b>	<b>51</b>
IV.1.1	<b>Définition</b>	<b>51</b>
IV.1.2	<b>Classification des SIG</b>	<b>51</b>
IV.1.3	<b>Composantes du SIG</b>	<b>53</b>
IV.1.3.2	Choix du logiciel	53
IV.1.3.1	Base de données géographiques	54
<b>IV.2.</b>	<b>Problématique et Objectifs</b>	<b>54</b>
<b>IV.3.</b>	<b>Structuration et représentation des données</b>	<b>55</b>
IV.3.1	<b>Structure de la base de données (table)</b>	<b>55</b>
IV.3.2	<b>Représentation des données</b>	<b>56</b>
IV.3.2.1	Données de type raster	56
IV.3.2.2	Données de type vecteur	56
<b>IV.4.</b>	<b>Information géographique</b>	<b>65</b>
<b>IV.5.</b>	<b>Application</b>	<b>66</b>

<b>IV.6.</b>	<b>Représentation du sens d'écoulement</b>	<b>66</b>
<b>IV.7.</b>	<b>Extraction d'information thématique</b>	<b>69</b>
IV.7.1	<i>Comparaison des résultats d'analyse de l'eau avec les normes</i>	69
IV.7.2	<i>Comparaison des résultats d'analyse des sols avec les normes</i>	74
IV.7.3	<i>Comparaison des résultats d'analyse des sédiments avec les normes</i>	76
<b>IV.8.</b>	<b>Cartographie des éléments en traces</b>	<b>78</b>
IV.8.1	<i>Analyse de la répartition spatiale des éléments en traces dans l'eau</i>	78
IV.8.2	<i>Analyse de la répartition spatiale des éléments en traces dans les sols</i>	80
<b>CONCLUSION GENERALE</b>		<b>82</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>		
<b>ANNEXES</b>		

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1 :</b>	Résumé Stratigraphique d'Ain Azel	15
<b>Tableau 2 :</b>	Coordonnées des gisements en UTM	20
<b>Tableau 3 :</b>	Résultats d'analyse des métaux lourds (1983)	29
<b>Tableau 4 :</b>	Normes admises relatives aux métaux contenus dans l'eau	29
<b>Tableau 5 :</b>	Résultats d'analyse polymétaux (ANRH, 2004)	30
<b>Tableau 6 :</b>	Résultats d'analyse des eaux	30
<b>Tableau 7 :</b>	Résultats d'analyse des eaux de la nappe mio-plio-quaternaire	31
<b>Tableau 8 :</b>	Résultats d'analyse des eaux de la nappe barrémienne	31
<b>Tableau 9 :</b>	Résultats d'analyse des eaux de l'Oued Ennza(2006)	33
<b>Tableau 10 :</b>	Résultats d'analyse des eaux de la digue(2006)	33
<b>Tableau 11 :</b>	Résultats d'analyse des sédiments de l'Oued Ennza(2006)	34
<b>Tableau 12 :</b>	Résultats d'analyse des sédiments(2009)	34
<b>Tableau 13 :</b>	Teneurs en plomb et zinc dans le sol(2006)	35
<b>Tableau 14 :</b>	Teneurs en plomb et zinc dans le sol (ANRH, 2006)	35
<b>Tableau 15 :</b>	Teneurs en plomb et zinc dans le sol (2009)	36
<b>Tableau 16 :</b>	Caractéristiques physiques du sous bassin versant	37
<b>Tableau 17 :</b>	Structure des données "alphanumériques" de la table des points d'eau	64

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1.a :</b>	Situation géographique de la région d'étude en Algérie	4
<b>Figure 1.b :</b>	Situation géographique de la région d'étude dans la Wilaya de Sétif	5
<b>Figure 2 :</b>	Variation de la pluviométrie moyenne mensuelle dans la région d'Ain Azel durant la période 1988-2001	7
<b>Figure 3 :</b>	Températures moyennes mensuelles de la région d'Ain Azel durant la période 1988-2001	8
<b>Figure 4 :</b>	Carte géologique de la région d'Ain Azel modifiée	13
<b>Figure 5 :</b>	Carte toponymique avec localisation des gites	20
<b>Figure 6 :</b>	Ancien Schéma technologique de la laverie de Kherzet Youcef	24
<b>Figure 7 :</b>	Schéma technologique actuel du complexe de Kherzet Youcef	25
<b>Figure 8 :</b>	Vue de la digue des stériles	26
<b>Figure 9. a :</b>	Digue de la mine de Kherzet Youcef	27
<b>Figure 9.b :</b>	Position de la digue de la mine de Kherzet Youcef par rapport à la ville d'Ain Azel	27
<b>Figure 10 :</b>	Grands bassins versants de l'Algérie	38
<b>Figure 11 :</b>	Photo illustrant Sebkhât El Hamiet	41
<b>Figure 12 :</b>	Carte du réseau hydrographique	42
<b>Figure 13 :</b>	Coupe hydrogéologique schématique de la région de Kherzet Youcef	44
<b>Figure 14 :</b>	Coupe hydrogéologique de la mine de Chaâbet El-Hamra (profil 0 à 15)	47
<b>Figure 15 :</b>	Niveaux aquifères dans la région de Chaâbet El-Hamra	48
<b>Figure 16 :</b>	Niveaux aquifères dans la région de Kherzet Youcef	49
<b>Figure 17 :</b>	Résumé d'un Système d'Information Géographique	52
<b>Figure 18 :</b>	Composantes d'un SIG	53
<b>Figure 19 :</b>	Carte topographique d'Ain Azel	57
<b>Figure 20 :</b>	Carte topographique d'Ain Azel callée sur MapInfo	58
<b>Figure 21 :</b>	Représentation géographique des Oueds et des Chotts d'Ain Azel sur MapInfo	59
<b>Figure 22. a :</b>	Représentation géographique des forages de la zone d'Ain Azel sur MapInfo	60
<b>Figure 22.b :</b>	Représentation géographique des puits de la zone d'Ain Azel sur MapInfo	61
<b>Figure 22.c :</b>	Représentation géographique des puits forés de la zone d'Ain Azel sur MapInfo	62
<b>Figure 22.d :</b>	Représentation géographique des piézomètres de la zone d'Ain Azel sur MapInfo	62
<b>Figure 22.e :</b>	Représentation géographique des sources de la zone d'Ain Azel sur MapInfo	63
<b>Figure 23 :</b>	Représentation des données "alphanumériques" des points d'eau sur MapInfo	64
<b>Figure 24 :</b>	Informations géographiques des points d'eau d'Ain Azel sur MapInfo	65
<b>Figure 25 :</b>	Réalisation des points et cours d'eau de la zone d'Ain Azel par MapInfo	67

<b>Figure 26</b>	Sens d'écoulement de surface au niveau de la zone d'Ain Azel par MapInfo	68
<b>Figure 27 :</b>	Positionnement des points de prélèvement d'analyse géochimique de 2006	70
<b>Figure 28 :</b>	Positionnement des points de prélèvement d'analyse géochimique de 2009	71
<b>Figure 29 :</b>	Opération et affichage des résultats des eaux (Pb>0.1)	72
<b>Figure 30 :</b>	Opération et affichage des résultats des eaux (Zn>5)	72
<b>Figure 31 :</b>	Opération et affichage des résultats des eaux (Pb>0.1 et Zn>5)	73
<b>Figure 32 :</b>	Opération et affichage des résultats dans les sols (Pb>60 ppm)	74
<b>Figure 33 :</b>	Opération et affichage des résultats dans les sols (Zn>150 ppm)	75
<b>Figure 34 :</b>	Opération et affichage des résultats dans les sédiments, (Pb>60 ppm)	76
<b>Figure 35 :</b>	Opération et affichage des résultats dans les sédiments (Zn>150 ppm), 2006	77
<b>Figure 36 :</b>	Opération et affichage des résultats dans les sédiments (Zn>150 ppm), 2009	78
<b>Figure 37 :</b>	Distribution spatiale du Plomb dans l'eau au niveau d'Ain Azel	79
<b>Figure 38 :</b>	Distribution spatiale du Zinc dans l'eau au niveau d'Ain Azel	79
<b>Figure 39 :</b>	Distribution spatiale du Plomb dans les sols au niveau d'Ain Azel	80
<b>Figure 40 :</b>	Distribution spatiale du Zinc dans les sols au niveau d'Ain Azel	81

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

SIG : Système d'Information Géographique

PDAU : Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme

ONM : Office National de la Météo

PCO : Poste Climatologique Ordinaire

UTM : Universal Transverse Mercator

ETM : Eléments Traces Métalliques

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques

ENOF : Entreprise Nationale des Métaux non Ferreux

EREM : Entreprise de Recherche Minière

SONAREM : Société Nationale de la Recherche et d'Exploitation Minières

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

AFNOR : Association Française de Normalisation

SMA : Société des Mines d'Ampère

SGBD : Systèmes de Gestion de Bases de Données

CEE : Communauté Européenne

ppm : partie par million

# **INTRODUCTION GENERALE**



Il est évident que dans les temps modernes la gestion des ressources en eau est d'une importance capitale pour leur utilisation profitable dans tous les secteurs de la vie : urbain, agricole, commercial, industriel ...

Cette importance est reflétée par la création d'un système d'information de gestion de ressources en eau à tous les niveaux : international, national, régional, local... et qui sont chargés d'une distribution équitable pour tous les consommateurs, en veillant également à la préservation de la qualité de ces ressources et à l'impact de leur exploitation sur l'environnement, notamment la pollution de la nappe par les métaux toxiques.

La gestion des ressources en eau d'un bassin versant, nécessite des données qualitatives et quantitatives pour l'estimation du bilan hydrologique. Pour un bassin versant, il s'agit de l'étude des ressources qui entrent, sortent et celles stockées dans le système. D'autre part, la qualité de l'eau dans les cours d'eau (oueds, rivières, chotts ...) et les points de prise (forages, puits, sources...), doivent faire l'objet d'analyses chimiques périodiques.

L'étude proposée dans le cadre de ce mémoire concerne la région d'Ain Azel située dans la wilaya de Sétif (Est Algérien).

Dans cette région se trouve un ensemble de points d'eau (forages, sources, puits...) qui peuvent être pollués par l'exploitation des mines polymétalliques Pb-Zn avoisinantes, Kherzet Youcef et Chaâbet el Hamra.

Ainsi, l'objectif principal de cette étude est de représenter par un Système d'Information Géographique (SIG) la répartition de ces points d'eau, qui servira comme document de base cartographique pour diverses études, parmi lesquelles on citera celle de la pollution des eaux de cette région.

Pour la prise en charge de cette étude, on a préconisé la démarche suivante :

- Après une brève présentation de la région d'étude, nous avons décrit la géologie de cette dernière.

## INTRODUCTION GENERALE

---

- Ceci a été suivi par l'exposé de l'activité minière de cette région, à savoir la présentation des mines polymétalliques (Pb-Zn) de Kherzet Youcef et Chaâbet el Hamra et leur impact sur la pollution des eaux environnantes.
- Un chapitre a été consacré à l'hydrologie et l'hydrogéologie de la région d'Ain Azel.
- A la suite de cela, un Système d'Information Géographique a été réalisé avec une brève description, et la mise en place des différents points et cours d'eau sur MapInfo ; ainsi que les résultats d'analyses chimiques des eaux, des sols et des sédiments obtenus à partir de différents travaux réalisés dans la région d'étude.

Enfin, après avoir effectué une synthèse de ces résultats concernant la pollution par les métaux Pb-Zn des eaux, des sols et des sédiments de cette région, nous avons établi une cartographie de ces résultats sous SIG.

**Chapitre I :**  
**PRESENTATION ET GEOLOGIE DE LA ZONE**  
**D'ETUDE**

## Introduction

La connaissance du climat, de la géomorphologie, de la litho-stratigraphie et de la tectonique d'un bassin versant, s'avère importante pour expliquer l'hydrologie et l'hydrogéologie, ainsi que l'origine d'écoulement des eaux souterraines et leur ruissellement en surface.

### I.1. Cadre géographique et physique

#### *I.1.1. Localisation géographique et description géomorphologique*

La zone d'Ain Azel est implantée sur une petite colline à environ 50 km au Sud du chef lieu de la wilaya de Sétif et à moins de 100 km de la Mer Méditerranée (figure 1.a).

Sur le plan national, cette région se situe dans la partie nord-centrale de l'Algérie. Elle appartient au domaine méridional des Hautes Plaines Sétifiennes et le Hodna, entre 35°48' et 35°55' de latitude Nord, 5°27' et 5°33', de longitude Est et à 900 m d'altitude (figure 1.b).

Cette région couvre partiellement deux feuilles au 1/50 000<sup>e</sup> : n°143 Ain Azel et n° 144 Ain El-Hadjar. Elle est constituée dans sa majeure partie d'une plaine, orientée dans le sens NE-SO, qui s'étend sur une surface endoréique d'environ 3.000 hectares.

Elle est encadrée par deux limites naturelles et artificielles plus au moins nettes, qui sont respectivement la faille montagneuse connue sous le nom de Kherzet Youcef à l'Ouest et de Sebket El-Hamiet au Nord-Est. Ses flancs septentrionaux, orientaux et méridionaux sont limités par des routes à grande circulation et des chemins locaux.

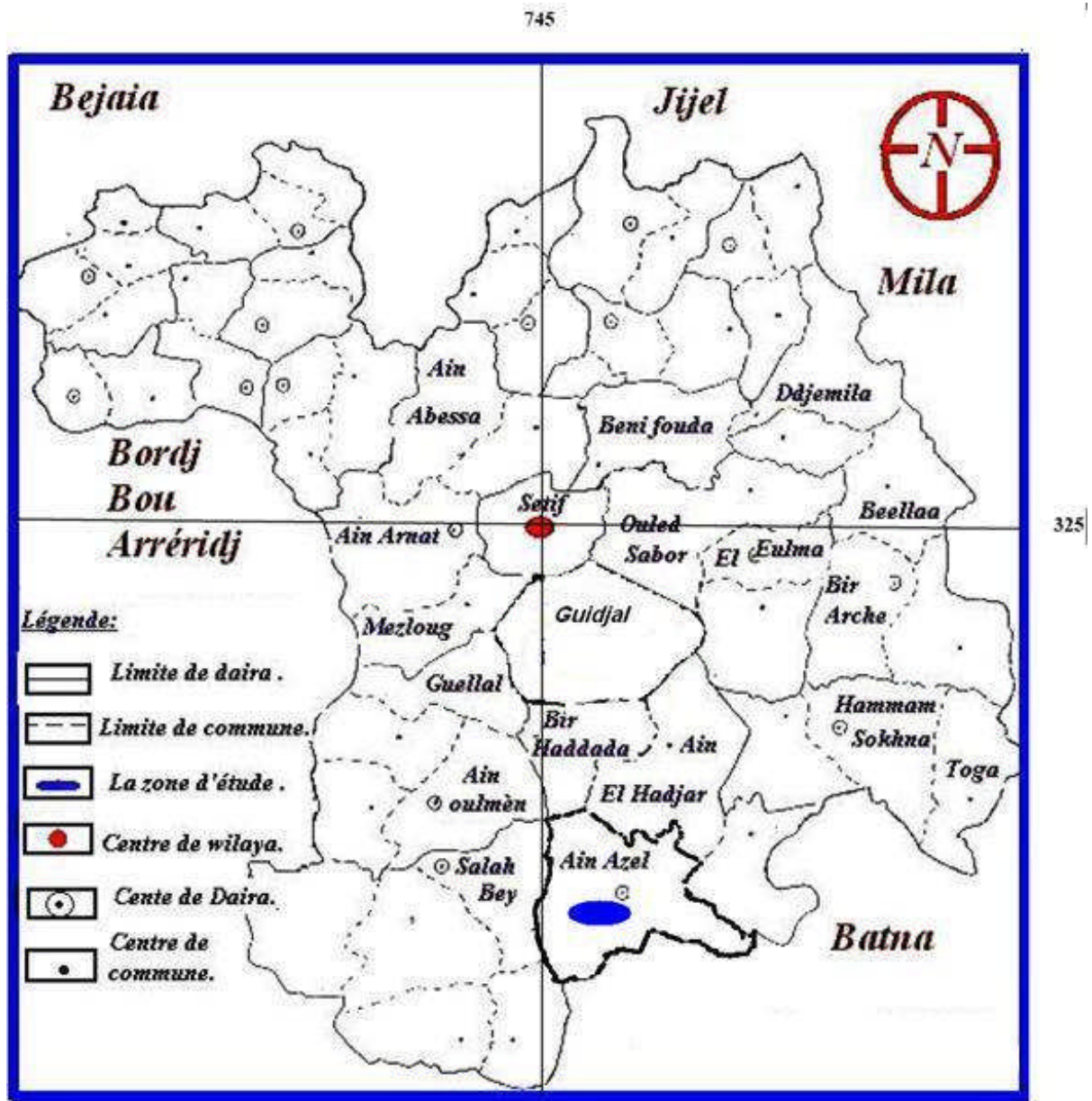
L'ensemble est entouré par les franges septentrionales des Monts Hodna de l'Ouest à l'Est en passant par le Sud : le massif boisé de Hadjar Labiod (1317 m), le massif de Boutaleb (plus de 1400 m d'altitude) et une zone plate dans laquelle se développe une série de collines plus au moins basses mais parfois abruptes (1074 à 1138 m). Quand à la partie Nord, le paysage, qui apparait bien ouvert sur les grandes plaines sétifiennes, est marqué par la présence de quelques reliefs dominant Sebket El-Hamiet.

L'observation de photos aériennes à l'échelle du 1/20.000<sup>e</sup> a permis de distinguer grossièrement quatre domaines géomorphologiques, qui sont représentés par les franges Hodnéennes, les collines éparpillées un peu partout dans le paysage et des terrasses anciennes et récentes, faiblement inclinées.

Leur surface est bien entaillée à proximité des reliefs par un réseau hydrographique dense. Ce réseau devient peu marqué au centre de la plaine et très faible avant de divaguer dans Sebkhet El-Hamiet (**M. Medkour, 1994**).



**Figure 1.a** : Situation géographique de la région d'étude en Algérie (ANPM, 2008)



**Figure 1.b :** Situation géographique de la région d'étude dans la Wilaya de Sétif (Djemmal, 2009).

### *1.1.2. Description de la région*

Le périmètre d'étude d'Ain Azel fait partie de la plaine Sétifienne qui est insérée entre deux massifs de l'Atlas Algérien (Tellien et près Saharien) et qui constitue la limite naturelle entre les Hautes Plaines au Nord et les Monts du Hodna au Sud. Son relief est façonné par trois (03) zones homogènes :

- ✓ Une zone montagneuse au Sud et à l'Ouest caractérisée par :
  - une déclivité de 20% à plus de 25% ;
  - une altitude de 1150 m à plus de 1250 m.

- ✓ Une zone de plaines au Nord et au Centre, marquée par :
  - une déclivité inférieure à 5% ;
  - une altitude inférieure à 950 m, mais qui peut atteindre parfois 1050m.
- ✓ Une zone de piémont, passage obligé entre la plaine et la montagne sous forme d'une bande Nord-Sud à l'Ouest de la commune d'Ain Azel et Est-Ouest en son Sud, qui est caractérisée par :
  - une déclivité qui varie de 10% à 20% ;
  - une altitude oscillant entre 1050 m et 1150 m **(P.D.A.U, 1997)**.

### ***1.1.3. Cadre climatique***

La région d'Ain Azel fait partie du climat méditerranéen, à étage bioclimatique semi-aride et sous étage froid, avec deux périodes bien distinctes : une période humide s'étalant sur 8 mois et 6 jours et une période sèche qui s'étend sur 3 mois et 24 jours **(ANRH, 2006)**.

Les vents dominants sont marqués par un sirocco (vent chaud et sec) dont la durée moyenne est de 67,8 jours ; ce dernier agit sur les plantes en les desséchant et augmente l'aridité du climat.

Ajouté à cette situation météorologique générale, le climat local est également caractérisé par une situation géographique spécifique, car il est soumis à l'influence de la chaîne montagneuse Hodnéenne.

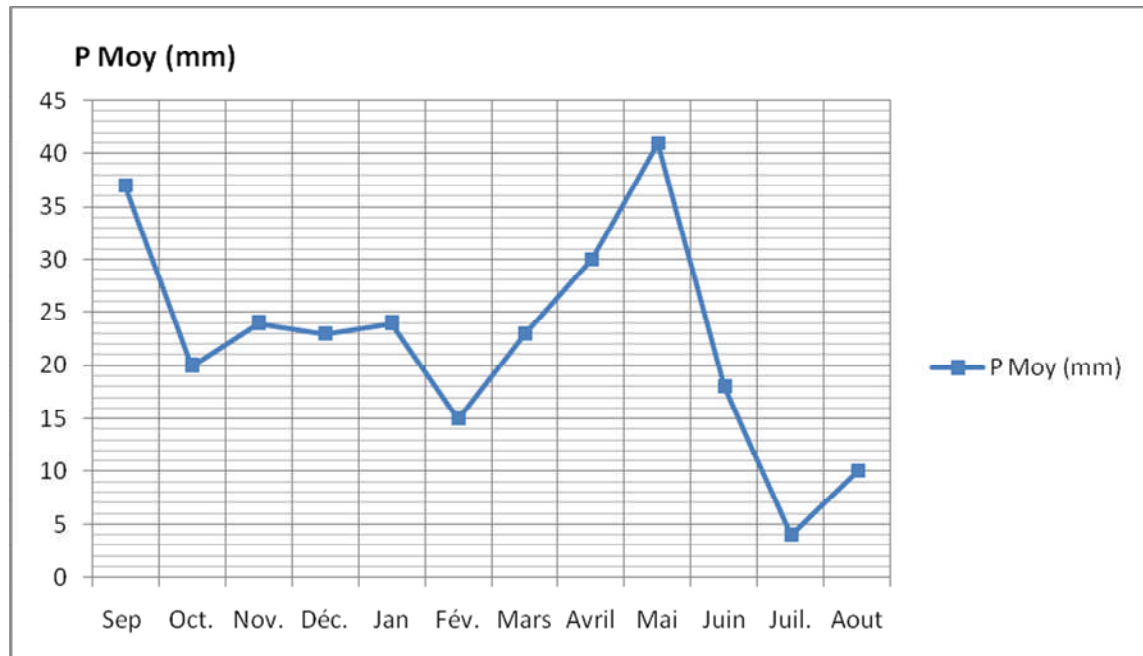
En effet, les formes et l'abondance des reliefs environnants se traduisent par une forte intensité de ruissellement des eaux pluviales et approvisionnent constamment l'aquifère alluvial de la plaine **(N. Medkour, 1995 ; ANRH Agro-Pédologique, 2006)**.

La caractérisation climatique de la commune d'Ain Azel a été faite sur la base des données d'un poste climatologique de l'Office Nationale de la Météo (O. N.M), situé dans la commune elle-même, et qui est donc représentative du climat local. La station, localisée par une latitude 35°49 N et une longitude 05°31 E, se trouve à 960 m d'altitude.

C'est un poste climatologique ordinaire (PCO), ne mesurant que deux paramètres : les précipitations et les températures (Max et Min). La banque de données disponible et complète concerne la période de 1988 à 2001 **(L. Attoucheik, 2006)**.

## I.1.3.1. Pluviométrie

Les moyennes mensuelles des précipitations enregistrées au niveau de la station d'Ain Azel durant la période 1988-2001 sont reprises par la figure ci-dessous.



**Figure 2 :** Variation de la pluviométrie moyenne mensuelle dans la région d'Ain Azel durant la période 1988-2001(source O.N.M)

Le total annuel moyen de précipitations enregistré au niveau de la station d'Ain Azel durant la période 1988-2001 est de l'ordre de 269 mm (figure 2).

Le mois le plus pluvieux est Mai avec 41 mm, alors que le mois le plus sec est celui de Juillet avec 4 mm de précipitations.

Il est à signaler que la période printanière est la plus pluvieuse de l'année avec 32 % du cumul annuel.

Le régime naturel des eaux souterraines, qui a fait l'objet d'études réalisées par la SONAREM au niveau de l'aquifère de Kherzet Youcef durant presque quatre ans, a montré une parfaite corrélation entre les précipitations et la réserve aquifère.

La remontée maximale des niveaux aquifères est enregistrée durant la période des chutes de pluies. L'infiltration des eaux pluviales se fait rapidement et intensivement à travers un réseau de fissures et de karsts. Par contre, le maximum de rabattement a eu lieu durant la deuxième partie de la période sèche (Août à Octobre).

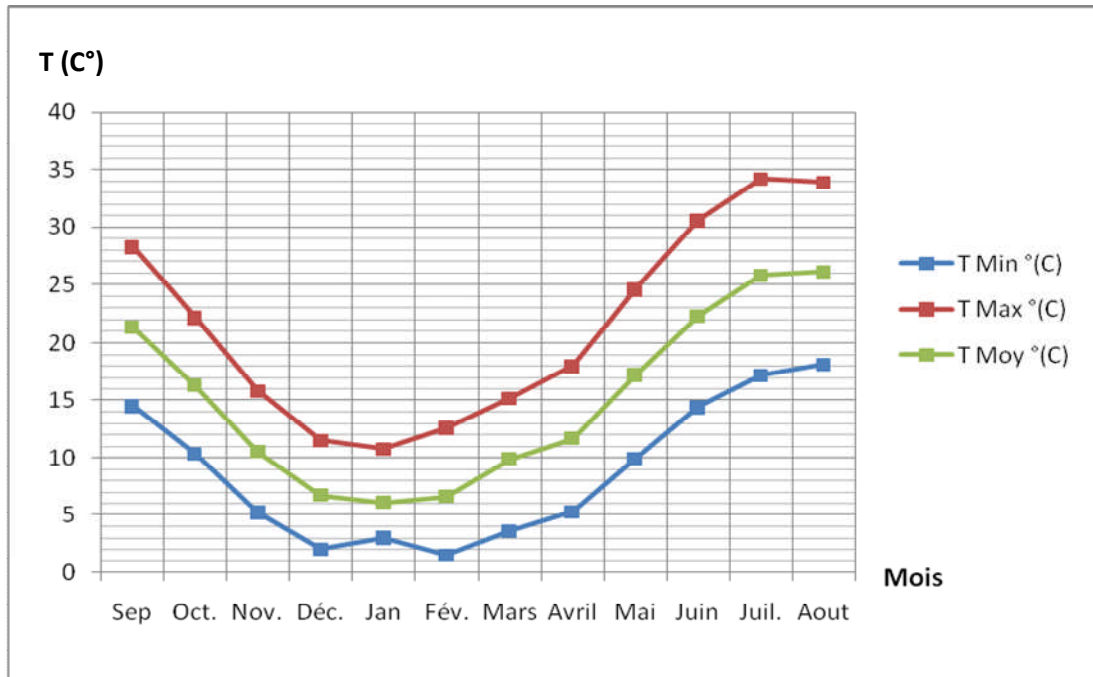
On note également la variation de la surface piézométrique de la nappe d'un endroit à l'autre, qui oscille entre 1,92 m et 4,25 m. Le maximum caractérise le versant de Djebel



Hadjar Labiod qui est situé à l'Ouest de la mine de Kherzet Youcef, tandis que le minimum a été enregistré dans la formation néogène (N. Medkour, 1995).

### I.1.3.2. Température

La température est l'un des éléments les plus importants pour caractériser le type de climat et déterminer son régime d'humidité. La figure 3 reprend la température mensuelle enregistrée au niveau de la station d'Ain Azel durant la période 1988-2001.



**Figure 3 :** Températures moyennes mensuelles de la région d'Ain Azel durant la période 1988-2001 (source O.N.M)

D'après le graphe, la région d'Ain Azel est caractérisée par un climat frais en périodes automnale et hivernale avec des températures minimales allant de 2 à 5°C et une période printanière et estivale assez chaude avec une température dépassant 34°C.

On constate également une montée rapide de température entre les deux mois de Mai et Juin (de 17 à 22,3 °C), et une baisse importante enregistrée entre le mois de Septembre et Octobre (de 21,4 à 16,3 °C) ; cette caractéristique annonce une limite nette entre la période chaude et froide.

On remarque aussi, d'après les deux figures 2 et 3, que la région d'étude est caractérisée par une saison sèche de Juin à Novembre et une saison relativement humide de Décembre à Mai.

### I.1.3.3. Grêles et gelées

La plus grande partie de la grêle tombe pendant l'hiver et au début du printemps. En effet, une fonte rapide de grêles et gelées provoque un important écoulement d'eau venant s'ajouter à celui de l'eau des précipitations.

Pour les gelées, annuellement, il gèle en moyenne 67 jours de Novembre à Mai avec un maximum de 17 jours durant le mois de Janvier (**L. Attoucheik, 2006**).

### I.1.3.4. Vents

Le vent transporte des apports diffus aériens chargés en éléments traces métalliques (ETM), qui se déposent de façon régulière et peuvent être absorbés directement par les plantes, mais la majorité pénètre dans les sols à partir de la surface.

Les Hautes Plaines Sétifiennes sont soumises à des vents plus ou moins violents avec des directions différentes selon les saisons. Le Sirocco, qui prédomine en période estivale, provient du Nord -Ouest et du Nord-Est (**ANRH, 2004**).

La plaine d'Ain Azel se trouve exposée aux effets néfastes de ce phénomène ; ce qui a été observé sur la ceinture végétation du complexe minier (**L. Attoucheik, 2006**).

## I.2. Géologie locale de la région

Sur le plan structural, la région d'Ain Azel comprend deux ensembles structuraux :

- Au Nord et à l'Est, se trouvent Hautes Plaines Sétifiennes ;
- Au Sud et à l'Ouest, s'allongent les monts du Hodna dont l'altitude moyenne est comprise entre 900 et 1000 mètres.

La région d'étude représente un fond ancien d'un golfe marin autrefois profond et d'un lac large qui s'est ensuite retiré vers l'Est. Elle est constituée de sédiments du Secondaire à faciès néritique (grès, dolomies, calcaires, marnes) sur lesquels sont venus se déposer des sédiments marins, lagunaires et lacustres du Tertiaire.

### *I.2.1. Stratigraphie*

La stratigraphie de la région d'étude se caractérise par des séries sédimentaires définies du Trias jusqu'au Quaternaire. Les éléments principaux de la stratigraphie régionale sont résumés dans le tableau 1.

Les principales unités stratigraphiques rencontrées dans la région d'étude sont :

### I.2.1.1. Quaternaire

Les formations quaternaires se distinguent par leur nature et leur chronologie. Il est possible de différencier d'une part les glacis des hautes plaines et d'autre part les terrasses (alluvions) anciennes et récentes des basses plaines.

#### a- Terrasses (alluvions) récentes ou actuelles

Ces formations existent au Sud de la Sebket El Hamiet, en amont de Salah Bey et en aval d'Ain Oulmene, le long de l'Oued Malah : il s'agit d'une banquette de limons gris et de graviers souvent inondés.

#### b- Terrasses (alluvions) anciennes

Ces formations sont représentées par des calcaires, qui occupent les vastes espaces plats aux environs d'Ain Oulmene, de Salah Bey et à l'Est de la feuille d'Ain Azel et la partie centrale de Beida Bordj (**ANRH, 2006 ; ANGCM, 2010**).

#### c- Glacis polygénique des Hautes Plainnes

C'est la forme de relief la plus caractéristique des Hautes Plainnes Sétifiennes. Ces glacis correspondent à des surfaces très faiblement inclinées près des plaines et dont la pente augmente progressivement vers les montagnes.

Ces glacis sont représentés principalement par un matériel clastique anguleux, et plus grossier au voisinage des montagnes, pour devenir très fragmentaire vers le bas. Ce matériel est constitué de cailloux, de gravier et de quelques blocs à remplissage de limon-argileux.

### I.2.1.2. Tertiaire

#### a- Villafranchien

Cet étage géologique est formé de calcaire lacustre à faible profondeur. Ces formations sont situées au Sud de Merzeglal à Ain Azel et aussi dans la dépression de Salah Bey.

#### b- Mio -pliocène continental

Il est constitué de quelques affleurements ne dépassant pas 1 km<sup>2</sup>, qui sont éparpillés autour du Djebel Sekrine et au Sud-Est de Kef El Bir. Ce sont des conglomérats rougeâtres ou roses, des calcaires lacustres et des argiles rougeâtres.

**c- Miocène**

Celui-ci est représenté le plus souvent par des formations continentales et lagunaires, qui forment une longue bande depuis le Kef Maunchar au Sud du Djebel Kalaoune jusqu'à l'Oued M'sil au Sud du Djebel Tafourer, avec quelques plages au Sud-Est d'Ain Azel.

C'est une série complexe avec des bancs de calcaires gréseux, des grès blancs, des marnes grises, des argiles à gypse, des marnes jaunes et des calcaires à lithothamniées.

La complexité provient du caractère intercalaire de la plupart des niveaux. Les conglomérats grès roux, argiles et marnes, constituent l'essentiel du relief du Kef Maafer et Bir Djaafar, près de Kef Djebas et de petits synclinaux Est-Ouest.

**d- Eocène**

Il est composé de calcaires massifs détritiques gris à silex à petits galets. Ces terrains affleurent de part et d'autre du Djebel Tella près de Beida Bordj et sur le versant Nord du Tafourer à 100 —130 m d'épaisseur.

Ce sont des calcaires blancs biosparitiques et détritiques (quartz et galets de silex noir) surmontés de calcaires massifs.

**e- Paléocène**

Un seul affleurement au Chouf et Tine où existent fort mal sous la croute calcaire, des marnes et petits bancs de phosphate ayant fait l'objet d'une tentative d'exploitation. Une dizaine de mètres seulement sont visibles. En lavage, les marnes n'ont fourni que des Ostracodes.

**I.2.1.3.Secondaire****a- Crétacé****a1. Crétacé supérieur**

Il est constitué de la succession litho-stratigraphique suivante :

- des marnes et des marno-calcaires du Cénomaniens inférieur et moyen qui se terminent par des couches très fossilifères ;
- des calcaires et dolomies du Cénomaniens supérieur et du Turonien basal, à la base et au sommet desquels s'observent des couches à silex ;
- des marnes et marno-calcaires à Turonien inférieur à moyen ;

- des marnes à Rudistes du Turonien supérieur ;
- des marnes et marno-calcaires du Sénonien avec intercalation de calcaires à inocérames.

#### a2. Crétacé inférieur

Largement présent dans la région, il comprend de la base vers le sommet :

- une formation marno-silto-gréseuse, d'âge Berriasien supérieur et Valanginien ;
- une formation dolomitico-gréseuse d'âge Hauterivien ;
- une formation argilo-calcarogréseuse d'âge Barrémien et Aptien inférieur ;
- une formation calcaro-marneuse à Orbitolines d'âge Aptien ;
- une formation calcaro-marno-gréseuse d'âge Albien.

#### b- Jurassique

Affleurant sur des surfaces importantes à l'Est d'Ain Azel, il comprend le Jurassique inférieur-moyen (Lias-Dogger) et le Jurassique supérieur.

##### b1. Jurassique supérieur

Il est constitué de trois groupes :

- Le grés-argileux, très réduit dans les Monts du Hodna ;
- Le marno-calcaire peu fossilifère ;
- Le carbonaté supérieur, très riche en fossiles, qui correspond au Portlandien et comprendrait une partie du Crétacé inférieur (Berriasien).

##### b2. Jurassique inférieur-moyen

Il occupe l'extrême base de la série calcaire, qui se termine par 40 m de couches marneuses à nombreuses intercalations calcaire-dolomitiques.

Le Lias-Dogger constitue plusieurs chaînes des Monts du Hodna.

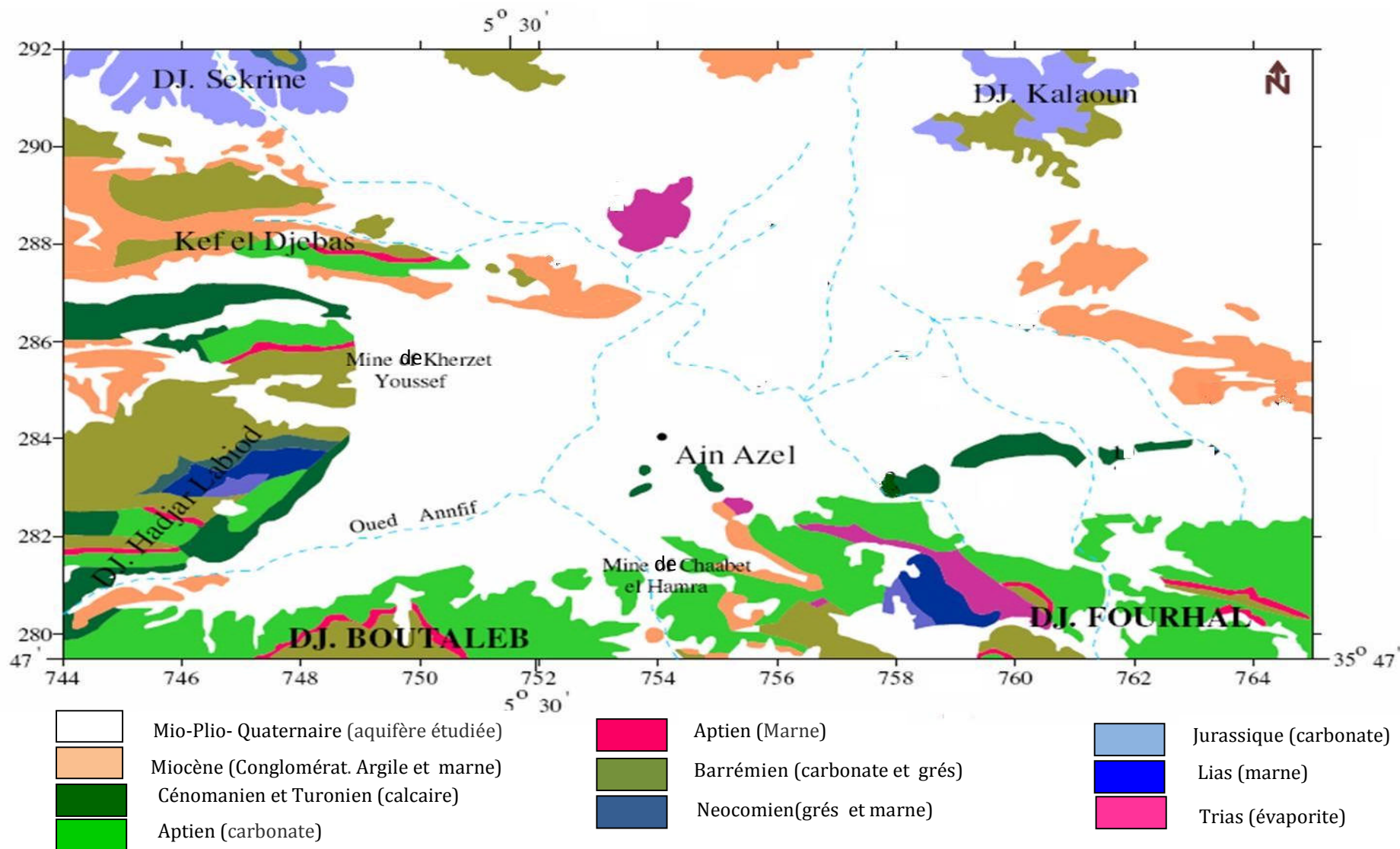


Figure 4 : Carte géologique de la région d'Ain Azel au 1/50.000 d'après Belkhir, 2004 ; modifiée

## c- Trias

Trois affleurements de Trias sont visibles sur la carte d'Ain Azel. Leurs positions structurales est bien différentes puisque deux d'entre eux jalonnent le chevauchement du Djebel Sékrine et plus généralement le front Sud Sétifien.

Celui d'El Bahira est situé sur une vaste faille chevauchante et son origine est clairement à la base des séries Hodnéennes septentrionales. Il renferme un fragment de série calcaro-dolomitique qui représente l'Infralias.

Au Nord-Est de Salah Bey, il n'y a que des gypses broyés.

La Koudiat el Bassour est un ensemble de petits mamelons au Nord d'Ain Azel, au milieu de plaine. Ils ont un aspect chaotique, dû à la présence de nombreux blocs de calcaires dolomitique sombres et de dolomies noirâtres, accompagnés de cargneules, d'argiles bariolées, de gypse rosés ou blancs, de grés verdâtres à ciment argileux et de roches vertes altérées à tendance ophitique (**Notice explicative 143**).

***1.2.2. Tectonique de la région***

Dans les Monts du Hodna, on distingue deux unités tectoniques séparées par le front Sud Sétifien (**A. Boutaleb, 2001 ; L. Attoucheik, 2006 ; D. Bousdira, 2009**) :

- L'allochtone Sud Sétifien au Nord est constitué d'un vaste empilement d'écaillés limitées par des cisaillements ;
- L'autochtone Hodnéen au Sud, dont fait partie le Djebel Hadjar Labiod, est affecté essentiellement par une tectonique assez complexe liée à l'orogénèse alpine.

***1.2.2.1 Failles***

L'analyse du réseau de failles permet de distinguer plusieurs familles d'accidents tectoniques qui affectent les terrains carbonatés du Jurassique et du Crétacé. Ainsi, on distingue :

- Des failles de direction NE-SW et NW-SE très nettes au Djebel Boutaleb et Djebel Hadjar Labiod.

Tableau 1 : Résumé Stratigraphique d'Ain Azel

EPOQUE	PERIODE		ELEMENTS LITHOLOGIQUES
<b>Trias</b>		<b>Infralias</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- évaporites,</li> <li>- "argiles-marnes" bariolées,</li> <li>- lambeaux</li> <li>- calcaro-dolomitiques</li> </ul>
<b>Jurassique</b>			
	<b>Jurassique supérieur</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- calcaire à intercalations marneuses</li> </ul>
	<b>Jurassique inférieur - moyen</b>	<b>Dogger</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calcaire à intercalations marneuses</li> </ul>
		<b>Lias</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- marnes jaunâtres, blanchâtres, verdâtres ou rouge-violacées</li> <li>- dolomie et calcaire dolomitique</li> </ul>
<b>Crétacé</b>			
	<b>Crétacé supérieur</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- marnes</li> <li>- grès</li> <li>- argiles</li> <li>- calcaires</li> </ul>
	<b>Crétacé inférieur</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- marnes</li> <li>- calcaires</li> </ul>
<b>Néogène</b>			
	<b>Miocène</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- conglomérats</li> <li>- grès</li> <li>- argiles</li> <li>- marnes</li> <li>- gypses</li> </ul>
	<b>Pliocène</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- conglomérats</li> <li>- grès</li> <li>- argiles</li> <li>- marnes</li> </ul>
<b>Quaternaire</b>	<b>Glacis des hautes plaines</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- cailloux</li> <li>- graviers</li> <li>- blocs à remplissage limoneux-argileux</li> </ul>
	<b>Terrasses des basses plaines</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- argiles, de limons et de sables</li> </ul>



- Des failles de direction EW, de plus grande importance, affectent surtout les formations de Djebel Hadjar Labiod et Djebel Foughal. Elles se sont formées lors du plissement au moment de la formation du grand anticlinal du Hodna. D'après J. Bertraneu (1955), cet événement se place dans la phase tectonique emschérienne.

- Une faille importante de direction N-S (faille de Kherzet Youcef) affecte le Crétacé du Djebel Hadjar Labiod sur son flanc Est (figure 16).

❖ **La faille de Kherzet Youssef** La faille de Kherzet Youssef, la seule faille méridienne régionale occupe une place très importante dans la structure de la zone NE du massif de Hadjar Labiod. Les travaux de « Rudis » (1964) montrent que la faille de Kherzet Youssef est une faille normale à décrochement dextre, dont le rejet vertical dépasse 500 m et le rejet horizontal 150 m avec un pendage de 65° à 85° vers l'Est.

❖ **La faille d'Ain Kahla**

Parallèlement au front sud Sétifien et à la grande faille chevauchante qui sépare le massif Hadjar Labiod du massif de Boutaleb au Sud, la faille d'Ain Kahla s'étend de la plaine d'Ain Azel au Kef Labiod en mettant à jour le Jurassique de Ain Kahla. Elle prend naissance au niveau de la source d'Ain Kahla où elle se relie à la faille de Kherzet Youssef. Cette faille met au contact les formations crétacées au Sud avec celles du Jurassique au Nord.

C'est une faille inverse polyphasée dont le rejet est très important (plusieurs centaines de mètres) de direction N70-80° à Djemmana puis N50° à Kef Labiod.

#### I.2.2.2. Plis

Les plis ont généralement une orientation E-W à WSW-ENE. La direction WNW-ESE correspond à des synclinaux à larges rayons de courbure, représentant l'ensemble de hauts reliefs avec des axes de directions :

- NW-SE tels que ceux observés au niveau de Djebel Sekrine, Djebel Kalaoun, Djebel Gouzi et Djebel Fournal.
- NE-SW rencontrés au niveau de Djebel Hadjar Labiod et Djebel Boutaleb.

### I.2.2.3. Structures diapiriques

Les affleurements du Trias diapirique se situent généralement dans la zone de convergence de deux directions de fractures (E-W et NW-SE ou NE-SW).

D'après R. Guiraud (1973), la mise en place du Trias est liée principalement à des contraintes compressives, c'est à dire à la phase priabonienne et la phase tortonienne.

### ***I.2.3. Géologie des gisements***

#### I.2.3.1. Gisement de Kherzet Youcef

Le gisement Pb-Zn de Kherzet Youcef est localisé dans des roches sédimentaires carbonatées de plate-forme d'âge Jurassique-Crétacé, formées par une alternance de calcaires, calcaires dolomitiques, calcaires argileux, marnes et argiles (ANPM, 2009).

#### I.2.3.2. Gisement de Chaâbet El-Hamra

Le gisement Pb-Zn de Chaâbet El-Hamra fait partie du « district métallogénique » à Pb-Zn des monts du Hodna qui renferme d'importantes minéralisations en Pb-Zn localisées dans la région d'Ain Azel. Ces gisements appartiennent aux blocs d'Ain Mlila, qui comprend trois structures de soulèvement en forme de horst-anticlinaux. Ils sont caractérisés par des dépôts marno-carbonatés du Méso-Cénozoïque reposant sur le socle plissé de la plate-forme épi-hercynienne (M. Khenniche, 2009).

La structure générale est représentée par une série d'anticlinaux à noyaux jurassiques ou crétacés et de sillons comblés de formations miocènes et post-miocènes. La région, du fait de sa position structurale est très tectonisée.

### **Conclusion**

A partir de l'étude géologique (litho-stratigraphique) de la région de Ain Azel on a pu distinguer les formations suivantes :

- Des formations carbonatées et gréseuses, constituant essentiellement le Barrémien. Ces ensembles sont caractérisés par une porosité de fractures.
- Des formations alluvionnaires, correspondant au Mio-Plio-Quaternaire, ces dernières constituées du sable, graviers, galets, grès, argiles et conglomérats. Cet ensemble est caractérisé par une porosité d'interstices.

Ces deux formations considérées comme des formations perméables favorables au développement d'aquifères.

**Chapitre II :**  
**ACTIVITÉ MINIÈRE ET RISQUE DE POLLUTION**

**Introduction**

Ce chapitre est consacré à l'étude de l'activité minière dans la région et ses impacts sur les eaux superficielles et souterraines, les sols et les sédiments. Pour cela, nous avons commencé par l'historique des mines, à savoir la mine abandonnée de Kherzet Youcef et celle de Chaâbet el Hamra ; suivi d'une brève description de l'activité de l'usine de traitement du minerai.

Enfin, nous nous sommes intéressés aux impacts de ces dernières sur l'environnement, qui peuvent être des sources potentielles de pollution.

**II.1. Activité minière de la région d'étude*****II.1.1. Présentation des gisements de Plomb-Zinc*****II.1.1.1. Gisement de Kherzet Youcef**

Le gisement polymétallique (Pb-Zn) de Kherzet Youcef a été découvert en 1899 grâce aux affleurements en « chapeaux de fer » des couches minéralisées.

Une extraction de faible importance à ciel ouvert des minerais oxydés a été entreprise entre 1900 et 1907, par la Société des Mines d'Ampère (S.M.A). A cette époque, la mine a connu un débit d'exhaure de l'ordre de 50 m<sup>3</sup>/h, permettant l'extraction du minerai par le puits n°1 qui se trouve entre les côtes 938 m et 920 m. Les minerais sulfurés ont été exploités par intermittence de 1907 à 1954.

Une étude du gisement réalisée entre 1963 et 1965 a permis d'effectuer un calcul des réserves exploitables de 1,6 MT pour des teneurs en zinc de 18,4% et en plomb de 3,6%.

Durant la période de 1963 à 1964, l'Entreprise yougoslave « RUDIS » réalisa le puits d'extraction n°3 d'une longueur totale de 238,5 m et une galerie du niveau 835 m. Le débit moyen extrait à partir des formations barrémiennes, était de 420 m<sup>3</sup>/h.

Après des études de faisabilité et la construction d'un complexe minier (laverie, puits d'extraction, travaux souterrains préparatoires), la production démarra en 1979 à une cadence de 200 T/jour de tout-venant. Les travaux d'exploitation ont duré de 1979 à 1987 entre la côte 835 et 775 m, bien que le débit d'eau ait atteint 740 m<sup>3</sup>/h.

Après 1987, suite à l'épuisement observé des réserves, un approfondissement du puits n°3 jusqu'à la côte 625 m devait s'effectuer, mais n'a pas abouti en raison de la présence d'un niveau aquifère grésosableux à la côte 672 m.

Le 02 juin 1990, des venues d'eaux de grande importance d'un débit atteignant 36000 m<sup>3</sup>/h ont inondé la mine et ont coûté la vie à 19 mineurs et cela a mis fin à l'exploitation du gisement de Kherzet Youcef.

#### II.1.1.2. Gisement de Chaâbet El-Hamra

Le gisement de Chaâbet El-Hamra fût connu depuis longtemps, puisqu'il a fait l'objet d'exploitation des affleurements calamines (sous la forme oxydée), et qui ont été exploités de façon artisanale à ciel ouvert, de 1910 à 1920 ; puis de 1936 à 1943 pour les oxydés.

Après la nationalisation des mines en 1966, le gisement de Chaâbet El-Hamra a fait l'objet des premiers travaux de prospection géologique, de 1967 à 1988, suivis ensuite de travaux d'évaluation par sondages à maille régulière de 50x100 et de 100x100m, de 1989 à 1991.

Après la catastrophe du 02 juin 1990 concernant la mine de Kherzet Youcef, l'ENOF a élaboré un premier dossier de recherche détaillé par ouvrages miniers sur le gisement de Chaâbet El-Hamra.

Les travaux miniers concernant ce gisement ont démarré en janvier 1992 et les ouvrages d'accès ont été achevés en avril 1994.

La mine de Chaâbet El-Hamra a démarré l'extraction du tout-venant en avril 1994 dans la partie supérieure du gisement.

#### ***II.1.2. Localisation géographique des gisements***

Les gisements de Kherzet Youcef et de Chaâbet-El-Hamra sont situés dans la région d'Ain Azel, dans la Wilaya de Sétif, respectivement à 50 Km au Sud -Est de Sétif, à 5 km au Nord-Ouest de la ville d'Ain Azel. Celui de Chaâbet El- Hamra se situe dans la région de Chouf-Bouarket à 4,5 km d'Ain-Azel et à 12 km au Sud-Est du complexe minier de Kherzet Youcef (figure 5).

Les coordonnées des gisements en UTM (Universal Transverse Mercator) sont reportées dans le tableau ci-après :

Tableau 2 : Coordonnées des gisements en UTM (ANGCM, 2006)

Sites/Coordonnées	X (UTM)	Y(UTM)	Z (m)
Kherzet Youcef	718 000 à 722 000	3 968 900 à 3 966 500	950 à 1250
Chaâbet El-Hamra	726 902 à 728 505	3 962 567 à 3 963 212	950 à 1200

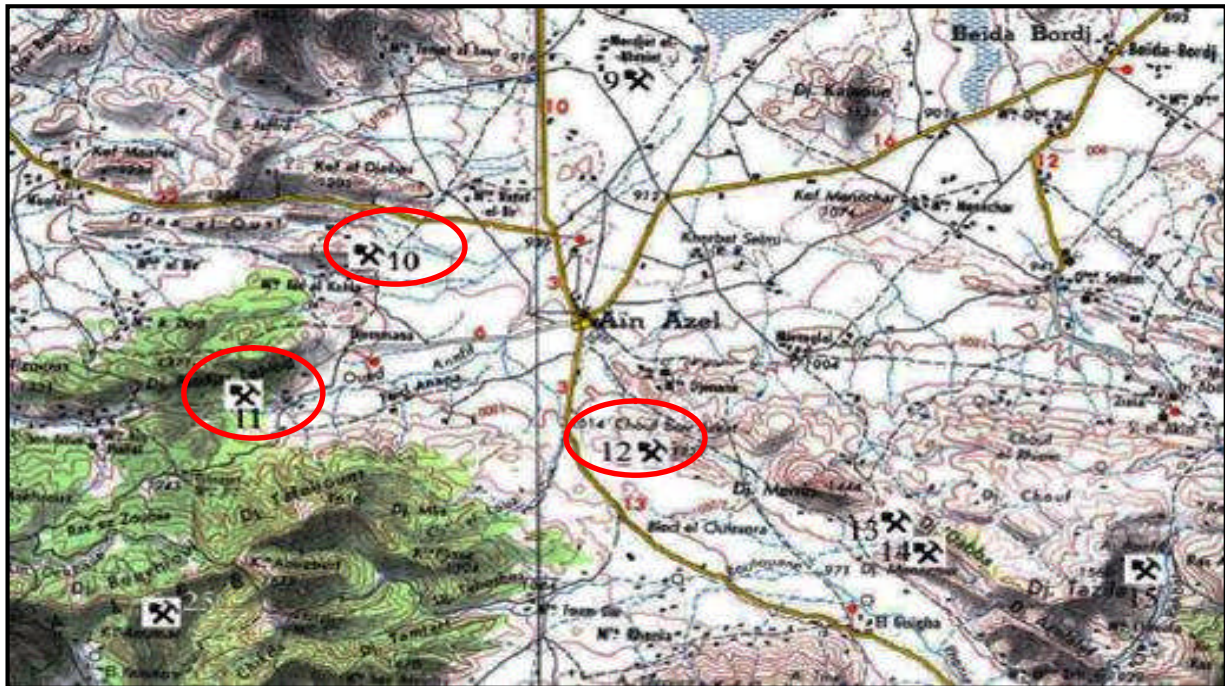


Figure 5 : Carte toponymique avec localisation des gites [Echelle 1/50.000<sup>e</sup>](ENOF, 2011)  
10-Kherzet Youcef; 12 -Chaâbet El-Hamra.

### II.1.3. Minéralisation

La minéralisation de la région d’Ain Azel se présente sous forme de sulfures dont les principaux minéraux métallifères sont la marcasite ( $FeS_2$ ), la sphalérite ( $ZnS$ ), la galène ( $PbS$ ). Les minéraux présents avec les plus faibles proportions sont la pyrite ( $FeS_2$ ) et plus rarement le cuivre gris (ENOF, 2003 ; L. Attoucheik, 2006).

#### II.1.3.1. Les sulfures

##### a) La sphalérite ( $ZnS$ )

Les gisements de Chaâbet El-Hamra et de Kherzet Youcef sont caractérisés par l’abondance de la sphalérite (sulfure de zinc) pouvant atteindre souvent à 67,1% dans le gisement de Chaâbet El-Hamra et de 40-60% dans le gisement de Kherzet Youcef.

**b) La galène (PbS)**

Dans le gisement de Kherzet Youcef, la galène est présente avec une teneur de 10-15% et pouvant parfois atteindre 25-30% (**L. Attoucheik, 2006**). La galène dans le gisement de Chaâbet El-Hamra est rencontrée rarement et donc sans importance industrielle (**M. Khenniche, 2009**).

L'analyse spectrale qualitative de la galène montre la présence de l'argent, du cadmium, du cuivre et du bismuth, ainsi que du fer (**L. Attoucheik, 2006**).

**c) La pyrite (FeS<sub>2</sub>)**

La pyrite est rare et y est observée dans la roche argilo-carbonatée sous forme d'individus microscopiques (1-5 µm).

**II.1.3.2. Les minéraux de la zone d'oxydation**

Les minéraux d'oxydation sont principalement la smithsonite, la cérusite et la limonite.

Les minéraux d'oxydes de zinc identifiés sont la smithsonite (ZnCO<sub>3</sub>), la calamine (Zn<sub>4</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>(OH)<sub>2</sub>) et l'hydrozincite (Zn<sub>5</sub>(OH)<sub>6</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>).

Les minéraux du plomb sont la cérusite (PbCO<sub>3</sub>) et l'anglésite (PbSO<sub>4</sub>)

**II.1.3.3. Les minéraux de la gangue**

Les minéraux de la gangue sont la calcite, la barytine, la dolomite et plus rarement le quartz et le gypse.

***II.1.4. Méthode d'exploitation***

Compte tenu des conditions géologiques et minières, l'exploitation des gisements des minerais polymétalliques de la région d'Ain Azel se fait en souterrain.

Les méthodes d'exploitations retenues sont par :

- Traçage et dépilage avec foudroyage du toit (épaisseurs < 5 m) ;
- Chambre et piliers à deux ou trois niveaux (épaisseurs > 5 m). Cette méthode est appelée aussi sous niveaux abattus.



### ***II.1.5. Traitement du minerai***

L'usine d'enrichissement du complexe de Kherzet Youcef fait partie des plus importantes réalisations industrielles de l'Algérie dans le domaine minier (figure 6), car elle présentait presque toutes les méthodes d'enrichissement (**ENOF, 2010**).

Elle est conçue pour le traitement du minerai Plomb-Zinc de la mine de Kherzet Youcef, mais après le coup d'eau de 1990, qui a inondé la mine, l'usine risquait d'être fermée. Cependant, l'ouverture de la mine de Chaâbet el Hamra à une dizaine de kilomètres, a permis la réouverture de l'usine.

En 2006, la laverie ne produisait que le zinc. Plusieurs modifications ont été faites au niveau de cette laverie (figure 7), comme la suspension de la section flottation pour le plomb, des hydrocyclones, de la séparation magnétique, et quelques sections de traitement gravimétrique. Toutes ces modifications ont été faites, en raison de la faible teneur en Zn dans le tout-venant (TV) de Chaâbet el Hamra, et aussi dans le but d'économiser l'énergie et les dépenses relatives à la maintenance (**ENOF, 2010**).

Le traitement du minerai de Plomb-Zinc s'opère à travers trois principales sections qui sont celles du concassage, du broyage-classification et de la flottation-filtration.

- Section de concassage

Le tout-venant, avec une granulométrie inférieure à 350 mm, passe initialement par un pré-crible à 80 mm afin de permettre au concasseur primaire à mâchoire, de capacité de l'ordre de 400 tonnes, de ne traiter que la fraction supérieure à 80 mm.

Les produits du concasseur primaire et les passants du pré-crible (0-80 mm) subissent une opération de criblage de 15 mm et la fraction de 15- 80 mm est traitée en circuit fermé dans un concasseur secondaire de mode giratoire.

Le produit de 0-15 mm obtenu à l'issue de cette opération de concassage est ensuite dirigé vers une autre préparation mécanique (broyage - classification)

- Section de broyage et de classification

Le minerai avec une granulométrie inférieure à 15 mm subit une opération de lavage et de criblage suivie d'une opération de broyage et de classification, avec une cadence de l'ordre de 14 à 15 tonnes/heure.



Le broyage de la fraction 0 -15 mm se fait dans un broyeur à boulets, qui fonctionne en circuit fermé avec un classificateur à spirale.

Un deuxième petit broyeur à boulets est placé en série avec le premier, afin d'augmenter la réduction des sables du classificateur.

- Section de flottation et de filtration

Après la préparation mécanique, le minerai est traité par flottation au terme de laquelle des concentrés sont obtenus et à partir desquels on procède à l'extraction des minéraux économiques comme le montre la figure 7. Il s'agit d'un circuit de flottation simple, à un seul produit (Zinc), qui est constitué des étapes suivantes :

- Flottation principale ou dégrossissage de Zinc ;
- Flottation de contrôle ou épuisage du Zinc ;
- Trois stades de flottation de relavage du concentré de Zinc.

A noter que le pré-concentré du premier relavage et les mousses de l'épuisage sont renvoyés en tête du dégrossissage, tandis que les produits non flottés de l'épuisage sont dirigés vers la digue des stériles.

Les mousses du 3ème relavage, qui constituent le concentré de Zinc, sont décantées dans un épaisseur avant de passer à travers des filtres rotatifs à vide pour être stockées sous forme de produit marchand à l'air libre.

Le concentré obtenu à une teneur de 53% en Zn avec un taux de récupération du métal contenu dans le minerai de l'ordre de 85%.

Les réactifs utilisés pour la flottation de Zinc dans l'usine de traitement du minerai de Chaâbet El- Hamra sont les suivants :

- La chaux hydratée comme régulateur avec une consommation moyenne de 2560g/t ;
- Le sulfate de cuivre, comme activant une consommation moyenne de 250 à 500g/t ;
- Le Xanthate Isobutyl, comme collecteur une consommation moyenne de 50 à 150 g/t ;
- L'huile de pin, comme moussant, de 25 à 75 g/t ;
- Le Sulfate de Zinc.

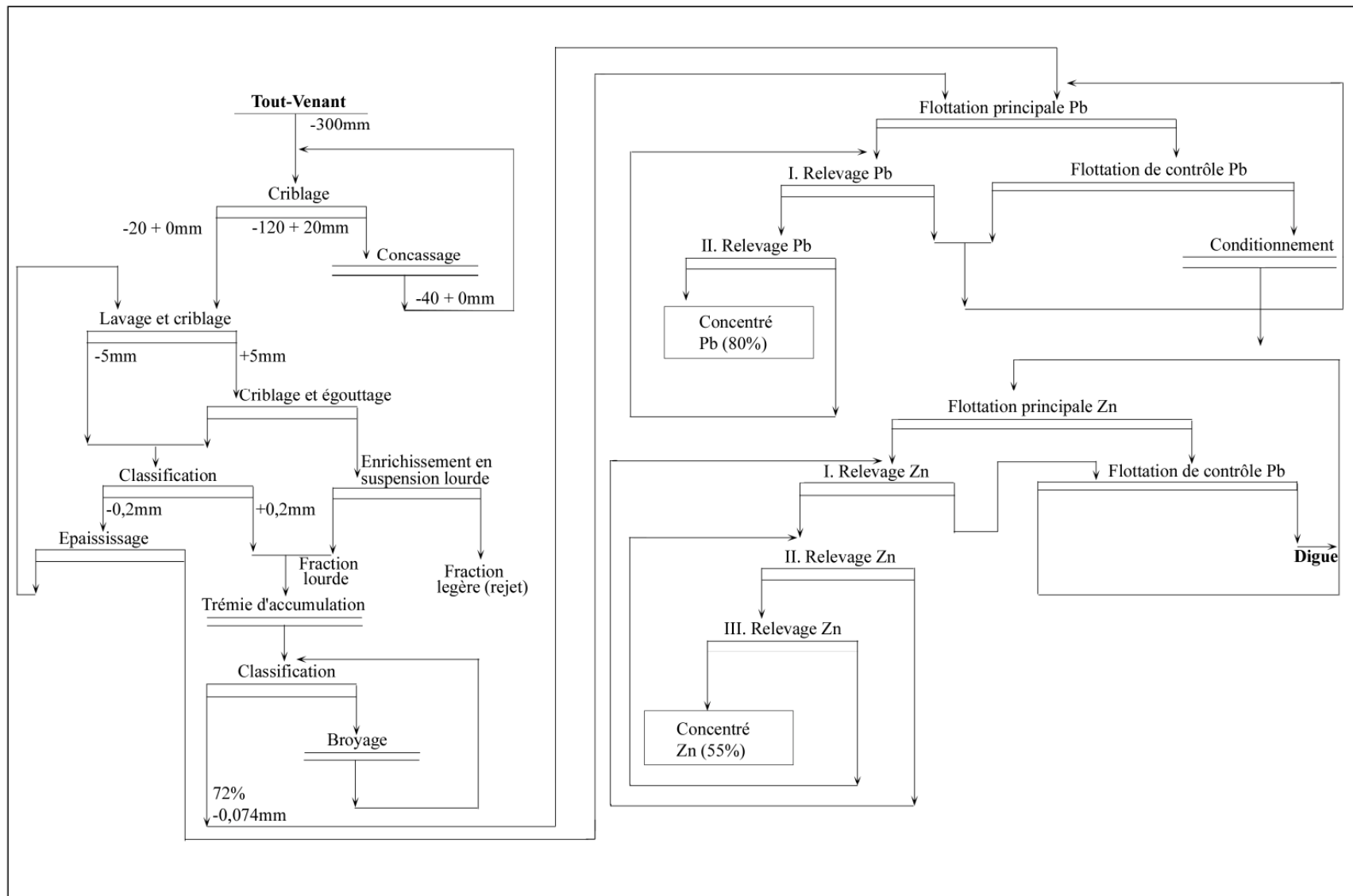


Figure 6 : Ancien Schéma technologique de la laverie de Kherzet Youcef (ENOF, 2010)

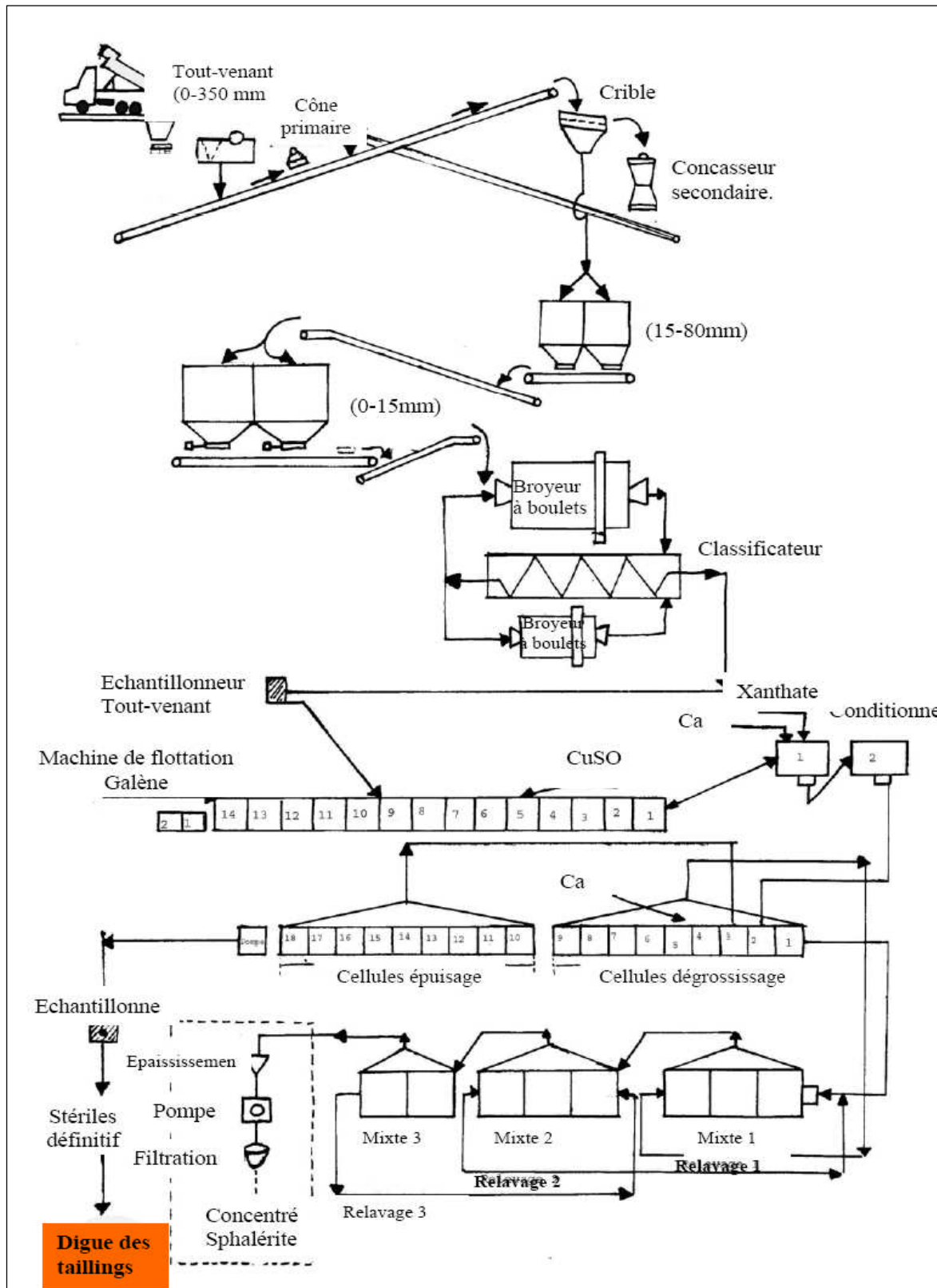


Figure 7 : Schéma technologique actuel du complexe de Kherzet Youcef (ENOF, 2010)

### *II.1.6. Digue*

La digue d'une surface de 07 ha (figure 8), conçue et opérationnelle depuis 1979, est saturée par le stockage des résidus de traitement du minerai de Kherzet Youcef auxquels se sont ajoutés depuis 1994 les résidus du traitement du minerai de Chaâbet El Hamra.

Le tout-venant traité annuellement est de 90 000 tonnes ; les rejets prévus sont de 82 000 tonnes, soit 820 000 tonnes pendant la durée de vie d'exploitation (10 ans).

Les résidus de la flottation (les eaux industrielles avec la boue) sont dirigés par une canalisation vers le le bassin de décantation (digue de tailings) (figure 9).

Par contre, les eaux usées et les eaux de refroidissement des machines sont déversées directement dans l'Oued Ennza.

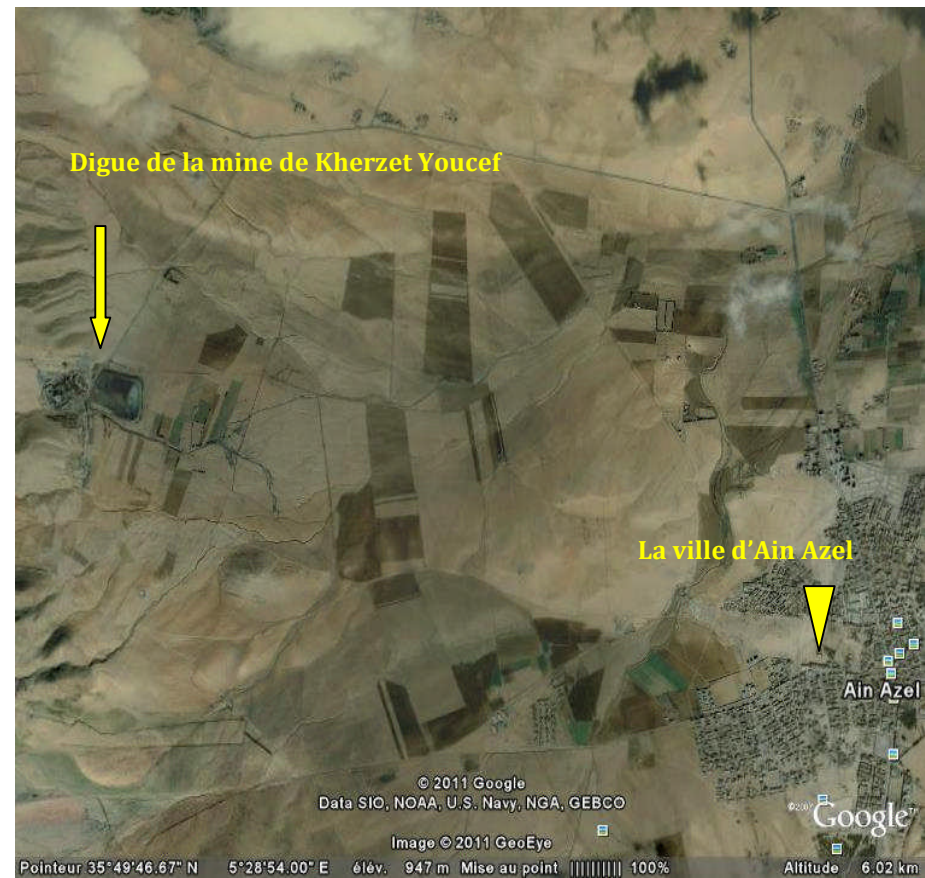


**Figure 8 : Vue de la digue des stériles (ENOF, 2010)**





**Figure 9.a :** Digue de la mine de Kherzet Youcef (image par Google Earth)



**Figure 9.b :** Position de la digue de la mine de Kherzet Youcef par rapport à la ville d'Ain Azel (image par Google Earth)

## **II.2. Pollution dans la région d'étude**

Le creusement des galeries dues à l'exploitation souterraine des minerais de Plomb-Zinc dans la mine de Kherzet Youcef et celle de Chaâbet El-Hamra, modifie profondément les voies naturelles de circulation des eaux souterraines et crée des exhaures à flanc de collines.

Les eaux de la mine de Kherzet Youcef, considérées comme polluées, ont fait l'objet d'un certain nombre de travaux d'analyses réalisées au sein du laboratoire de la SONAREM en 1977 et 1982 et ensuite par l'ANRH en 1985(**N. Medkour, 1994**).

D'autre part, la vétusté des installations constitue une source de contamination de l'environnement par les effluents liquides dégagés au cours des opérations de traitement du minerai.

Une autre forme de pollution a été constatée due au stockage des déchets de traitement (digue de tailings) contenant des traces de métaux, qui peuvent par lessivage contaminer la nappe phréatique.

L'unité d'enrichissement toujours fonctionnelle traite le minerai provenant de la mine de Chaâbet EL Hamra. Le minerai traité est constitué essentiellement de Zinc d'une teneur de 4%, alors que celle du Plomb qui est d'une teneur de 0.2%, n'est pas valorisée et rejetée directement avec le "stérile" (**ANRH, 2004**).

### ***II.2.1. Pollution des eaux***

#### **II.2.1.1. Pollution des eaux souterraines**

Les résultats d'analyse obtenus dans les laboratoires de la SONAREM en 1977 et 1982, montrent des teneurs plus au moins faibles et variables en certains métaux lourds réputés toxiques tels que le plomb, le zinc, le cuivre et le cadmium.

Par ailleurs, il faut noter que des résultats d'analyse obtenus en 1983 par la SONAREM ont montré que les eaux de la mine et de rejets industriels renferment des quantités en métaux lourds presque identiques, parfois légèrement supérieures pour les eaux d'exhaure (tableau 3). Pour ce qui est des eaux de la mine, la fluctuation de leurs teneurs en éléments traces (Zn et Pb) reste inconnue.

**Tableau 3 :** Résultats d'analyses des métaux lourds en (mg/l) réalisées par SONAREM (1983).

Éléments	Zn	Pb	Cu	Cd
Eau de rejet	0,25	<0,06	0,03	0,08
Eau de la mine	0,33	0,06	0,02	0,08

Par contre, les analyses effectuées au laboratoire de l'ANRH en 1985 ont révélé des teneurs importantes en zinc (15,00 mg/l), créant ainsi une méfiance quand à l'emploi de ces eaux pour l'irrigation.

Ce dernier chiffre dépasse de très loin la limite maximale tolérée (5 mg/l) par la Communauté Européenne(CEE). En effet, les concentrations trouvées présentent des valeurs supérieures aux normes prescrites par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (tableau 4).

**Tableau 4 :** Normes admises relatives aux métaux contenus dans l'eau.

Eléments (mg/l)	Normes applicables aux eaux potables en (mg/l)	
	Normes CEE	Normes OMS
Pb	0.01	0.10
Zn	5.00	5.00
Cu	2.00	2.00
Mg	0.05	0.50

Des analyses d'eau de la mine de Kherzet Youcef effectuée par N. Medkour (1995) à des niveaux différents du puits de la mine (835m et 755m) présentent des teneurs relativement élevées pour certains métaux lourds notamment Zn et Pb et plus élevées pour la majeure partie des métaux légers analysées (K, Al, Si).

Un réseau de surveillance et d'analyse a été mis en place par l'ANRH le 29 juin 2004. Les points de surveillance sont les suivants :

- Puits principal de la mine de Kherzet Youcef ;
- Forage AEP d'Ain Azel ;
- Forage piscine d'Ain Azel ;
- Forage mine de Chaâbet El Hamra.

Ces analyses montrèrent une contamination de l'eau par le plomb au niveau du puits de la mine de Kherzet Youcef avec une teneur supérieure aux normes admises pour la consommation (tableau 5).

**Tableau 5** : Résultats d'analyses de polymétaux en (mg/l) réalisées par ANRH le 29 juin 2004.

Points de prélèvement	Eléments (mg/l)			
	Pb	Zn	Mg	Cu
Puits -Mine kherzet Youcef	0.077	0.079	0.031	N.D
Forage - AEP Ain Azel	N.D	0.016	0.033	N.D
Forage - PISCINE Ain Azel	N.D	N.D	0.028	N.D
Forage - Mine Chaâbet El Hamra	N.D	0.772	0.077	N.D

Une autre étude des éléments polluants (L. Belkhiri, 2004), a montré que les eaux de la plaine d'Ain Azel sont excessivement polluées par le plomb et le zinc (tableau 6).

**Tableau 6** : Résultats d'analyses des eaux en (mg/l) (L. Belkhiri, 2004).

Eléments	Moyenne des résultats d'analyse de 54 échantillons (mg/l)	Normes OMS applicables aux eaux potables en (mg/l)
Pb	0.54	0.10
Zn	>0.20	5.00

Les eaux provenant de la nappe mio-plio-quadernaire n'ont pas été contaminées par les éléments (Pb, Zn, Cd et Cu) dont les teneurs sont inférieures aux normes admises (tableau 7). Cette nappe, qui est située immédiatement à l'Est de la faille de Kherzet Youcef dans la plaine d'Ain Azel, est alimentée directement par les précipitations et les eaux de ruissellement en provenance des différents reliefs entourant la dépression intra- montagneuse d'Ain Azel.

Les eaux de cette nappe sont utilisées par les agriculteurs à travers leur puits domestiques pour l'irrigation et pour leur propre consommation (L. Attoucheik, 2006).



Par ailleurs, l'analyse des eaux de la nappe barrémienne traversait par la mine de Kherzet Youcef et qui est représentée par le puits de mine, montre que les éléments traces métalliques de zinc et le plomb se trouvent sous forme particulaire et dissoute avec des quantités qui sont supérieures aux précédentes. Plus de 90% du zinc se retrouve dans la fraction dissoute de l'eau et le plomb se présente également sous forme dissoute avec une fraction pouvant dépasser 70% (L. Attoucheik, 2006).

**Tableau 7 : Résultats d'analyse des eaux de la nappe mio-plio-quaternaire (L. Attoucheik, 2006).**

Eléments	Teneur en mg/l		Normes applicables aux eaux potables (mg/l)	
	Période sèche	Période humide	Normes OMS	Normes AFNOR
<b>Zn</b>	0.20-0.68	0.26-0.75	5.00	2.00
<b>Pb</b>	0.00- 0.04	0.01-0.05	0.10	0.10
<b>Cu</b>	0.00-0.01	0.00-0.04	0.01	0.05
<b>Cd</b>	0.00-0.01	0.0-0.02	1.00	0.02

L'analyse des eaux provenant de cette nappe révèle une contamination par les éléments métalliques Pb et Zn dont les valeurs sont supérieures aux normes définissant les limites de qualité de consommation (tableau 8).

**Tableau 8 : Résultats d'analyse des eaux de la nappe barrémienne (L. ATTOUCHEIK, 2006).**

Elément	Teneurs en mg/l		Normes applicables aux eaux potables (mg/l)	
	Période sèche	Période humide	Normes OMS	Normes AFNOR
<b>Zn</b>	2,40 - 5,75	2,80 - 8,25	5.00	2.00
<b>Pb</b>	0,10 - 0,38	0,15 - 0,50	0.10	0.10
<b>Cu</b>	0,03 - 0,07	0,04 - 0,09	0.01	0.05
<b>Cd</b>	0.01-0.03	0.01-0.04	1.00	0.02

## II.2.1.2. Rejet des eaux résiduaires

La laverie du complexe minier de Kherzet Youcef et la digue sont situées à proximité de l'Oued Ennza. Les eaux résiduaires du complexe minier, qui constituent environ 20% des eaux d'exhaures, soit 140 m<sup>3</sup> /h, peuvent être subdivisées en deux catégories :

- les eaux industrielles de la laverie qui sont dirigées avec la boue par une canalisation vers l'aire de stockage du minerai stérile (rejets), et qui sont rejetées par la suite dans l'Oued Ennza ;
- les eaux usées et de refroidissement des machines sont également déversées directement dans cet oued.

Ces eaux très hétérogènes sont mélangées avec celles d'exhaure au sein de l'oued Ennza.

Les résultats d'analyse au niveau du bassin externe de la mine de Kherzet Youcef présentent des teneurs relativement élevées, qui sont supérieures aux normes prescrites surtout pour les eaux potables. On cite les cas des ions Pb, Cr, Mn, Fe, et Al. Le zinc marque une présence appréciable parmi ces ions, mais sa quantité reste très inférieures aux normes citées, ainsi qu'aux valeurs trouvées antérieurement par l'ANRH en 1985 (**N. Medkour, 1995**).

L'étude des eaux résiduaires contenues dans la digue et celles se trouvant déversées dans l'Oued Ennza (**L. Attoucheik, 2006**) révèle une contamination par le plomb, le zinc et le cadmium. Les teneurs de ces polluants avaient tendance à baisser pendant la période humide comparativement à celles obtenues durant la saison sèche (tableaux 9 et 10) ; ce qui peut être expliqué par l'effet de dilution pouvant avoir lieu en raison des précipitations.

Les eaux résiduaires sont très polluées par le zinc, le plomb et le cadmium. Elles participent en outre à la pollution des sols de la plaine irriguée par ces eaux.

**Tableau 9** : Résultats d'analyse des eaux de l'Oued Ennza (L. Attoucheik, 2006).

Eléments	Teneurs en mg/l		Normes applicables aux eaux de rejets en mg/l	
	Période sèche	Période humide	OMS	AFNOR
<b>Pb</b>	0,38 - 0,85	0,30 - 0,80	0.10	0.01
<b>Zn</b>	15,20 - 5,80	6,20 - 13,6	5.00	2.00
<b>Cd</b>	0.01-0.04	0.02-0.05	0.20	0.50
<b>Cu</b>	0,05 - 0,095	0,04 - 0,09	0.01	0.05

**Tableau 10** : Résultats d'analyse des eaux de la digue (L. Attoucheik, 2006).

Eléments	Teneur en mg/l		Normes applicables aux eaux de rejets en mg/l	
	Période humide	Période sèche	OMS	AFNOR
<b>Zn</b>	6.80-12.6	6.00-14.6	5.0	2.00
<b>Pb</b>	0.20-0.40	0.23-0.60	0.1	0.50
<b>Cd</b>	0.01-0.03	0.01-0.03	0.2	0.50
<b>Cu</b>	0.03- 0.06	0.04-0.082	3.0	0.02

### *II.2 .2 Pollution des sédiments et des sols*

Les données précédemment citées concernant les eaux provenant de la nappe barrémienne, ont une forte contamination des cultures, de la végétation et de toute la plaine d'Ain Azel, comme cela a été cité précédemment, concernant les eaux utilisées pour l'irrigation des terres agricoles, qui sont situées à proximité du complexe minier de Kherzet Youcef (D. Bousdira, 2009).

#### II.2 .2.1. Pollution des sédiments

Les résultats obtenus par L. Attoucheik (2006) ont montré que les teneurs en zinc, plomb et cadmium (tableau 11) pendant les deux périodes de prélèvement et plus particulièrement durant la période sèche, présentent des valeurs largement supérieures aux normes.

**Tableau 11.** Résultats d'analyse des sédiments de l'Oued Enza (L. Attoucheik, 2006).

Eléments	Teneur en (ppm) ou (mg/kg)		Normes AFNOR (ppm) ou (mg /kg)
	Période humide	Période sèche	
<b>Zn</b>	100-4500	600-7000	150
<b>Pb</b>	50-2200	50-3000	60
<b>Cd</b>	15 - 35	10 - 45	0.7
<b>Cu</b>	5 - 32	10 - 42	40

Par contre, les résultats obtenus par D. Bousdira (2009) donnent des teneurs en Zinc élevées pour les 4 premiers points échantillons comprises entre 21 et 220 ppm, puis des valeurs plus basses (entre 1,4 et 0,3 ppm), à l'exception du point d'échantillonnage 7 dont la teneur en zinc est de 49 ppm (tableau 12).

En ce qui concerne le plomb dans le sédiment, nous avons également la même tendance, (tableau 12) c'est-à-dire de fortes teneurs pour les 4 premiers échantillons (entre 15 et 2,8 ppm), puis une diminution jusqu'à une teneur de 0,2 ppm, sauf pour le point 7 (8 ppm).

**Tableau 12 :** Résultats d'analyse des sédiments (D. Bousdira, 2009).

N° de l'échantillon	Coordonnées en UTM		Pb (ppm) ou (mg/kg)	Zn (ppm) ou (mg/kg)
	X	Y		
1	720 720	396 7766	<b>2,800</b>	<b>21.000</b>
2	721 941	396 7916	<b>3,300</b>	<b>220,000</b>
3	722 162	396 7852	<b>3,100</b>	<b>42,000</b>
4	722 421	396 7814	<b>15,000</b>	<b>70,000</b>
5	723 200	396 8141	0,200	0,700
6	723 783	396 8136	0,200	0,300
7	723 844	396 8136	<b>8,300</b>	<b>49,000</b>
8	724 130	396 8209	0,700	1,400
9	724 413	396 8419	0,300	0,400

## II.2 .2.2. Pollution des sols

En 2004, durant la période d'activité du site minier, une pollution élevée en Pb et Zn (tableau 13) a été observée aussi bien dans les eaux, que dans le sol et le sédiment dans région d'Ain Azel, et cela comparativement aux normes maximales admises (L. Attoucheik, 2006).

**Tableau 13 :** Teneurs en plomb et zinc dans le sol (L. Attoucheik, 2006).

Eléments	Teneur en ppm		Normes en ppm
	Période humide	Période sèche	AFNOR
<b>Zn</b>	80 - 5200	300-6500	150
<b>Pb</b>	20 - 400	60-4500	60
<b>Cd</b>	5 - 35	5 - 40	0.7
<b>Cu</b>	10 - 22	10 - 38	40

Les analyses de sols du périmètre de Kherzet Youcef effectuées par l'ANRH en 2006 concernant le plomb et le zinc, ont montré que le seuil de tolérance de 300 ppm est dépassé excessivement pour le zinc, puisque la concentration de ce dernier a atteint 2468 ppm (tableau 14).

D'autre part sur les 82 échantillons prélevés de sols arables, il y a 37 échantillons qui ont des concentrations de plomb dépassant très légèrement le seuil de tolérance (60 ppm) et dont 04 échantillons de sols dont les teneurs sont au delà du taux acceptable (150 ppm), avec une valeur en plomb qui atteint 1196 ppm.

**Tableau 14 :** Teneurs en plomb et zinc dans le sol (ANRH, 2006).

Eléments	Teneur (ppm) ou (mg /kg)	Normes AFNOR (ppm) ou (mg /kg)
<b>Zn</b>	39-2468	150
<b>Pb</b>	10-1196	60

Par ailleurs, les résultats d'analyses des sols (D. Bousdira, 2009) de 23 échantillons correspondant à des teneurs en Pb et Zn faibles comparativement aux normes admises (tableau 15).

**Tableau 15** : Teneurs en plomb et zinc dans le sol (D. BOUSDIRA, 2009).

Eléments	Teneur en (ppm) ou (mg/kg)	Normes AFNOR (ppm) ou (mg /kg)
Zn	0,2-45	150
Pb	0,2-7,10	60

### Conclusion

D'après les résultats d'analyses obtenus par les différentes études entre 1983 et 2008, concernant notre région d'étude, nous concluons que :

- Les eaux de la plaine d'Ain Azel sont polluées par le plomb, le fer, le zinc et le cuivre ; notamment la nappe barrémienne où se trouve la mine et l'usine de Kherzet Youcef. Cette pollution a dépassée le seuil de tolérance durant la période de l'activité de l'usine de traitement de Kherzet Youcef (L. Attoucheik, 2006).

- En outre ces travaux indiquent une contamination des sols par ces éléments. Les zones les plus touchées correspondent à celles qui sont les plus proches de la digue, ainsi que certaines parcelles irriguées par les cours d'eaux provenant de la digue par ravinement.

**Chapitre III :**  
**DONNEES HYDROGEOLOGIQUES**

## Introduction

L'hydrologie et l'hydrogéologie traitées dans ce chapitre concernera la description du bassin versant, les réseaux hydrographiques, ainsi que les différentes nappes de la région d'Ain Azel.

### III.1. Hydrologie de la région

#### III.1.1. Inventaire des points d'eau (Annexes A, B, C, D, E)

Nous avons sélectionné 167 points d'eau (puits, forages, piézométries, sources) pour effectuer cette étude couvrant la zone concernée.

La région d'étude présente un grand nombre de puits et de forages dispersés en fonction de la situation de l'agglomération et qui sont destinés à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation.

#### III.1.2. Description du bassin versant

La région d'étude est localisée dans le bassin versant des Hautes Plaines Constantinoises (figure 10). Il s'agit du bassin versant n° 07, qui s'étend d'El Eulma au Nord-Ouest jusqu'à Khenchla au Sud-Est. Il est subdivisé en sept sous-bassins, dont le sous-bassin versant d'Ain Azel (zone d'étude) se situe dans la partie occidentale qui porte le code (0701) (N. Medkour, 1995).

#### III.1.3. Caractéristiques physiques du sous-bassin versant d'Ain Azel

Les caractéristiques physiques du sous-bassin versant d'Ain Azel sont résumées dans le tableau suivant.

**Tableau 16** : Caractéristiques physiques du sous bassin versant d'Ain Azel

Paramètres géométriques	Paramètres du relief	Paramètres morpho-métriques
A=16612 km <sup>2</sup>	Alt max = 1000 m	Réseau hydrographique
	Alt moy= 980 m	Série de cours d'eau intermittent
	Alt min = 910 m	Ecoulement de type endoréique.
P=228 km	Ig=0,37 m/km	Dd=0,39 km/km <sup>2</sup>
KG= 1,59	Ip= 0 4 %	Ct=0,043

**A** : Superficie du sous-bassin versant

**Ip** : Indice de pente de roche

**P** : Périmètre du sous-bassin versant

**Dd** : Densité de drainage

**KG** : Indice de compacité de Gravelius

**Ct** : Coefficient de torrentialité

**Ig** : Indice de pente globale

**Alt** : Altitude



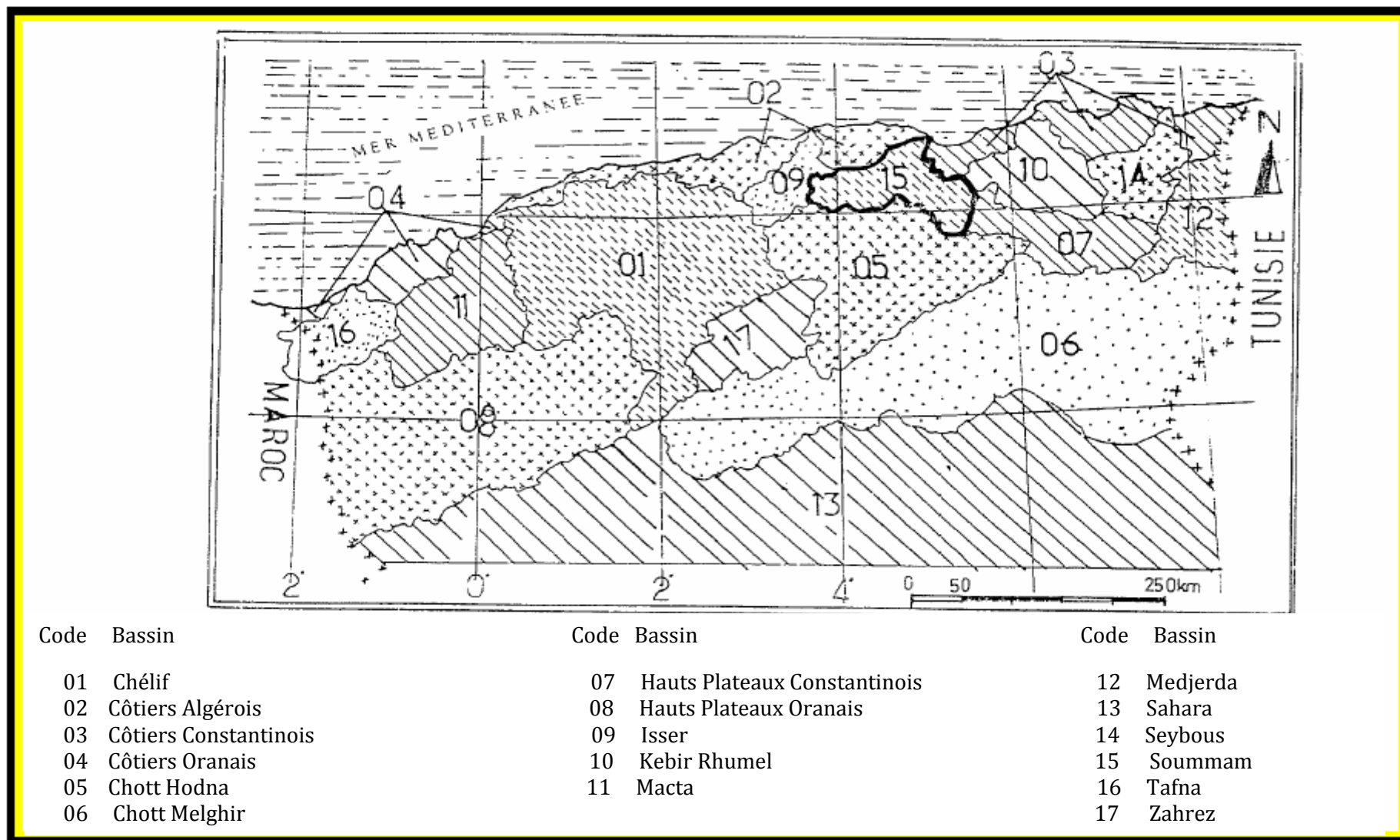


Figure 10 : Grands bassins versants de l'Algérie (A.N.R.H, 2006)

La forme du sous-bassin est calculée à partir de l'indice de compacité de Gravelius (KG), défini comme étant le temps de concentration des eaux à l'exutoire. En effet, un bassin de forme allongée où la valeur de  $KG > 1,12$ , ne réagira pas de la même manière qu'un autre de forme plus compacte ( $KG < 1,12$ ).

Le sous-bassin de la région d'étude présente une valeur de KG égale à 1,59, donc supérieure à 1,12, ce qui montre que le sous-bassin versant est de forme allongée. Dans ce cas, le temps de concentration des eaux à l'exutoire est lent favorisant ainsi l'infiltration des eaux dans le sol et le sous-sol, et par conséquent vers les nappes d'eaux souterraines.

Les paramètres de relief (altitudes et pentes) ont une influence sur la vitesse d'écoulement des eaux de pluies. En effet, une pente raide correspond à une vitesse rapide ce qui favorise le ruissellement par rapport à l'infiltration des eaux.

Une altitude maximale de ce sous-bassin dépassant 1000 m, une altitude minimale de 910 m et une pente faible de l'ordre de 0,37 (tableau 16), permettent de dire que le sous-bassin est caractérisé par une vitesse d'écoulement d'eaux faibles pouvant permettre l'infiltration de ces derniers vers les horizons profonds.

La densité de drainage correspond à la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant. Elle dépend de la géologie, des caractéristiques topographiques, et dans une certaine mesure, des conditions climatologiques et anthropiques du bassin versant. Pour le sous-bassin versant d'Ain Azel, cette densité de drainage est de l'ordre de 0,39 km.km<sup>-2</sup>.

Le coefficient de torrentialité est défini comme étant la capacité d'un bassin versant à ruisseler, ainsi notre sous-bassin versant aurait un coefficient de torrentialité de 0,043.

Les valeurs de la densité de drainage et du coefficient de torrentialité montrent que ce sous-bassin versant se caractérise par un réseau hydrographique faiblement ramifié et donc très peu développé (**L. Attoucheik, 2006**).

### *III.1.4. Réseaux hydrographiques*

Le terrain se distingue par un réseau hydrographique relativement dense en amont, faiblement marqué au milieu et nettement rétréci en aval. Il est composé d'oueds et de cours d'eau drainant les eaux météorologiques, selon un plan incliné vers Sebkhiet el-Hamiet.

L'écoulement des eaux a lieu uniquement pendant les périodes pluviales et les oueds sont secs à la fin de chaque averse ; ce qui assure bien l'évacuation des eaux en surface. La partie basse de la plaine perd de plus en plus sa fonction de drain à cause des travaux agricoles qui avancent continuellement vers les oueds afin d'avoir des terrains supplémentaires. Malheureusement, cette opération peut conduire à l'effacement total de ces drains naturels et par conséquent perturbe l'équilibre de la plaine.

Actuellement dans certaines zones de cette plaine, les fortes pluies favorisent le débordement des eaux qui stagnent durant quelques jours.

#### III.1.4.1. Les principaux oueds d'Ain Azel sont :

- L'Oued Anfif qui contourne la ville au Nord et se déverse dans Sebkhiet el Hamiet ;
- L'Oued Semmar, traversant le centre ville, possède une dérivation qui contourne la ville du côté Sud et se déverse aussi dans Sebkhiet el Hamiet ;
- L'Oued Boubilat qui prend naissance à Kef el Djebbas, traverse le territoire communal dans le sens Ouest-Est et aboutit à Sebkhiet el Hamiet aussi.

Les autres oueds à écoulement temporaire sont Oued Hamma et Oued Ennza, passant au niveau du complexe minier de Kherzet Youcef. Le débit de ces cours d'eau n'est significatif que lors des pluies torrentielles. Il existe aussi d'autres oueds tels que l'Oued de Barbara, Rahbat et Boutouane (figure 12).

#### III.1.4.2. Les Sebkhias

Au Nord-Est de notre région sur une superficie de 2509 ha, se trouve Sebkhiet El Hamiet (figure 11) correspondant à un chott constitué d'une sebkhia ou lac salé naturel, endoréique et temporaire, qui s'inonde en temps de crues et s'assèche en saison estivale et d'une prairie humide. Sur son pourtour, le niveau d'eau, très variable selon les saisons et les années, n'excède pas 1,5 m de profondeur. (**D. Bousdira, 2009**).



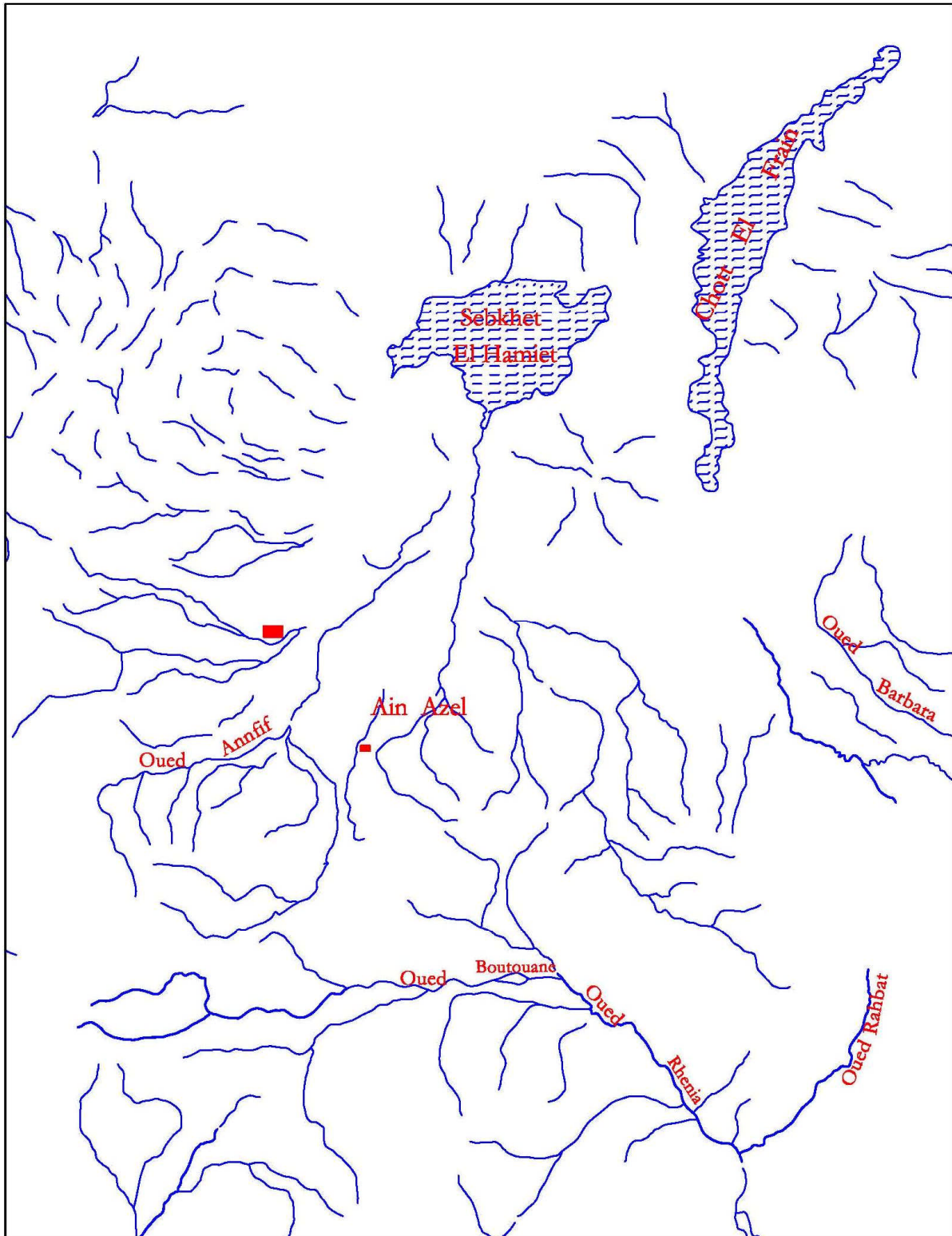
**Figure 11** : Photo illustrant Sebkhât El Hamiet (SONATRACH, 2007)

### ***III.1.5. Bilan hydrologique***

Comme particularité hydrologique, cette région se caractérise par sept sebkhas parmi lesquelles on a Sebkhât el Hamiet. L'ensemble représente les bassins fermés d'el-Eulma.

La moyenne annuelle des écoulements d'eaux dans ce bassin est comme suit :

- $670 \times 10^6 \text{ m}^3$  d'eau de précipitation ;
- $626 \times 10^6 \text{ m}^3$  d'eau d'évapotranspiration ;
- $044 \times 10^6 \text{ m}^3$  d'eau de ruissellement.



**Figure 12** : Carte du réseau hydrographique (extraite de la carte topographique)



### III.2. Hydrogéologie de la région

L'étude hydrogéologique de la région permet, d'identifier des horizons aquifères différents et de déterminer le comportement hydrodynamique, ainsi que les relations hydrauliques existant entre les différentes nappes. Elle permet aussi de délimiter les structures tectoniques et leur impact sur la circulation des eaux souterraines.

D'après l'étude géologique, géophysique et hydrogéologique, quatre niveaux aquifères sont dénombrés. Les formations susceptibles de renfermer des réserves aquifères exploitables peuvent être classées en quatre unités hydrogéologiques, à savoir :

- Les formations des sédiments du Mio-Plio-Quaternaire (meuble).
  - Les formations du Tertiaire (consolidées)
  - Les formations du Crétacé (consolidées)
  - Les formations du Jurassique (consolidées)
- } avec fractures  
ouvertes et cavités  
de dissolution.

Du point de vue perméabilité, les alluvions du Quaternaire sont plus aptes à recéler un aquifère facilement repérable et utilisable (**N. Medkour, 1995**).

La formation tertiaire peut être considérée comme favorable à l'accumulation des eaux souterraines, mais son étendue est limitée.

Le Jurassique peut retenir éventuellement une nappe d'eau plus ou moins importante, mais sa salinité reste élevée.

Bien que le Crétacé présente également un potentiel aquifère appréciable, ses eaux se concentrent uniquement dans les zones fracturées et karstifiées et leur mise en évidence est difficile.

La mine de Kherzet Youcef est un exemple représentatif de cette formation. Elle est matérialisée par la présence d'un réseau de karsts remarquable à travers plusieurs centaines de mètres en profondeur.

### III.2.1. Hydrogéologie des gisements

#### III.2.1.1. Gisement de Kherzet youcef

Suite à l'ennoyage catastrophique de la mine de Kherzet Youcef survenu le 02 juin 1990, des études géologiques, géophysiques et des logs litho-stratigraphiques ont été réalisés. Des comptes rendus relatifs à ces travaux effectués par un bureau d'études canadien "GEOMINES", ont montré l'existence de 04 nappes aquifères (figure 13), à savoir :

- La nappe mio-plio-quaternaire ;
- La nappe albo-aptienne ;
- La nappe barrémienne ;
- La nappe d'unité D2.

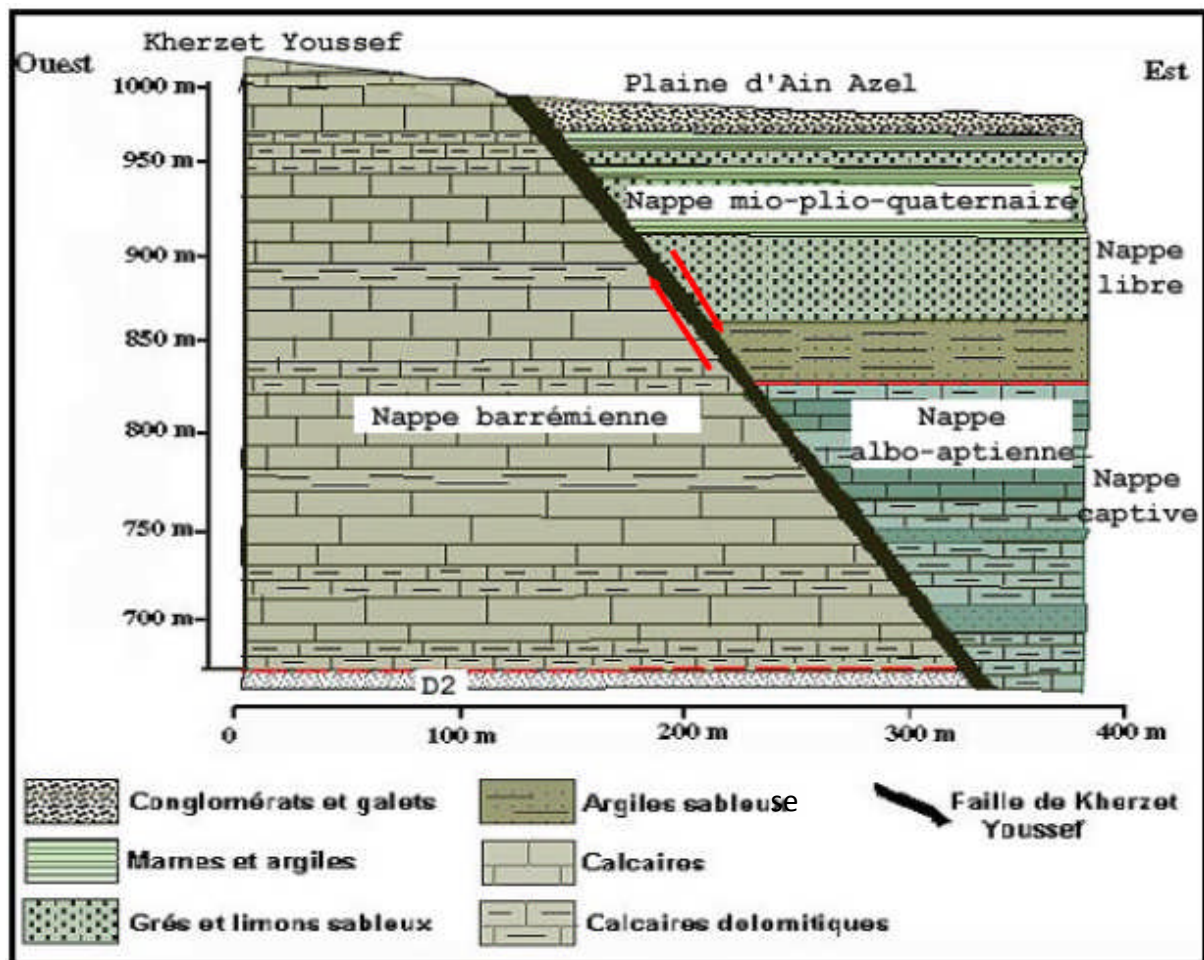


Figure 13 : Coupe hydrogéologique schématique de la région de Kherzet Youcef (L. Attoucheik, 2006)

**❖ La nappe mio-plio-quadernaire**

La nappe mio-plio-quadernaire est située à l'Est de la faille de Kherzet Youcef dans la plaine d'Ain Azel (figure 13) ; son épaisseur peut atteindre 250 m.

Le Mio-Plio-Quadernaire est caractérisé par une sédimentation détritique continentale très hétérogène, comprenant des conglomérats qui s'intercalent avec des grès, argiles, marnes et calcaires lacustres et des galets avec des intercalations de limons sableux.

La nappe superficielle est alimentée directement par les précipitations et les eaux ruisselées en provenance des différents reliefs entourant la dépression intramontagneuse d'Ain Azel. Ces principaux exutoires sont représentés par Sebkhet El Hamiet et Chott El Beida.

Les eaux de cette nappe sont utilisées par les agriculteurs à travers leurs puits domestiques pour l'irrigation et la consommation humaine.

**❖ La nappe albo-aptienne**

La nappe albo-aptienne, située dans le compartiment oriental de la faille de Kherzet Youcef, est constituée par des calcaires karstiques avec des intercalations gréseuses et des calcaires marneux (figure 13).

La faille de Kherzet Youcef, formant une barrière étanche, isole hydrauliquement cette nappe de la nappe barrémienne. Cette nappe se trouve en charge sous un niveau argilo-sableux semi-perméable permettant de l'isoler hydrauliquement de la nappe mio-plio-quadernaire.

**❖ La nappe barrémienne**

Située à l'Ouest de la faille de Kherzet Youcef (figure 13), elle affleure à un niveau piézométrique estimé à 929 m d'après les piézomètres (h2, h3, h7) réalisés par l'entreprise nationale des métaux non ferreux (ENOF). L'épaisseur sur laquelle s'étend le Barrémien est de l'ordre de 700 m.

Le Barrémien est caractérisé par des formations sédimentaires constituées d'une alternance de calcaires, marnes et dolomies avec intercalations de bancs gréseux. Les corps minéralisés du gisement de Kherzet Youcef sont encaissés dans ces formations.



Le Barrémien est affecté par un réseau de failles et de fractures particulièrement développé au niveau du massif de Hadjar Labiod, permettant la circulation des eaux souterraines dans les formations calcaro-dolomitiques.

L'eau servant à l'irrigation et au traitement du minerai provient de la nappe barrémienne.

#### ❖ L'unité D2

La nappe aquifère qui correspond à l'unité D2 est située dans le compartiment occidental de la faille de Kherzet Youcef ; elle est constituée par des grès.

Les aquifères supérieurs et profonds sont alimentés par les précipitations atmosphériques infiltrées ; ceci est lié à la présence de dépôts perméables au niveau des plaines et des affleurements des roches-mères sur les collines et les massifs montagneux.

Les conditions hydrogéologiques sont influencées par la tectonique et les conditions climatiques. Les eaux souterraines dans la région de Kherzet Youcef circulent du Sud-Ouest vers le Nord-Est ; ceci correspond à l'écoulement superficiel des eaux.

L'Oued Enza draine peu les eaux souterraines en raison de la faible inclinaison du flux des eaux souterraines. La profondeur des eaux souterraines augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la dépression vers l'Ouest.

##### III.2.1.2. Gisement de Chaâbet El-Hamra

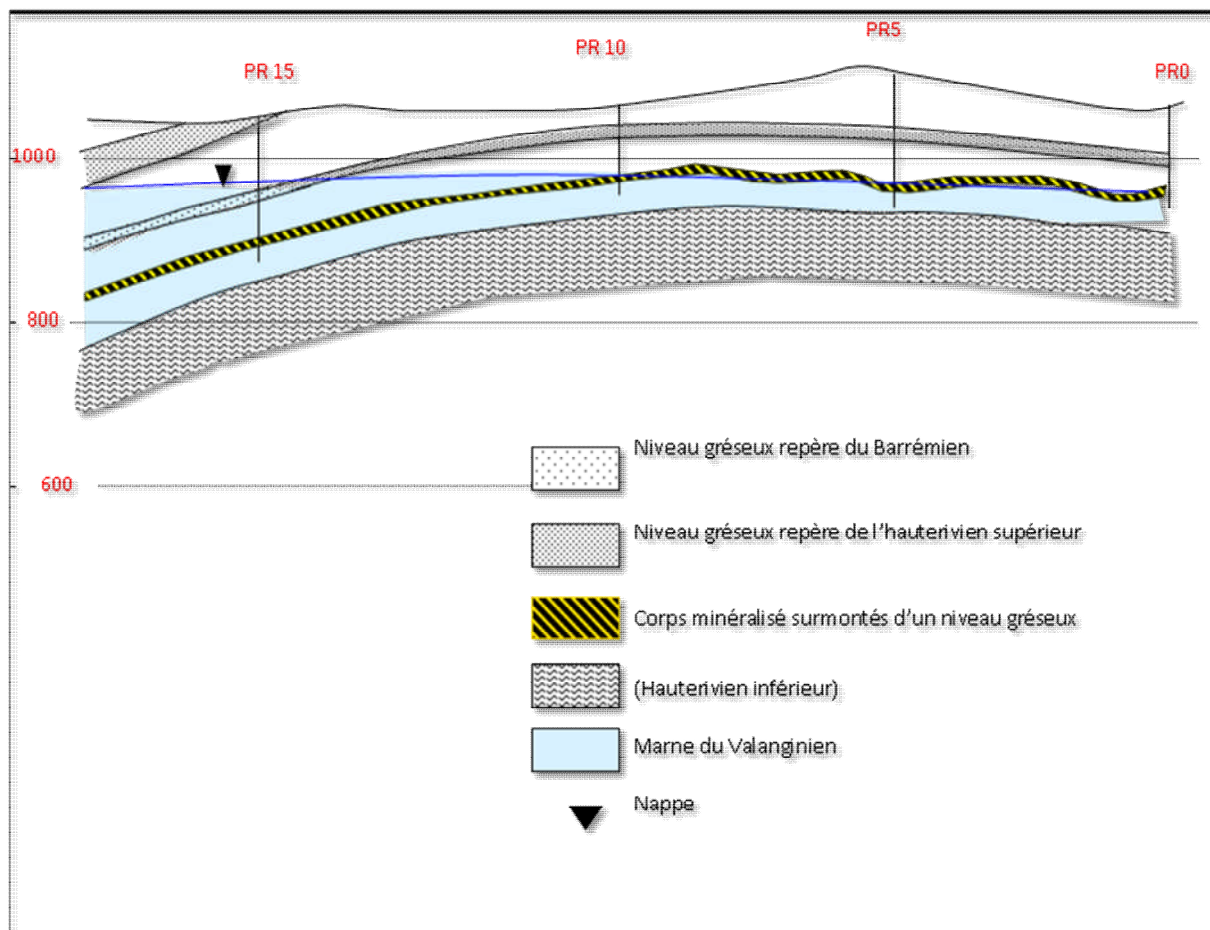
Les données géologiques, hydrogéologiques et les travaux d'exploitation concernant le gisement de Chaâbet El-Hamra ont confirmé la présence de deux nappes d'eau au dessus du niveau 960 m (figure 14) :

- Une étude hydrogéologique élaborée par l'ORGM a confirmé l'existence de deux nappes (figure 14), l'une dans les formations hauteriviennes et l'autre dans les formations barrémiennes.
- Lors de l'ouverture du niveau 960 m, l'ENOF a réalisé des travaux de surveillance du niveau piézométrique qui a été constaté au niveau 980 m et a mené des travaux de pompage avec des débits variant de 50 - 80 m<sup>3</sup>/h pour le rabattement du niveau de la nappe à 960 m.

❖ **La nappe du Barrémien** se trouve dans la partie Nord-Ouest du gisement, située dans la couche dolomie-gréseuse. Les caractéristiques de cette nappe ne sont pas encore connues, ce qui impose de faire une étude hydrogéologique avant d'entamer l'exploitation de la partie inférieure du gisement.

❖ **La nappe Hauterivienne** se localise dans la partie centrale du gisement et est contenue dans les formations carbonatées à perméabilité de fissures.

Dans la partie orientale du gisement de Chaâbet El-Hamra, deux sondages hydrogéologiques ont été exécutés. Ces derniers ont donné des résultats négatifs et une absence de venue d'eau a été notée.



**Figure 14** : Coupe hydrogéologique de la mine de Chaâbet El-Hamra (profil 0 à 15)  
(ENOF, 2003)

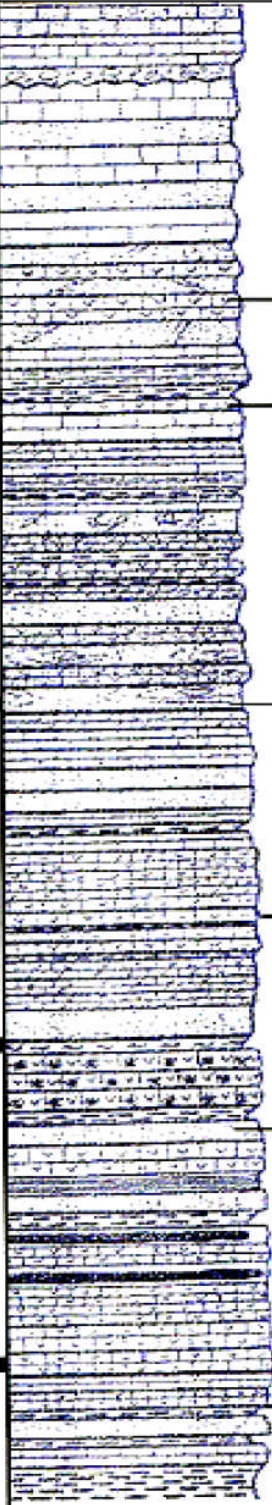
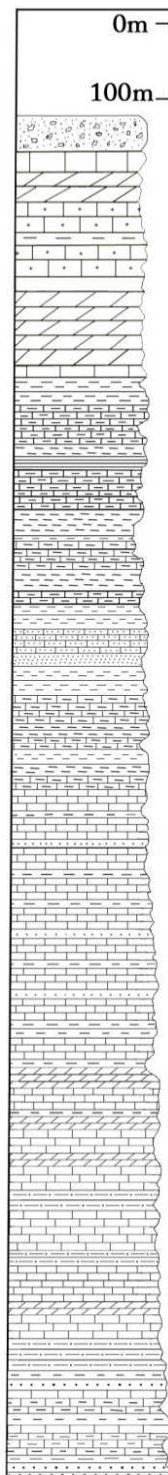
ETAGE	LOG	Conséquence Hydrogéologique	
Miocène 30 m		Perméable	<b>Non étudié</b>  Inexistant dans la partie centrale du gisement Exploité par les fellahs
Aptien 60 m			
Barrémien 200 m		Semi -Perméable	<b>Etudié sommairement</b>  Situé au dessus du Niveau Statique dans la partie centrale du gisement exploité par les fellahs
		Perméable	
Hautérvien Supérieur 120 m		Perméable	<b>Etudié</b>
		Semi -Perméable	
Hautérvien Inférieur 120		Perméable	
Valanginien		Imperméable	<b>Etudié</b>

Figure 15 : Niveaux aquifères dans la région de Chaâbet El-Hamra (ENOF, 1993)



Age	Lithologie	Caractères hydrogéologiques probables
Mio-Plio-Quaternaire	Sables, graviers, galets et conglomérats	Formation perméable
Miocène	Calcaires, calcaires gréseux dolomies et conglomérats à la base	Formation perméable
Turonien	Dolomies à silex et calcaires	Formation perméable à semi-perméable
Cénomanién	Alternance de marnes et calcaires marneux	Formation imperméable à semi-perméable
Vraconien	Marnes, calcaires gréseux et grès	Formation perméable
Albien	Alternance de marnes et calcaires marneux	Formation imperméable à semi-perméable
Aptien supérieur	Alternance de calcaires, grès, marnes et marneux calcaire	Formation perméable à semi-perméable
Aptien inférieur	Alternance de marnes, calcaires et dolomies	Formation perméable à semi-perméable
Barrémien supérieur	Alternance de calcaires, marnes gréseux et dolomies	Formation perméable
Barrémien inférieur	Alternance calcaro-marneuse, dolomies et grès	Formation perméable

Figure 16 : Niveaux aquifères dans la région de Kherzet Youcef (ENOF, 1990)

### III.3. Sismicité de la région

La zone d'étude est située dans une région fortement sismique. Elle a subi plusieurs secousses d'intensités variables. À titre d'exemple, on cite les amplitudes enregistrées au cours des années suivantes (**N. Medkour, 1995**) :

- 1946 : 06,0 sur l'échelle Richter (1 à 9) ;
- 1950 : 05,9 sur l'échelle Richter ;
- 1963 : 05,7 sur l'échelle Richter ;
- 1968 : 04,2 sur l'échelle Richter.

### Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé succinctement deux parties, la première étant consacrée à l'étude hydrologique, qui permet d'identifier le sens d'écoulement dans le réseau hydrographique, notamment les oueds de la région et leurs positions par rapport aux sites miniers et l'usine du traitement.

Dans la deuxième partie, nous nous sommes intéressés à l'hydrogéologie afin d'identifier les niveaux perméables et semi-perméables, qui sont utiles à l'identification des endroits présentant un risque de contamination par les éléments polluants.

**Chapitre IV :**  
**REALISATION D'UN SIG**



## Introduction

Ce chapitre est consacré à la réalisation d'un Système d'Information Géographique (SIG) et la mise en place des différents points et cours d'eau sur MapInfo, ainsi que les résultats d'analyses chimiques obtenus sur les eaux, les sols et les sédiments à partir des différents travaux réalisés dans la région d'étude. Pour cela, les principales étapes sont les suivantes :

- Problématique et Objectifs ;
- Géolocalisation des données (collecte et structuration des données) ;
- Présentation du travail ;
- Analyse et discussion.

Cependant, une description succincte du SIG est indispensable avant d'entamer notre travail.

### IV.1. Description du SIG

#### *IV.1.1. Définition*

Un Système d'Information Géographique (SIG) ou Geographic Information Systems (GIS) est un ensemble de données numériques, localisées géographiquement et structurées à l'intérieur d'un système de traitement informatique comprenant des modules fonctionnels permettant de construire, de modifier, d'interroger, de représenter cartographiquement, la base de données, selon des critères sémantiques et spatiaux **(Gilliot, 2000)**.

Les données géographiques, peuvent le plus souvent, être obtenues sous forme numérique. Ces systèmes, issus des systèmes de gestion de bases de données (SGBD), permettent de créer des bases de données dans lesquelles les informations peuvent être localisées géographiquement **(M. Mennad, 2009)**.

Enfin, cet ensemble de définitions des SIG est représenté par la figure 17.

#### *IV.1. 2. Classification des SIG*

En général, les objectifs associés à l'utilisation du SIG peuvent être nombreux, et selon les finalités attendues du SIG, on considère les catégories suivantes **(CNIG, 2000)** :

- **SIG descriptif ou d'observation** : il a pour but principal de fournir une image synthétique du territoire, ou il sert de maintenir à jour l'information sur un site donné. Cette description est souvent réalisée en suivant une thématique particulière, telle que : la géographie, le tourisme, la qualité et gestion des eaux...
- **SIG de gestion** : celui-ci facilite la gestion de la base de données. Il permet la réunion, l'analyse et la cartographie d'éléments afin d'en faciliter la gestion et l'exploitation dans le cadre de procédures pré-établies (requêtes simples et habituelles). Il est utilisé pour répondre à une question précise (planification, réalisation et entretien). Les finalités de ce SIG sont étroitement liées au Système de Gestion de la Base de Données.
- **SIG de recherche ou d'étude** : ce type répond à une étude particulière. Il prend ici la forme d'un outil d'aide à la compréhension du fonctionnement des phénomènes étudiés. Il permet les requêtes complexes sur des informations de nature diverses sur une zone d'étude afin de réaliser des analyses, de mettre en évidence des phénomènes ou comparer des solutions.

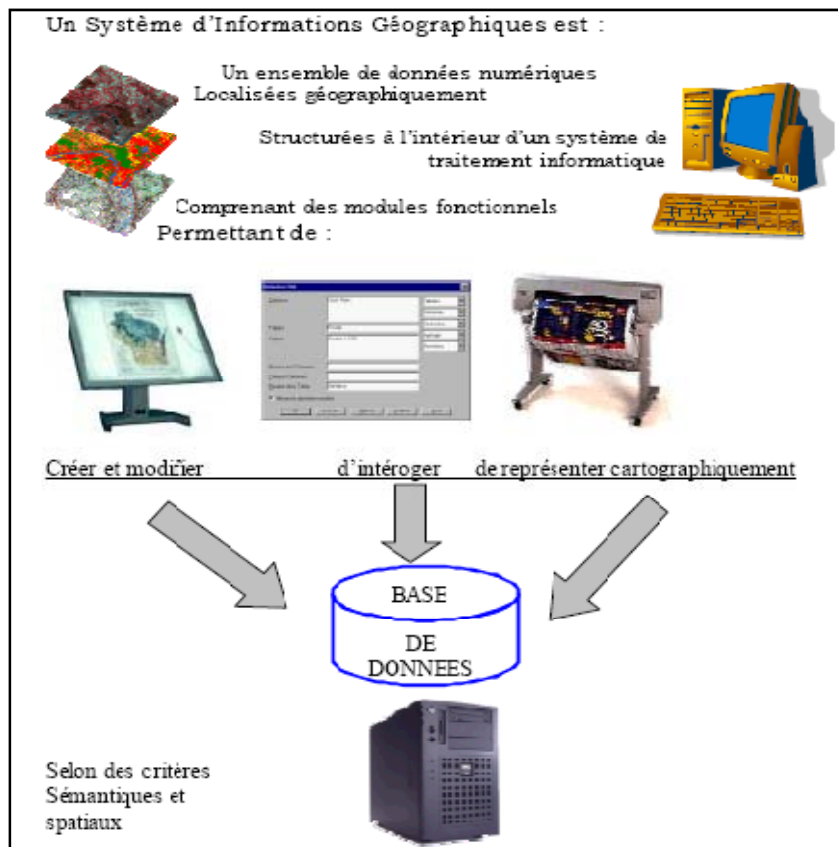
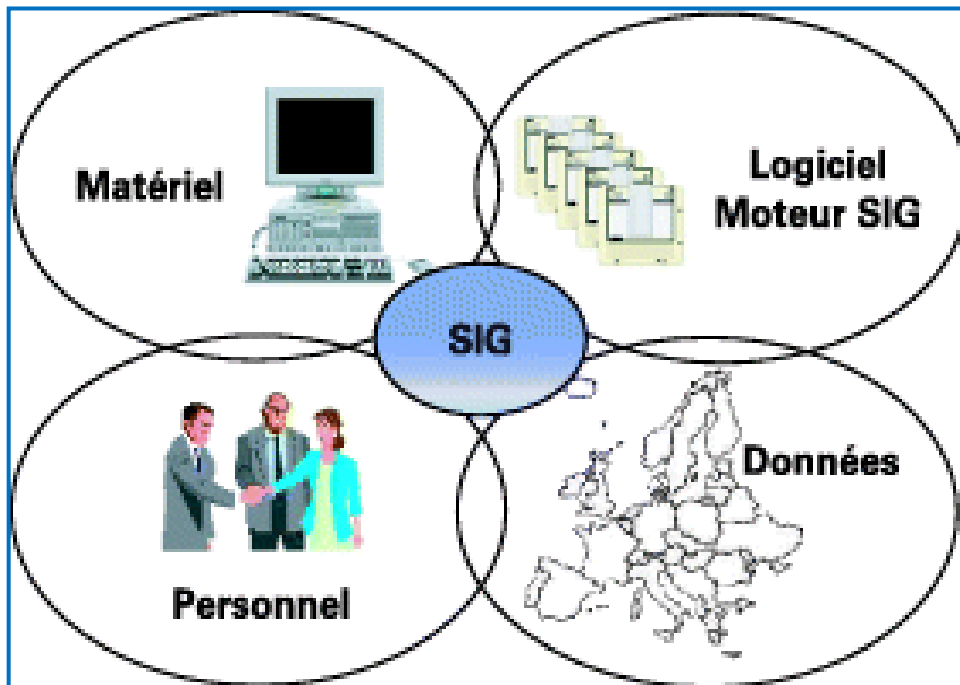


Figure 17 : Résumé d'un Système d'Information Géographique (Gilliot, 2000)



### IV.1. 3. Composantes du SIG

Le terme de Système d'Information Géographique englobe en fait quatre composantes nécessaires à sa mise en œuvre, qui sont représentées par la figure 18.



**Figure 18** : Composantes d'un SIG

#### IV.1. 3. 1. Choix du logiciel

Les logiciels SIG fournissent les fonctions et outils nécessaires au stockage, à l'analyse et à l'affichage de l'information, ils permettent :

- Saisir et manipuler les informations géographiques (Excel...);
- Systèmes de gestion de base de données (Access de Microsoft Office, Oracle...);
- Outils de requête, analyse et visualisation (MapInfo, Arc Gis desktop...);
- Interface graphique utilisateur.

Le logiciel choisi pour ce SIG est le MapInfo 8.0, qui est une marque déposée de MapInfo Corporation ([www.mapinfo.com](http://www.mapinfo.com)). Ce choix a été fait vu la disponibilité et la portabilité du produit. Ce logiciel est caractérisé comme étant un système :

- Très souple pour la gestion des données géographiques sur PC ;
- Permettant l'interrogation au moyen du langage SQL ;
- Permettant les opérations d'analyse spatiale ;
- Permettant l'affichage sous forme de cartes, tableaux ou graphes.

Le tableur Excel de Microsoft est utilisé pour le stockage et l'analyse des données, ainsi que l'élaboration de graphiques.

#### IV.1. 3. 2. Base de données géographiques

Une base de données géographique est un composant indispensable pour la mise en œuvre de l'outil envisagé. Elle va servir à stocker les données d'une façon structurée et avec le moins de redondances possibles. De plus, elle va correspondre à la nature spatiale des données manipulées.

Les données représentent l'élément essentiel d'un SIG. Dans le cadre de l'élaboration d'un SIG. Elles sont également un élément fondamental pour l'efficacité du SIG, de validité, de mises à jour et de métadonnées sont fondamentales dans la conduite d'un projet SIG.

Deux types de données peuvent être intégrées dans un SIG : les données sous forme d'images ou données rasters et les données vectorielles.

### **IV.2. Problématique et objectifs**

La notion de SIG hydrogéologique, qui est assez récente, a été élaborée suite à la nécessité d'adapter les outils de l'environnement hydrogéologique et ceux des acquisitions spécifiques à ce milieu.

Les difficultés généralement rencontrées sont la collecte des données, qui constitue la principale contrainte d'une part et l'absence de mise à jour de ces données d'autre part.

L'objectif de notre recherche est d'élaborer un système d'information permettant d'intégrer des données spatio-temporelles issues de l'observation du milieu hydrogéologique, des traitements développés au laboratoire et des outils d'analyse géographique.

Ce système d'information devra assister l'utilisateur depuis l'acquisition des données jusqu'à la prise de décision.

Cette étude va contribuer à connaître la relation entre différents points d'eaux, pour le diagnostic et l'évaluation de l'état du sous-bassin versant de la région d'Ain Azel de points de vue qualitatif et quantitatif.

### IV.3. Structuration et représentation des données

#### *IV.3.1. Structure de la base de données (Table)*

La structure d'une base de données relationnelle est relativement simple. Elle correspond à une collection de tables relationnelles, représentant une relation. Chaque table relationnelle est décrite par un ensemble d'attributs ou champs qui sont les colonnes de la table. Chaque ligne de la table est un ensemble de valeurs, décrivant un individu de la table.

➤ Relations entre les tables

Le schéma relationnel est la structure des tables. Une relation est un ensemble fini de tuple associés à un schéma relationnel d'une base de données relationnelle.

➤ Opérations sur les tables/relations

Un ensemble d'opérations peuvent être effectuées sur les relations telles que l'union, l'intersection, la différence. L'utilisation de ces opérations est définie par l'algèbre relationnelle (**M. Mennad, 2009**).

➤ Géoréférencement

Il consiste à déclarer les couches cartographiques dans un système de référence ou système de projection. Un système de projection (représentation plane) est le procédé mathématique qui permet le passage de l'ellipsoïde à une représentation plane de la Terre.

Les logiciels SIG (MapInfo, ArcGis) permettent de définir et de modifier le système de coordonnées du document en édition (carte).

La projection Lambert Nord Algérie Voirol 1960 est le système utilisé dans le présent travail. Ce choix a été fait puisque les coordonnées des points d'eaux sont repérés par cette projection.

### ***IV.3.2. Représentation des données***

#### **IV.3.2.1. Données de type raster**

Le mode raster correspond à une division régulière de l'espace sous forme de cellules carrées (appelés aussi pixels). Chaque pixel contient ses coordonnées géographiques (X, Y) et généralement une information attributive.

Dans notre étude, on a utilisé la carte topographique de la région d'Ain Azel (figure 19). La valeur du pixel est un codage de la couleur. La taille du pixel déterminera la résolution de l'image.

Les données rasters les plus communes sont les photos-aériennes, les images satellites, les Modèles Numériques de Terrain (MNT), représentations du relief où l'information attributive de chacun des pixels correspond à l'altitude.

#### **IV.3.2.2. Données de type vecteur**

Le mode vecteur permet la représentation des objets de façon aussi exacte que possible, en associant les coordonnées géographiques aux points de construction de l'objet à représenter.

Les objets peuvent être représentés sous trois formes (*données graphiques*) : polygones, ligne et points.

Une base de données attributive (*données alphanumériques*) est associée à ces objets de manière à préciser les caractéristiques sémantiques de l'objet.

##### **a- Données graphiques**

Concernant cette étude, notre document de base est une partie de la feuille n°143 (figure 19) représentant la carte topographique de la région d'Ain Azel aux coordonnées Lambert :

X= 746 000 m à 755 000 m.

Y= 279 000 m à 292 000 m.

##### ***a1) Polygones***

Ils représentent la forme et la localisation des objets homogènes comme les pays, les communes, les parcelles de terre, les types de sols, les unités géologiques, les lacs, les Sebkhass...



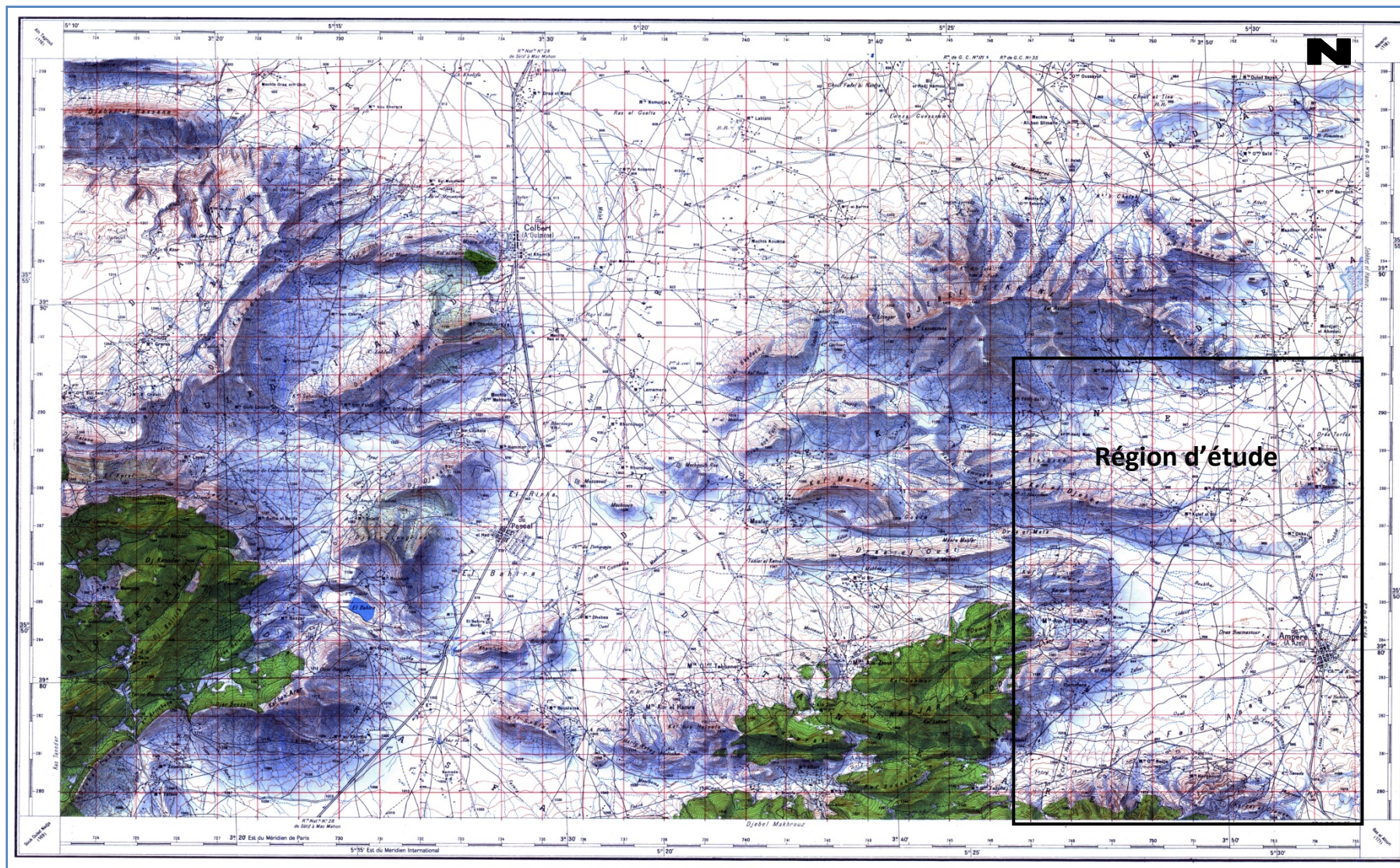


Figure 19 : Carte topographique d'Ain Azel au 1/50.000



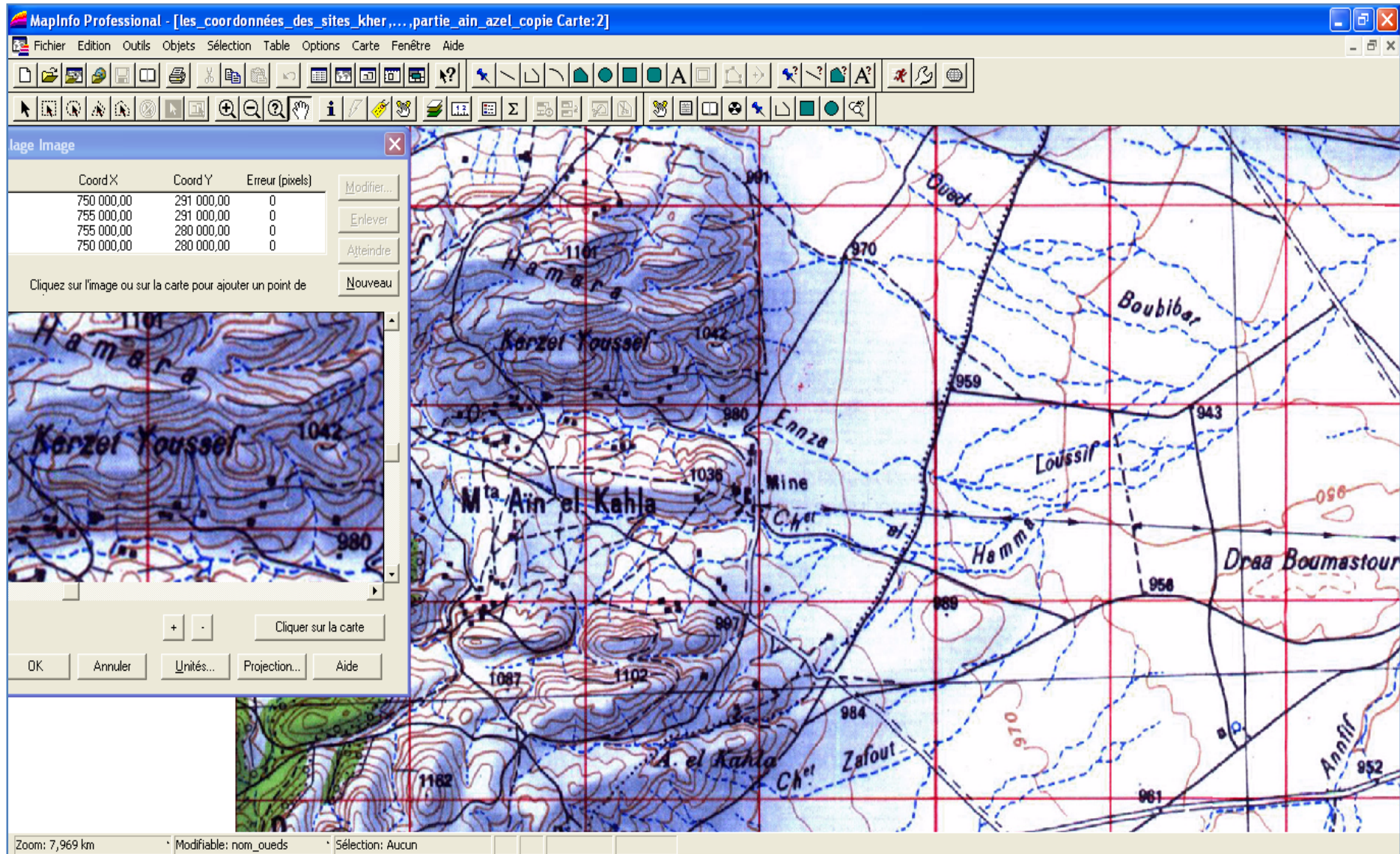
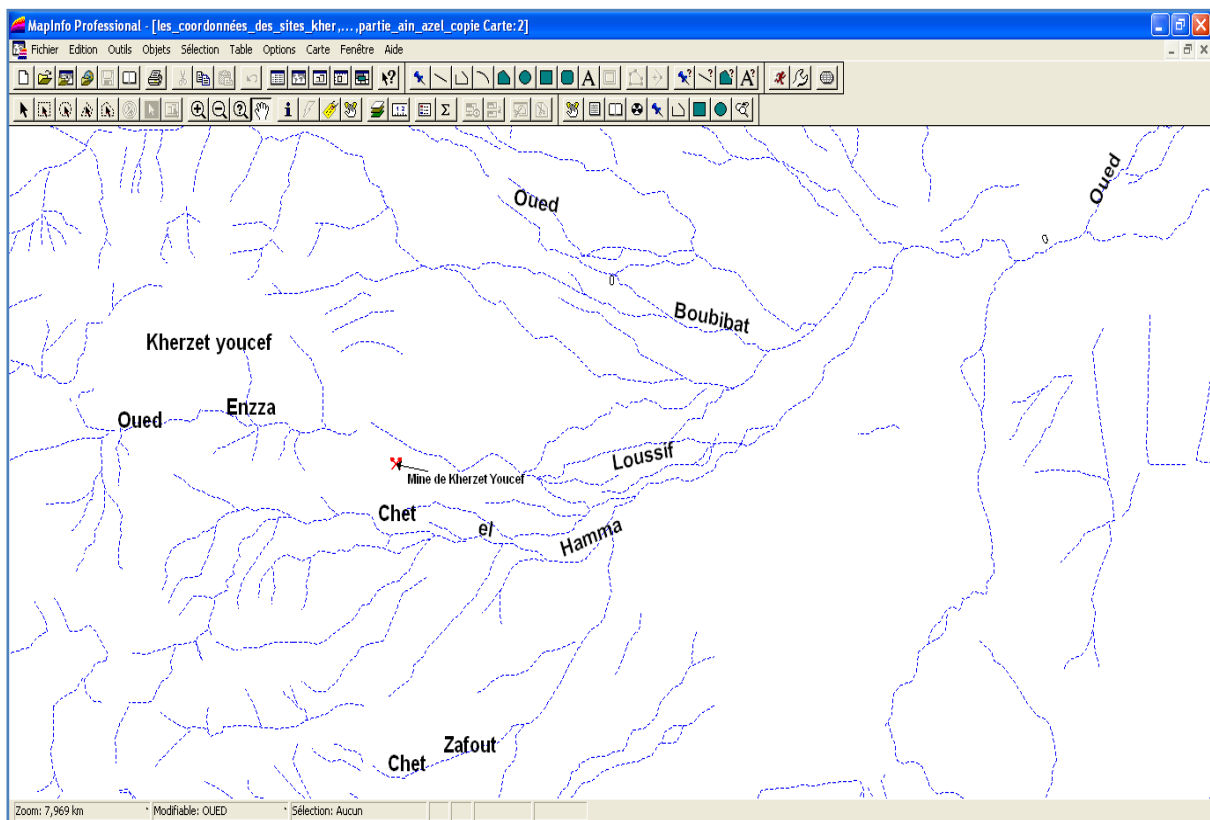


Figure 20 : Carte topographique d'Ain Azel callée sur MapInfo

### a2) Lignes

Les lignes correspondent aux formes des objets géographiques trop étroits pour être décrits par des surfaces (exemples : rue ou rivière) ou des objets linéaires qui ont une longueur, mais pas de surface comme les courbes de niveau et pour notre cas les lignes représentant les oueds et les chotts, tels que l'Oued Enzza (proche de la mine de Kherzet Youcef où se déversent les eaux usées et les rejets de l'usine de traitement), l'Oued Boubibat, Bou Hamida et l'Oued Lahsabi qui se déversent au niveau de l'Oued Annfif, le Chott el Hamma et le Chott Zafout (figure 21).



**Figure 21** : Représentation géographique des Oueds et des Chotts d'Ain Azel sur MapInfo

### a3) Points

Ils définissent des localisations d'éléments séparés pour des phénomènes géographiques trop petits pour être représentés par des points comme les points côtés et les points d'eau.

Dans cette étude, nous avons 167 points d'eau (annexes A, B, C, D et E), qui représentent des forages, puits, puits forés (puits sondage), piézomètres et des sources. Chaque point inventorié porte un numéro de classement national, des coordonnées géographiques (X, Y) en Lambert, la profondeur d'ouvrages, le nom de sous bassin versant, le niveau d'eau (figure 22)....

✓ forages

Dans la plaine d'Ain Azel (feuille n° 143) concernant notre région d'étude, on a 71 forages réalisés /sondages miniers depuis 1909 (figure 22 a) (Inventaire ANRH).

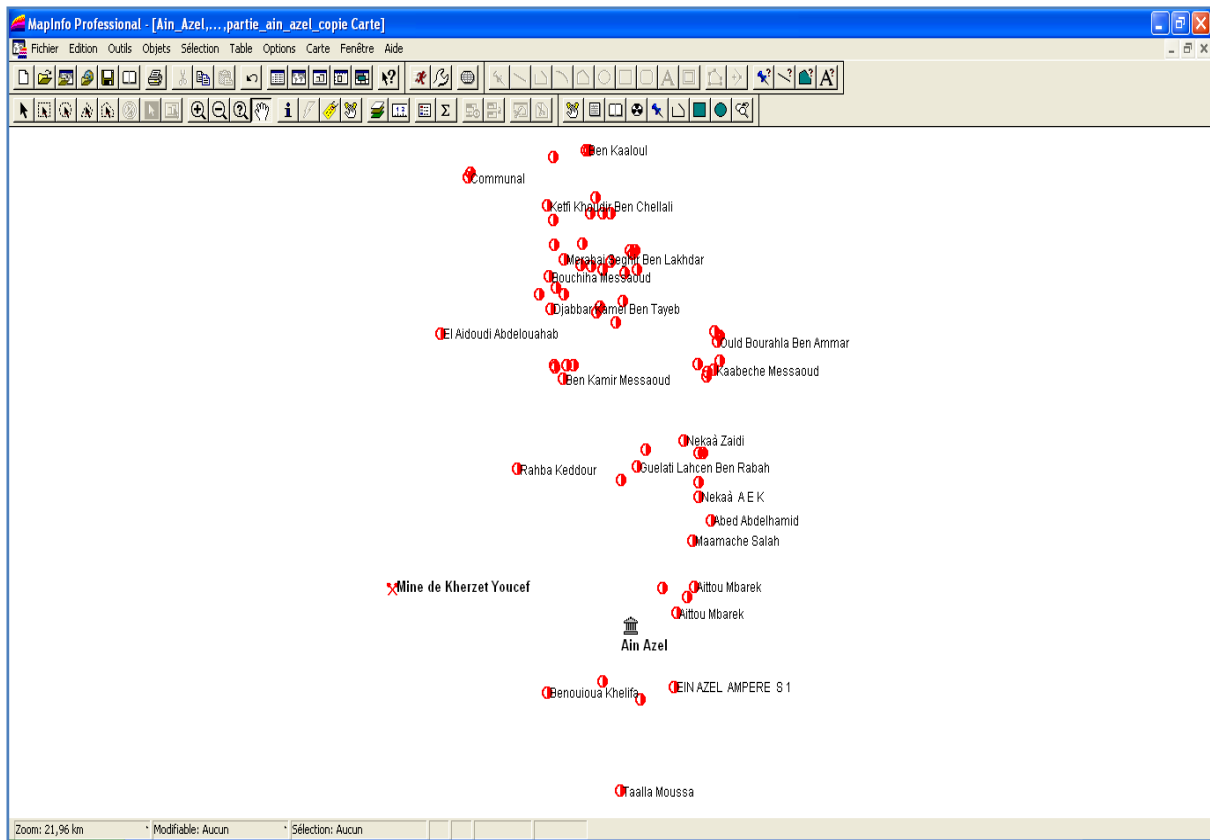


Figure 22. a : Représentation géographique des forages de la zone d'Ain Azel sur MapInfo

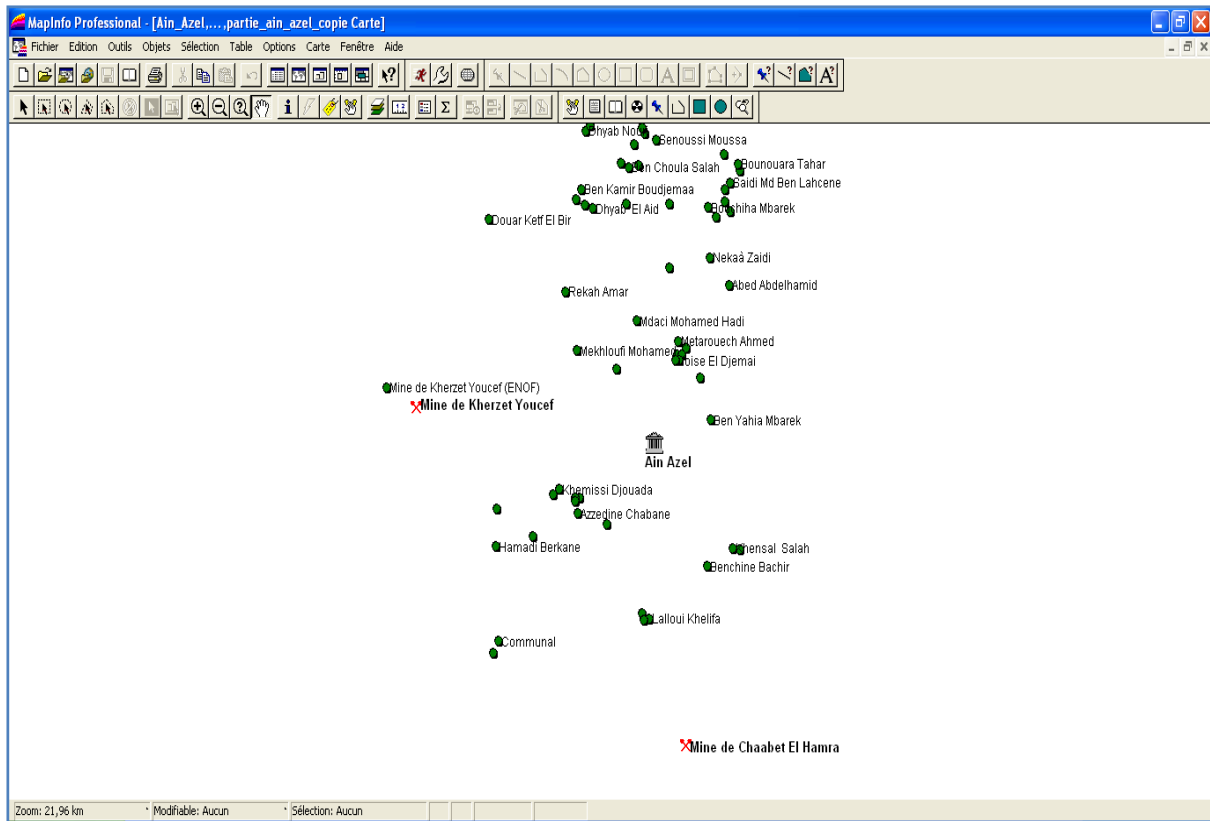
✓ Puits

Concernant les puits, on a 76 dans le sous bassin versant (0701), qui se trouvent beaucoup plus au Nord et au Sud de la commune d'Ain Azel, avec un seul puits localisé au niveau de la mine de Kherzet Youcef qui a été réalisé par l'ENOF sur une profondeur totale de 320 m. La profondeur des autres puits varie entre 20 et 40 m, et qui sont utilisés principalement pour l'agriculture et l'alimentation en eau potable. La puissance d'eau varie généralement entre 1 à 4 m.

La figure 22 .b représente les différents paramètres tels que la profondeur des puits, leurs numéros nationaux, le niveau de l'eau ....

La plupart de ces ouvrages se situent loin des sites miniers (figure 22. b).



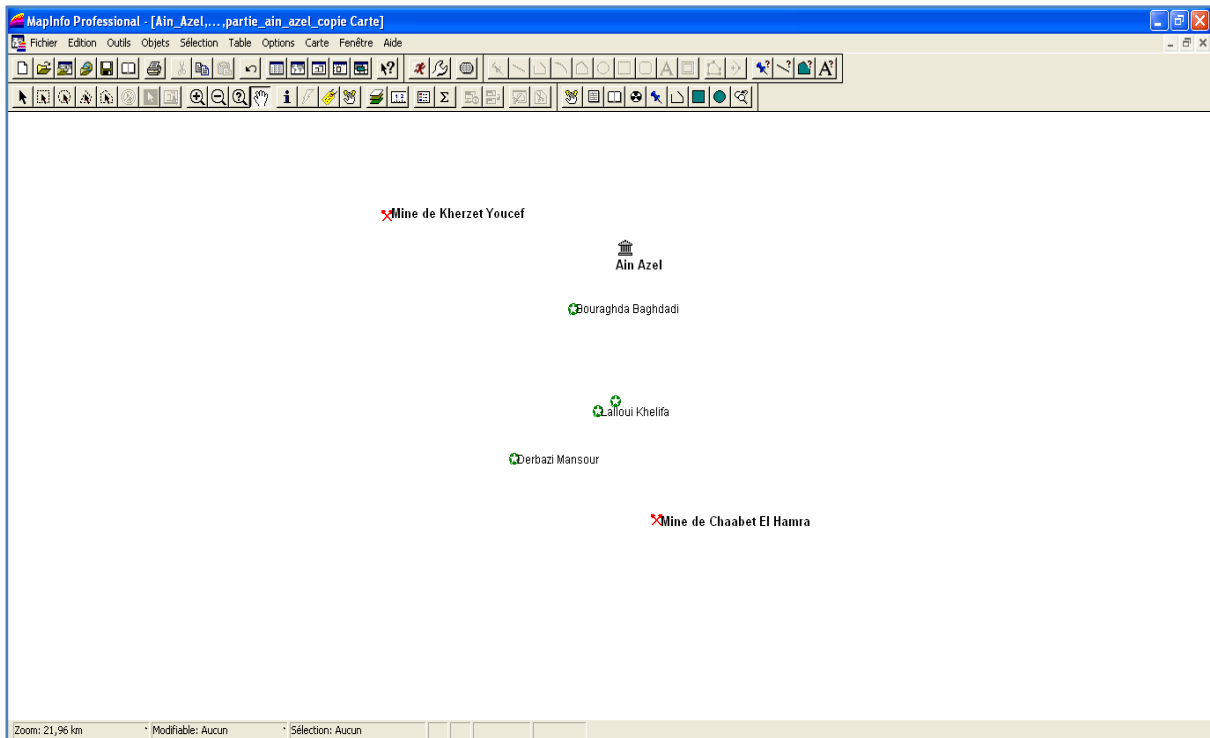


**Figure 22.b :** Représentation géographique des puits de la zone d'Ain Azel sur MapInfo

✓ Puits forés

Ces points d'eau sont des anciens puits récemment forés (puits de sondage) pour les besoins des habitants en irrigation et en alimentation d'eau potable.

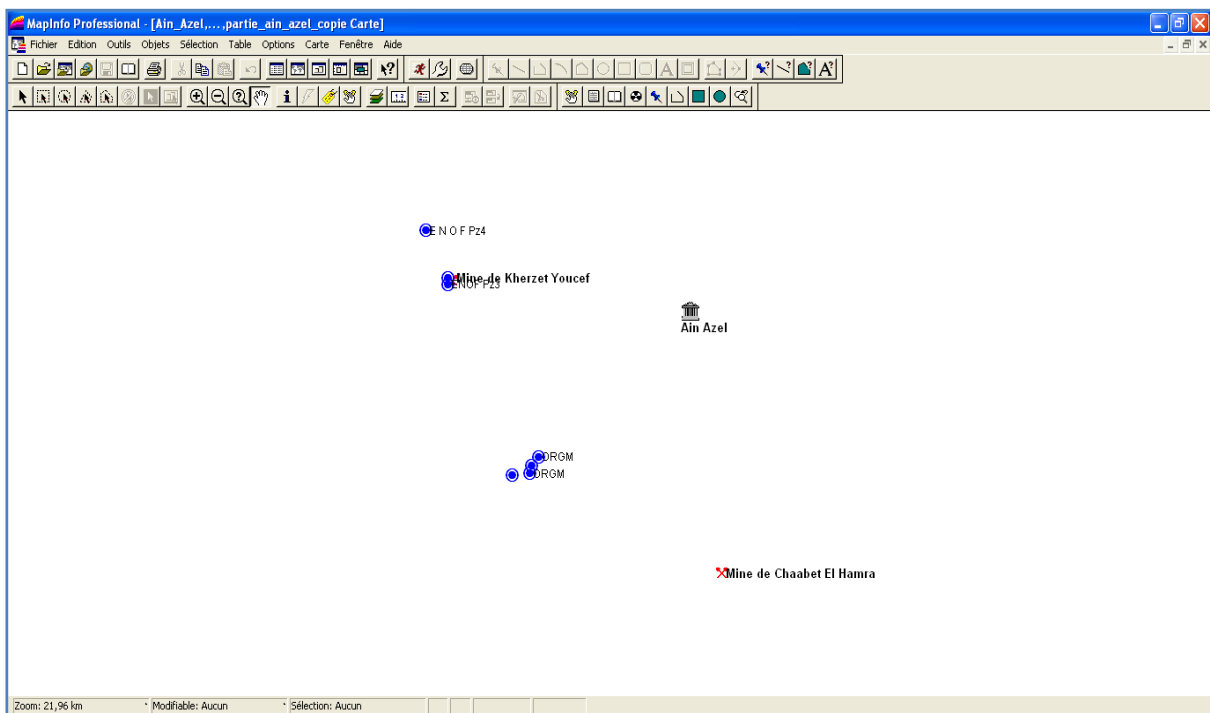
Dans notre région d'étude, nous avons sept (07) puits forés, se trouvant dans deux secteurs différents, localisés loin de la mine de Kherzet Youcef (figure 22. c), avec une profondeur variant entre 42 et 99 m.



**Figure 22.c :** Représentation géographique des puits forés de la zone d'Ain Azel sur MapInfo

✓ Piézométries :

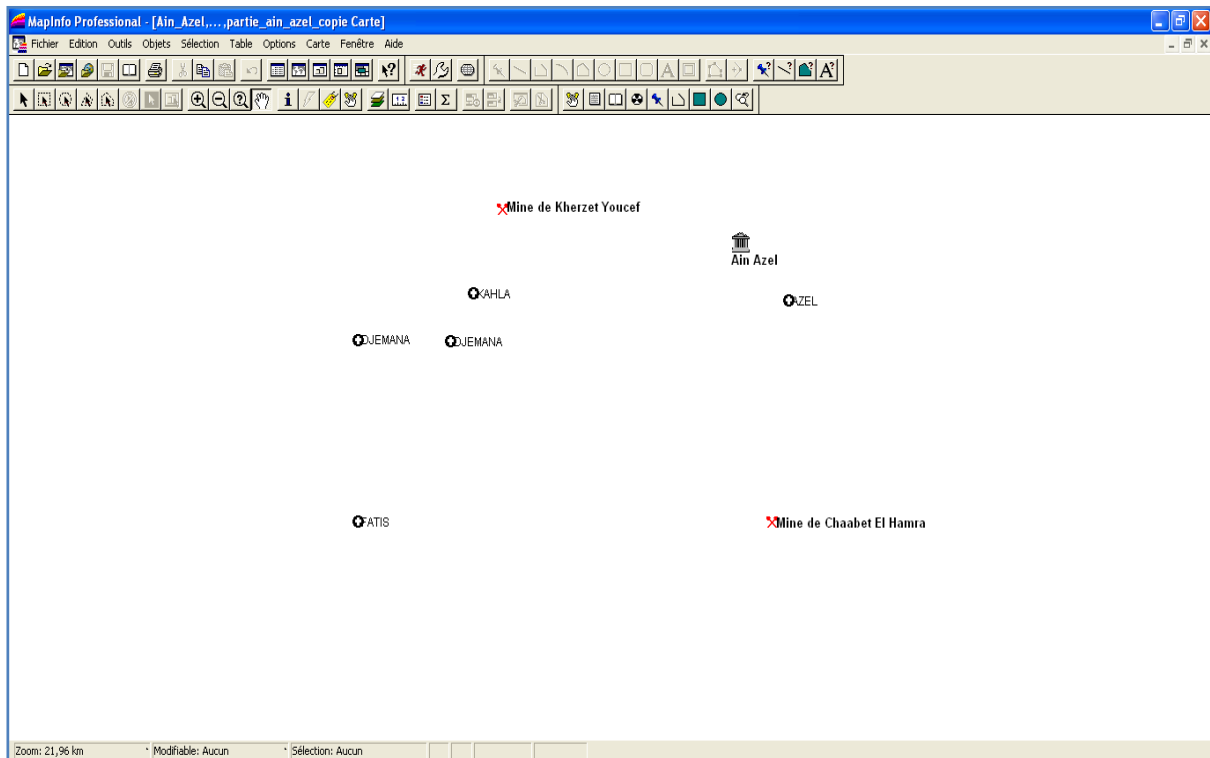
Pour ces ouvrages, nous avons huit (08) piézomètres (figure 22.d), dont deux avec des profondeurs connues ENOF Pz3 et ENOF Pz1 (300 et 120 m), qui se trouvent au niveau de la mine de Kherzet Youcef et qui ont été réalisés pour mesurer le niveau de l'eau.



**Figure 22.d :** Représentation géographique des piézomètres de la zone d'Ain Azel sur MapInfo

## ✓ Sources

Dans la région d'étude, on peut trouver cinq (05) sources dont une se situe au niveau de la commune d'Ain Azel et les autres sont au Sud de la mine de Kherzet Youcef (figure 22.e). Pour ce type de points d'eau, on a moins de paramètres que pour les autres.



**Figure 22.e :** Représentation géographique des sources de la zone d'Ain Azel sur MapInfo

## b- Données alphanumériques

Les données alphanumériques ou attributaires ou sémantiques, sont des informations textuelles qualitatives ou quantitatives. Elles décrivent l'objet géométrique.

Pour pouvoir gérer et traiter le volume considérable de données alphanumériques rassemblées sur les différentes entités (oueds, puits, forages, piézomètres...), nous avons défini une structure de tables dans lesquelles les données jugées nécessaires pour le traitement du sujet ont été codifiées. Cette structure de tables est conçue d'une manière pour permettre de contenir les données importées des fichiers Excel et de respecter les restrictions d'un modèle conceptuel de données (choix de champs clés et type de données).

Les éléments caractérisant chaque structure de table sont présentés dans le tableau et la figure suivants.

Tableau 17 : Structure des données "alphanumériques" de la table des points d'eau

CHAMPS	TYPE
Cod N°_de pont d'eau	Entier
numéro ouvrage national	Caractères (10)
Désignation	Caractères (30)
Code de sous bassin versant sbv	caractères (30)
Type d'ouvrage	Caractères (15)
X_Lamb	Entier
Y_Lamb	Entier
Altitude	Entier
Date_Fin_réalisation	Caractères (15)
Etat d'ouvrage	Entier
Profondeur totale	Entier
Nom_adminstratif	Caractères (30)
Nom_bv	Caractères (30)
Nom_sbv	Caractères (30)
Date_de mesure	Caractères (15)
Niveau_de_l'eau	Entier

Id	No_Ouvrage	Designation	code_sbv	Type_ouvrage	X_Lamb	Y_Lamb	Altitude	Date_Fin	Etat_ouvrage	Prof_Totale	nom_admini	Nom_bv	nom_sbv	Date	Niveau_de_l_eau
1	F010-00447	EIN AZEL AMPERE S1	0701	forage	754300,00	263275,00			0	20,45	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
2	F010-00448	AIN AZEL AMPERE S2	0701	forage	754300,00	263275,00			0	18,45	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
3	F010-00491	AIN AZEL AMPERE S3	0701	forage	754300,00	263275,00			0	23	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
4	F010-00482	AIN AZEL AMPERE S4	0701	forage	754300,00	263275,00			0	20,35	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
5	F010-00483	AIN AZEL AMPERE S5	0701	forage	754300,00	263275,00			0	20	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
6	F010-00738	AIN AZEL	0701	forage	753700,00	263100,00		30/06/1990	0	230	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
7	F010-06145	Abed Abdelhamid	0701	forage	754980,00	265643,00	0	01/01/2001	0	70	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida	24/12/2002	32,00
8	F010-06151	Nekaa Zaïdi	0701	forage	754482,00	266778,00	0	01/01/1995	11	85	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
9	F010-06153	Nekaa A E K	0701	forage	754750,00	265975,00	0	01/01/1997	11	0	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
10	F010-06154	Nekaa A E K	0701	forage	754750,00	266175,00	0	01/01/2001	11	0	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
11	F010-06157	Kaabèche Messaoud	0701	forage	755025,00	267775,00	0	01/01/1997	0	105	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
12	F010-06159	Bouchiha Mbarek	0701	forage	754925,00	267750,00	0	01/01/2001	0	100	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
13	F010-06160	Djaarane Youcef	0701	forage	754748,00	267851,00	0	01/01/2001	11	105	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
14	F010-06161	Djaarane A E R	0701	forage	755150,00	267900,00	0	01/01/1996	0	105	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
15	F010-06163	Ouid Bourahla Ben Amme	0701	forage	755100,00	268175,00	0	01/01/2001	11	100	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
16	F010-06164	Koussa Maamar	0701	forage	755150,00	268250,00	0	01/01/1997	0	100	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
17	F010-06478	Touil Bakhouche	0701	forage	755050,00	268325,00	0	01/01/2001	0	100	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
18	F010-06462	Ben Kacem Hachemi	0701	forage	754900,00	267675,00	0	01/01/2010	11	100	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
19	F010-06484	Oussassi Amar	0701	forage	754760,00	266588,00	0	01/01/1999	0	85	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida	26/12/2002	22,00
20	F010-06485	Latreche Djamel	0701	forage	754835,00	266590,00	0	01/01/2002	11	100	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
21	F010-06486	Aïttou Mbarek	0701	forage	754348,00	264326,00	0	01/01/1996	3	100	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida	26/12/2002	37,00
22	F010-06487	Aïttou Mbarek	0701	forage	754675,00	264700,00	0	01/01/2010	11	80	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
23	F010-06489	Aïttou Mbarek	0701	forage	754650,00	264550,00	0	01/01/1996	11	80	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
24	F010-06490	Maamache Salah	0701	forage	754650,00	265350,00	0	01/01/1963	0	33	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
25	F010-06492	Saghari Mohamed	0701	forage	753800,00	266650,00	0	01/01/2002	11	60	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
26	F010-06494	Guelati Lahcen Ben Raba	0701	forage	753636,00	266401,00	0	01/01/2001	11	120	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
27	F010-06501	Daamouche Rabah	0701	forage	754101,00	264680,00	0	01/01/2001	11	127	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
28	F010-06508	Benououia Khelifa	0701	forage	752000,00	263200,00	0	01/01/1996	0	70	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
29	F010-06512	Ben Kaaloul	0701	forage	752700,00	260900,00	0	01/01/1992	11	70	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		
30	F010-06513	Kefli Rabah	0701	forage	752750,00	260900,00	0	01/01/1997	11	60	Ain Azal	Hauts Plateaux Constantini	Chott Beida		

Figure 23 : Représentation des données "alphanumériques" de points d'eau sur MapInfo

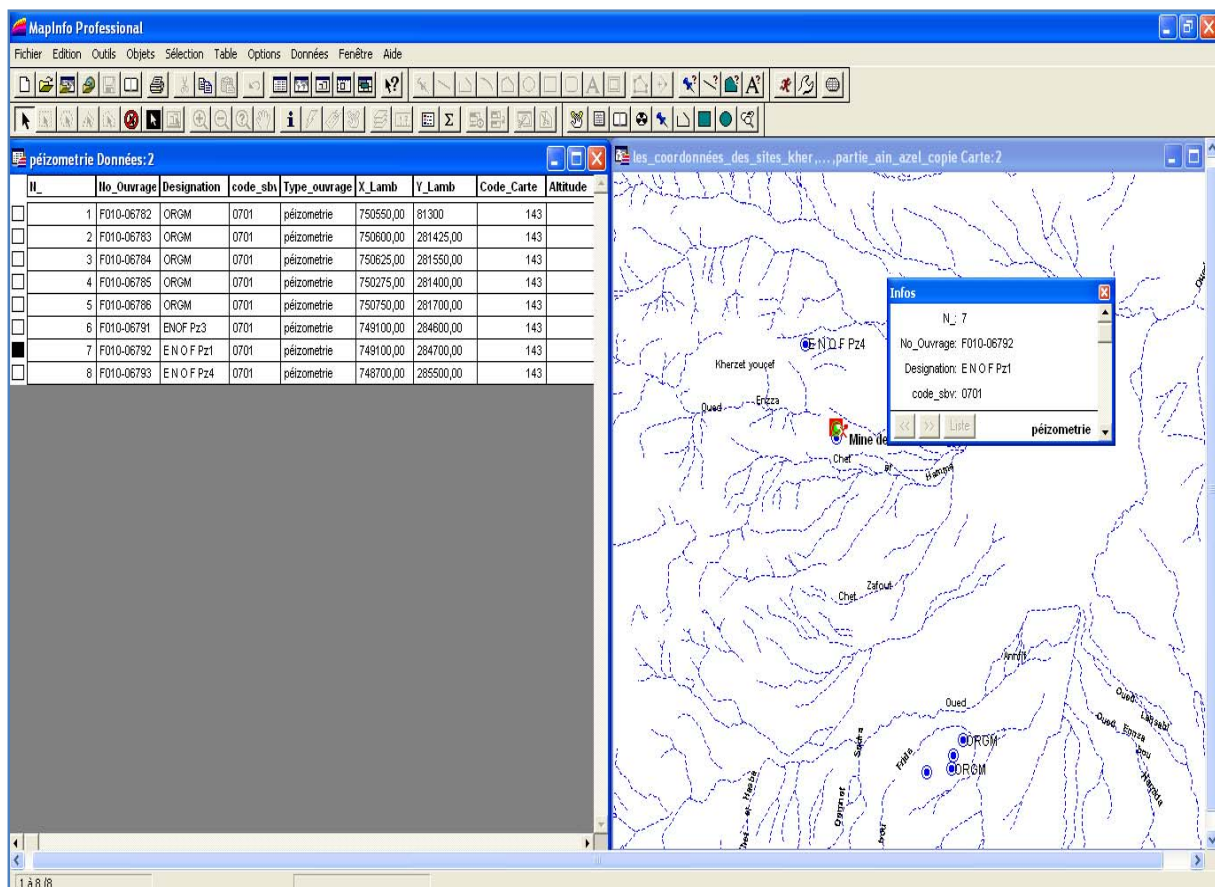
**IV.4. Informations géographiques**

Les informations géographiques contiennent :

- La forme et la localisation de l'objet sous forme graphique.
- Les caractéristiques qualitatives et quantitatives de l'objet localisé, sous forme de tableau.

Dans la figure 24, le petit carré noir sélectionné fait apparaître les informations qualitatives et quantitatives des points d'eaux d'Ain Azel (piézomètres). Ces données font partie du contenu de la table d'attributs : numéro piézomètre, numéro d'ouvrage, désignation, lieu dit .... La table d'attributs donne l'aspect descriptif. Le Système d'Information Géographique lie l'aspect graphique et l'aspect descriptif. Chaque vue est donc toujours associée à une table d'attributs, qui peut contenir un nombre variable d'informations.

Même cas pour les puits et les forages. Le petit carré noir sur la table en parallèle représente sur le graphe le numéro d'ouvrage (f 010-06), désignation....



**Figure 24 :** Informations géographiques des points d'eau d'Ain Azel sur MapInfo

**IV.5. Application**

La figure 25 représente le travail réalisé sur différents points et cours d'eau dans la région d'Ain Azel. Dans cette figure, les couches sont superposées pour nous permettre de visualiser en même temps toutes les cartes précédemment établies, dans une seule fenêtre.

La première couche représente les cours d'eau, la seconde les points de forages, la troisième, la quatrième, la cinquième et la sixième couche correspondent respectivement aux puits forés, aux puits, aux piézomètres et aux sources.

Pour obtenir une carte complète (figure 25), nous avons superposé ces couches. Cette carte présente la répartition et la localisation des points d'eau, des oueds et chotts dans la région d'Ain Azel, dont les points d'eau sont représentés par des objets ponctuels de différentes couleurs : rouge, vert et pour les oueds et les chotts sont représentés par la couleur bleu.

**IV.6. Représentation du sens d'écoulement**

Dans le but de connaître le sens d'écoulement d'eau au niveau de la zone d'étude, et devant l'absence des données sur le niveau piézométrique des différents points d'eau, on a été obligé de s'intéresser au sens d'écoulement superficiel. Pour cela, nous avons commencé par le traçage des courbes de niveaux, et en raison de la qualité de résolution de la carte scannée, ainsi que la pente du relief qui est forte (courbes très proches), on a choisis 50 m comme équidistance.

A partir de l'examen de la carte couvrant la zone d'étude, on a dessiné le sens d'écoulement à l'aide de flèches comme le montre la figure 26.

A partir de cette carte il en ressort deux principaux sens d'écoulement :

- Le premier de sens SW-NE tel que (Oued annfif) à proximité de la vil de Ain Azel vers (Oued Boubibat) ;
- Le deuxième de sens NW-SE (Oued Ennza, Oued Boubibat) près de la mine de Kherzet Youcef vers (Oued Boubibat).

Touts les cours d'eau déversent en aval de l'Oued de Boubibat, et ce dernier dans Sebkhat El Hamiet.

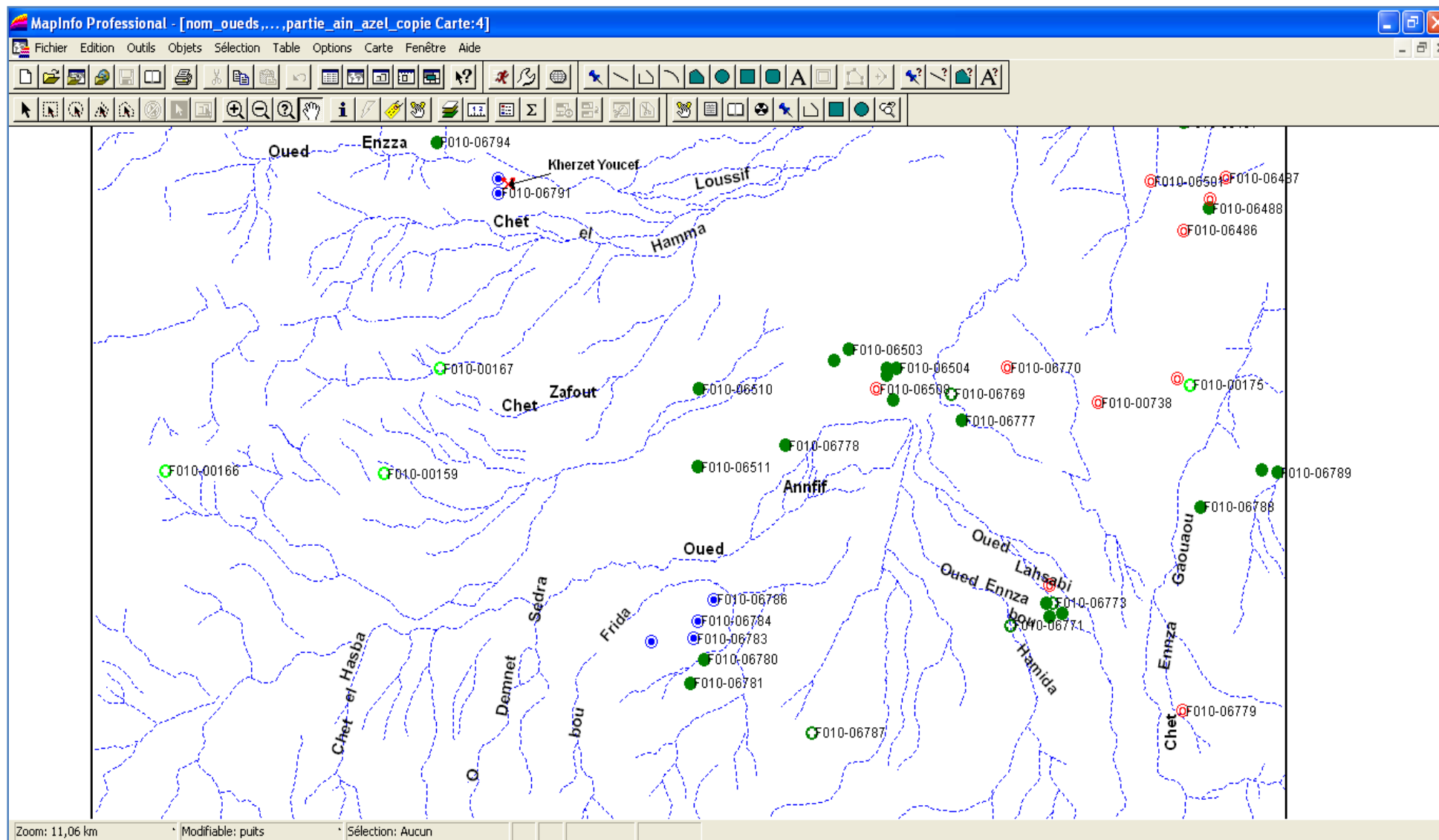


Figure 25 : Réalisation des points et cours d'eau de la zone d'Ain Azel par MapInfo



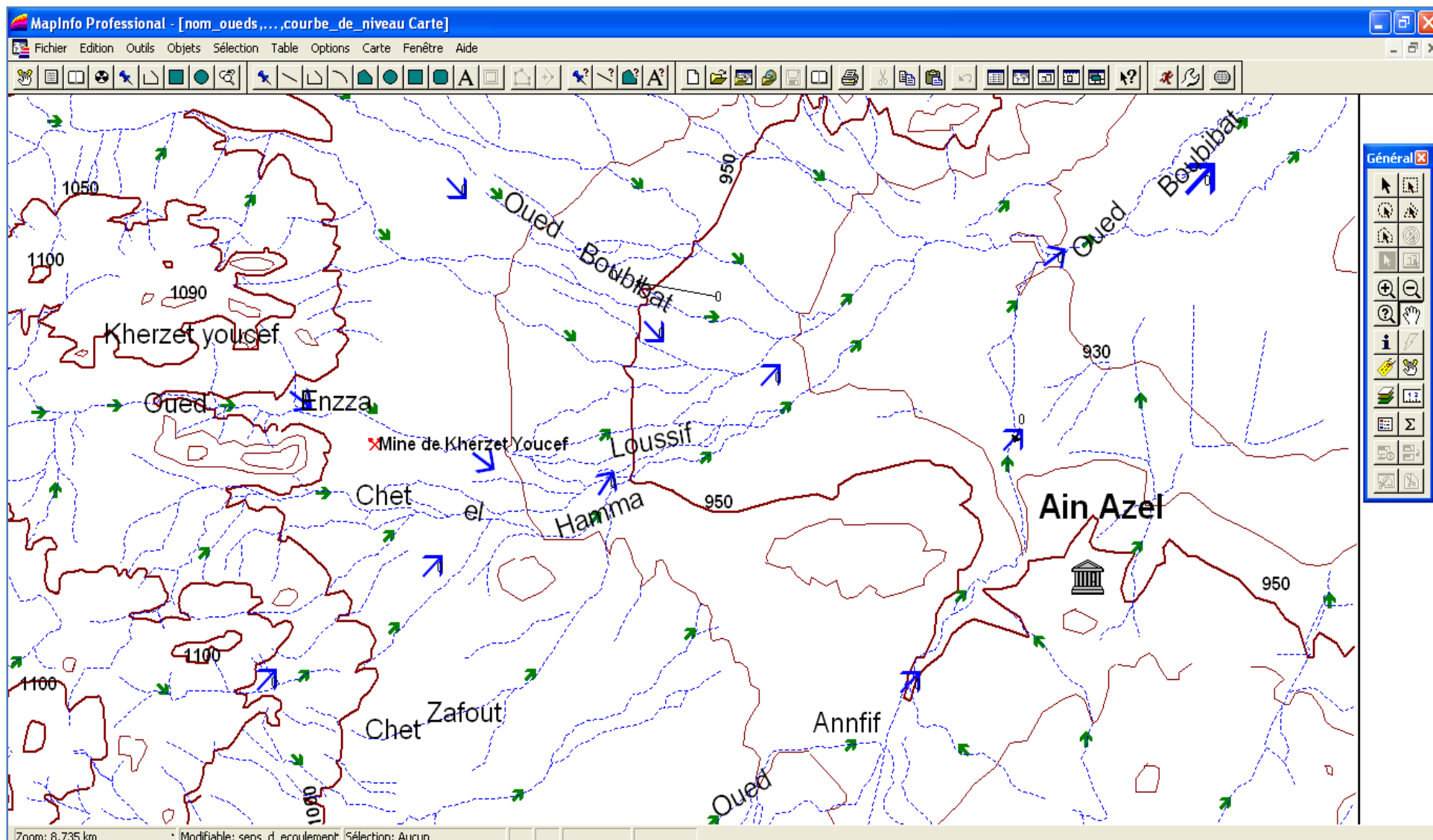


Figure 26 : Sens d'écoulement de surface au niveau de la zone d'Ain Azel par MapInfo



#### IV.7. Extraction d'information thématique

Elle nous permet de faire une comparaison entre les différents résultats d'analyses des eaux, sols et sédiments et les normes.

Pour faire cette comparaison on a tenu compte, des résultats obtenus sur les éléments métalliques Pb et Zn avec les normes OMS et AFNOR. Cependant en raison de l'absence de la géolocalisation des points de prélèvement de certains échantillons (chapitre II), de Belkhiri, nous effectuons des requêtes simples sur la table des résultats d'analyses qui sont repris par les annexe F, G, H, I et J.

Les figures 27 et 28 représentent l'emplacement des points de prélèvement des échantillons en périodes sèche et humide.

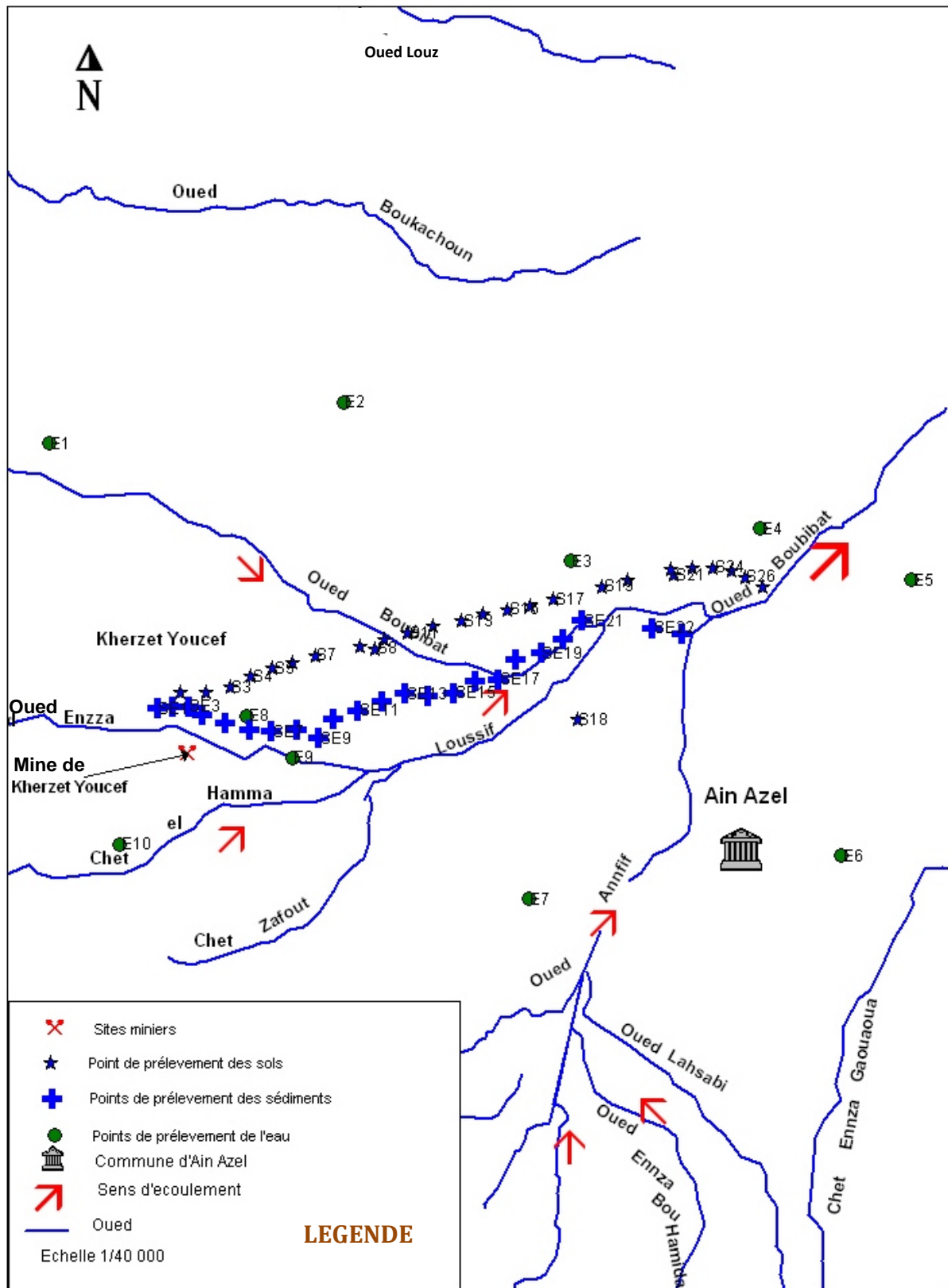
##### *IV.7.1. Comparaison des résultats d'analyse de l'eau avec les normes*

Nous avons comparé les teneurs en plomb et en zinc obtenus par les analyses de l'eau par rapport aux normes OMS pour l'eau potable, qui sont respectivement de 0,1 mg/l et 5 mg/l.

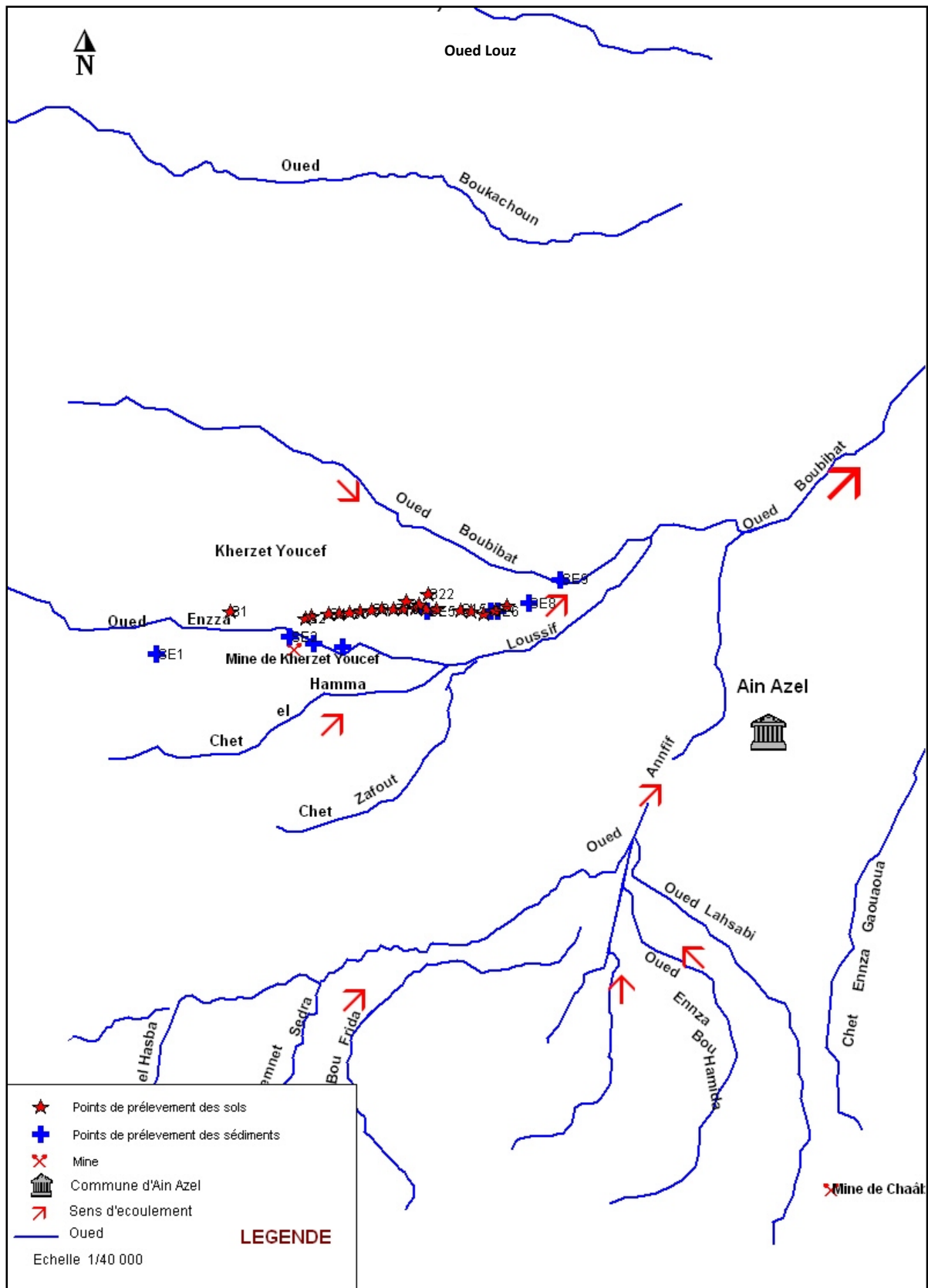
Pour obtenir un résultat annuel, on prend la moyenne des deux périodes, sèche et humide.

Les figures 29 et 30 indiquent l'opération et les résultats de comparaison obtenus.

Les requêtes de sélection nous permettent encore de poser certaines conditions quant à l'affichage des résultats, en utilisant les clauses « AND » et « OR ». Par exemple, on peut sélectionner en même temps, les points contaminés par le Plomb et par le Zinc, et le critère s'écrit comme suit : "**Pb>0.1 and Zn>5**" (figure 31).



**Figure 27** : Positionnement des points de prélèvement d'analyse géochimique de 2006 (d'après Attoucheik, 2006)



**Figure 28 :** Positionnement des points de prélèvement d'analyse géochimique de 2009 (d'après Bousdira, 2009)

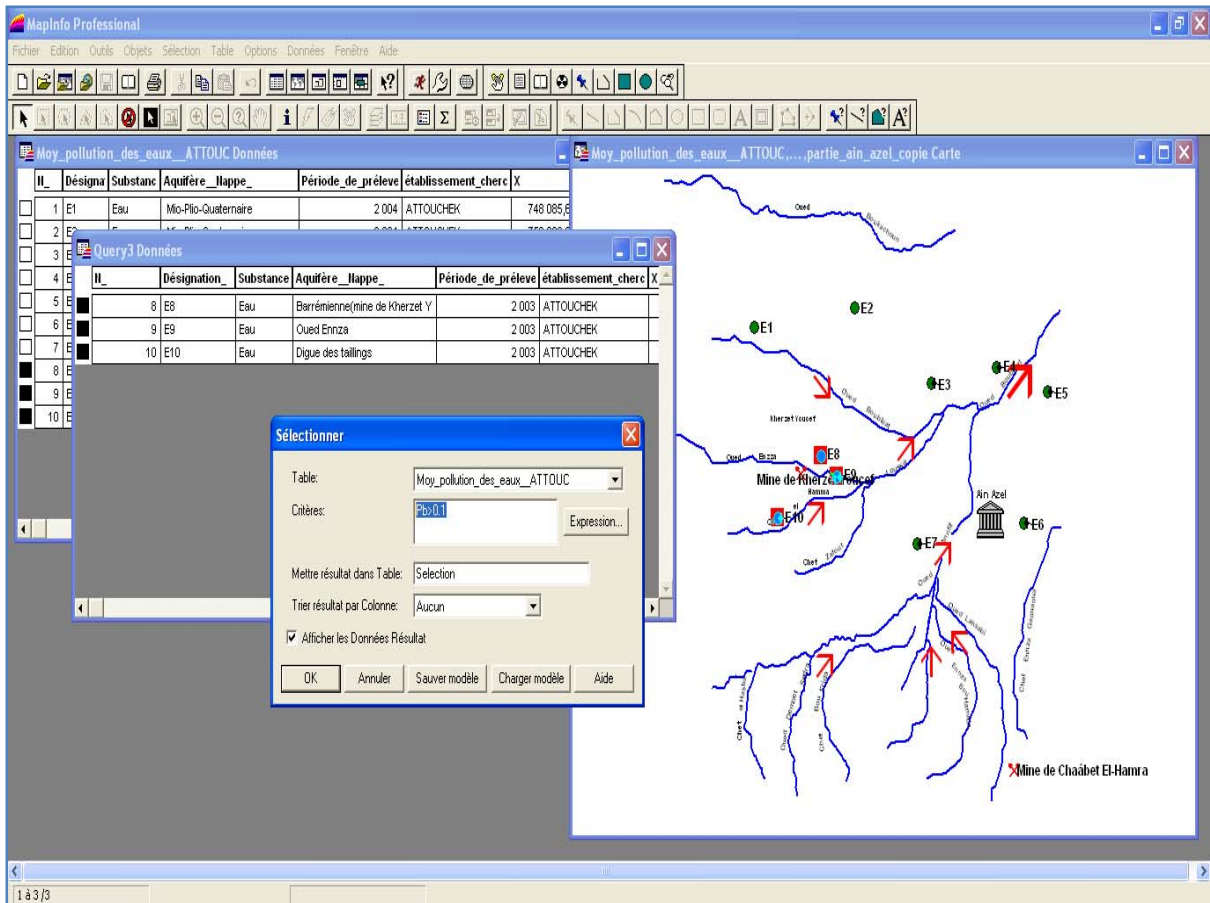


Figure 29 : Opération et affichage des résultats des eaux (Pb>0 .1)

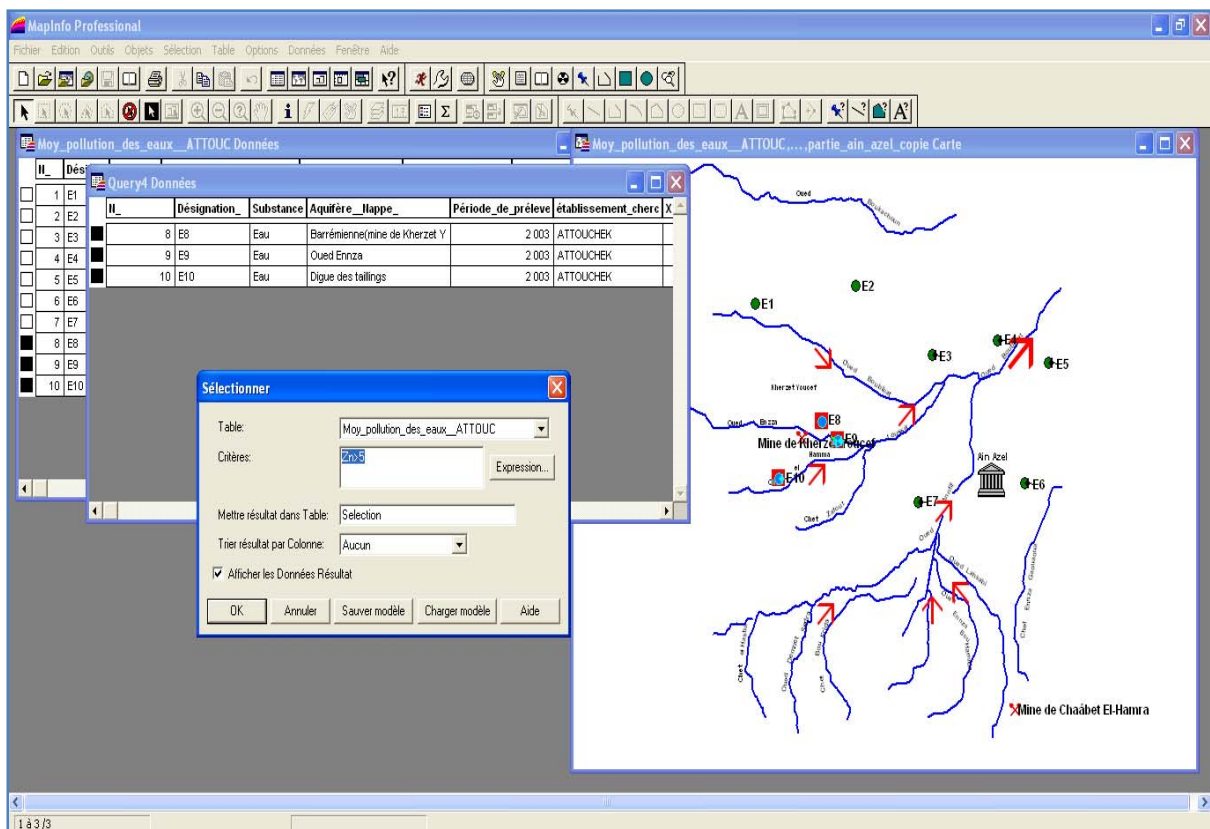
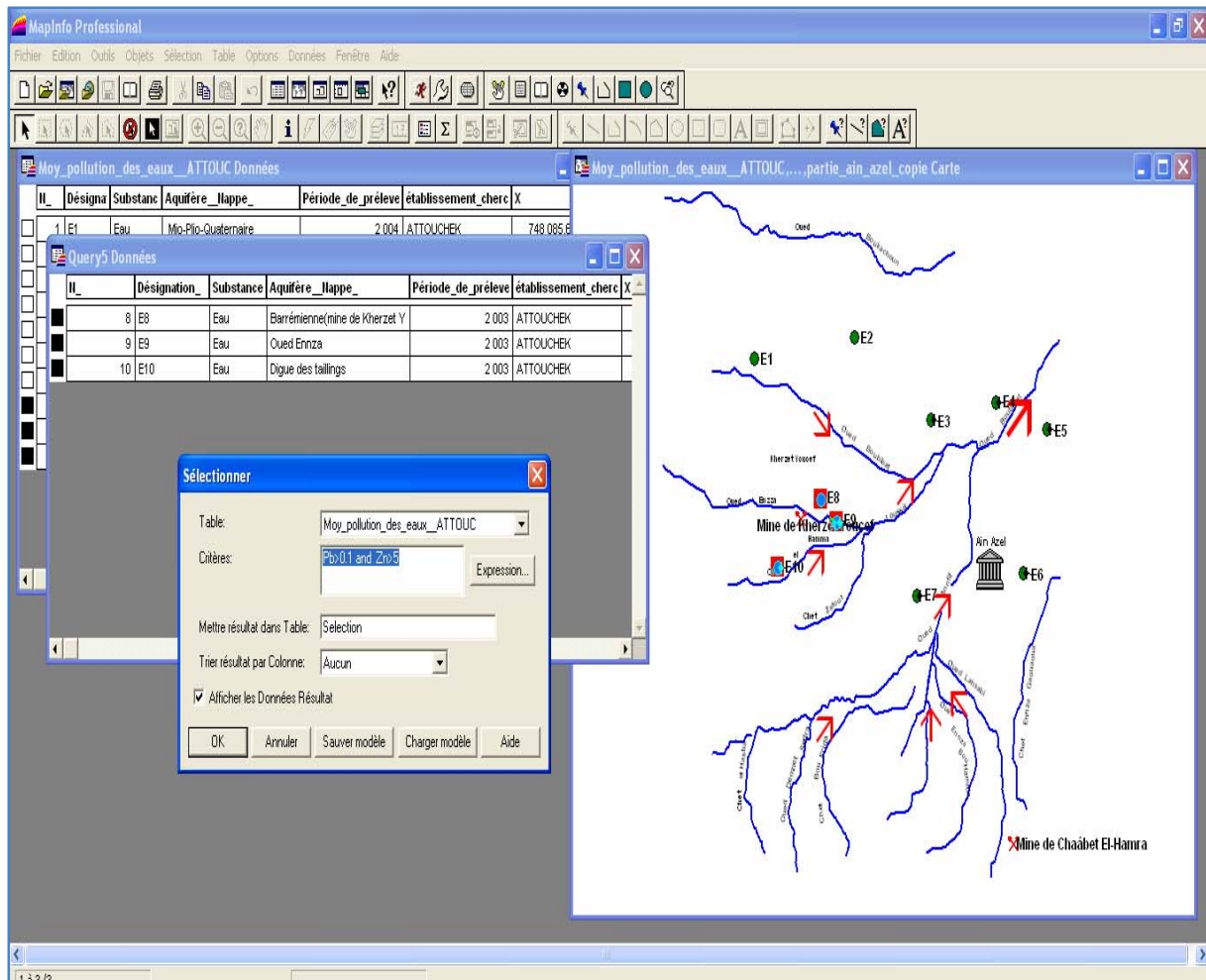


Figure 30 : Opération et affichage des résultats des eaux (Zn>5)



**Figure 31** : Opération et affichage des résultats des eaux ( $Pb > 0.1$  et  $Zn > 5$ )

Pour l'année 2006, la figure 29 montre des concentrations très élevées en Plomb dans l'eau, dont la teneur dépasse 0,1 mg/l, parmi lesquelles on a 3 points de prélèvement situés à la périphérie de la mine de Kherzet Youcef, qui atteignent la valeur 0,385 mg/l.

Pour les mêmes endroits, la figure 30 présente des concentrations très élevées en Zinc, supérieures aux normes admises de 5 mg/l (6 à Oued Ennza et 5,1 près de la mine de kherzet Youcef).

La figure 31 montre que le pourcentage en Plomb et en Zinc est supérieur aux normes admises, cas de la mine de Kherzet Youcef, Oued Ennza ainsi que la digue de tailings.



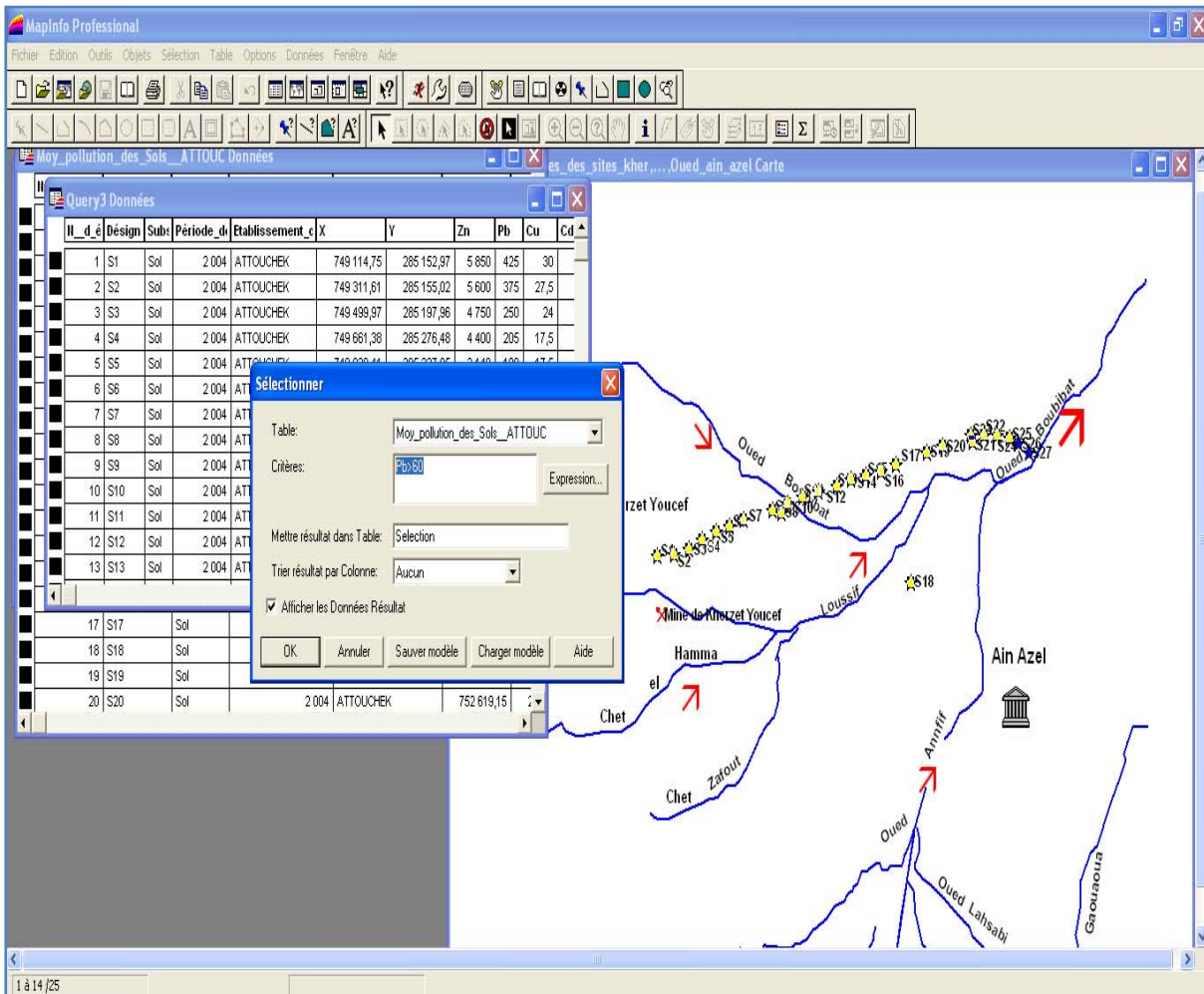
**IV.7.2. Comparaison des résultats d'analyse des sols avec les normes**

Concernant le sol, on compare les résultats d'analyses obtenus en 2006 et en 2009 avec les normes AFNOR applicables aux sols et aux sédiments, qui sont pour le plomb de 60 ppm et pour le zinc 150 ppm.

**IV.7.2.1. Résultats de l'année 2006**

La figure 27 représente le positionnement des points de prélèvement d'échantillons des sols qui ont été réalisées au cours de deux périodes : période sèche et période humide (Attoucheik, 2006). Comme nous avons fait précédemment, nous prendrons la moyenne des deux périodes et cela pour avoir des résultats de la pollution pour l'année.

Les figures 32 et 33 indiquent les opérations et les résultats obtenus.



**Figure 32 : Opération et affichage des résultats dans les sols (Pb>60 ppm)**

La figure 32 montre des concentrations très élevées en plomb dans les sols qui ont été effectués durant cette année, dépassent 60 ppm dans tous les points de prélèvement, atteindre 425 ppm (point 1) dans la périphérie de la mine de kherzet Youcef.

Dans les mêmes lieux la figure 33 présente des concentrations très élevées concernant le zinc, qui sont supérieures aux normes admises (150 ppm), avec une valeur maximale de 5850 ppm (point 1).

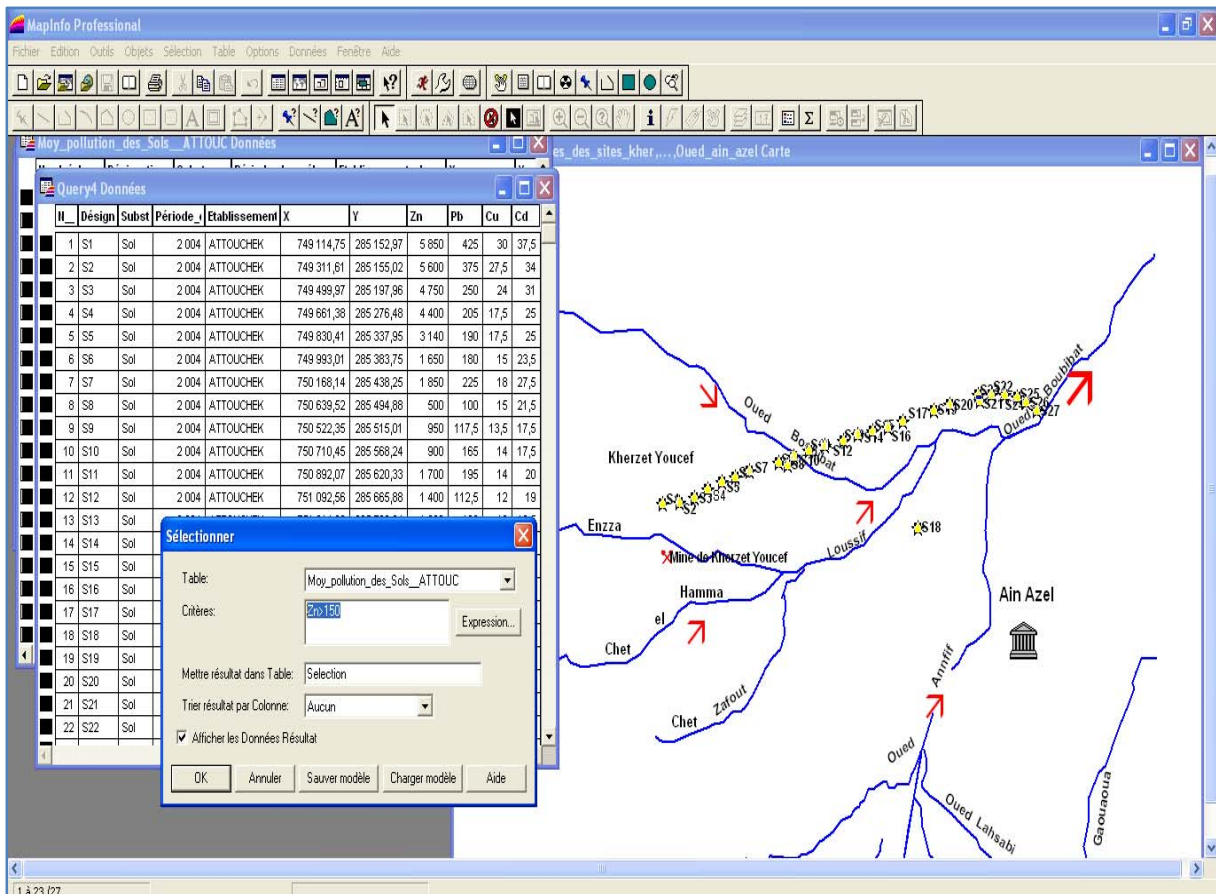


Figure 33 : Opération et affichage des résultats dans les sols (Zn>150 ppm)

IV.7.2.1. Résultats de l'année 2009

L'étude des résultats d'analyses effectuées en 2009 (Bousdira, 2009) ne montre aucune teneur des éléments dépassants les normes admises.

Cette différence dans les résultats entre 2006 et 2009 peut être expliquée par l'arrêt de l'usine de traitement de la mine de Kherzet Youcef depuis 2006.

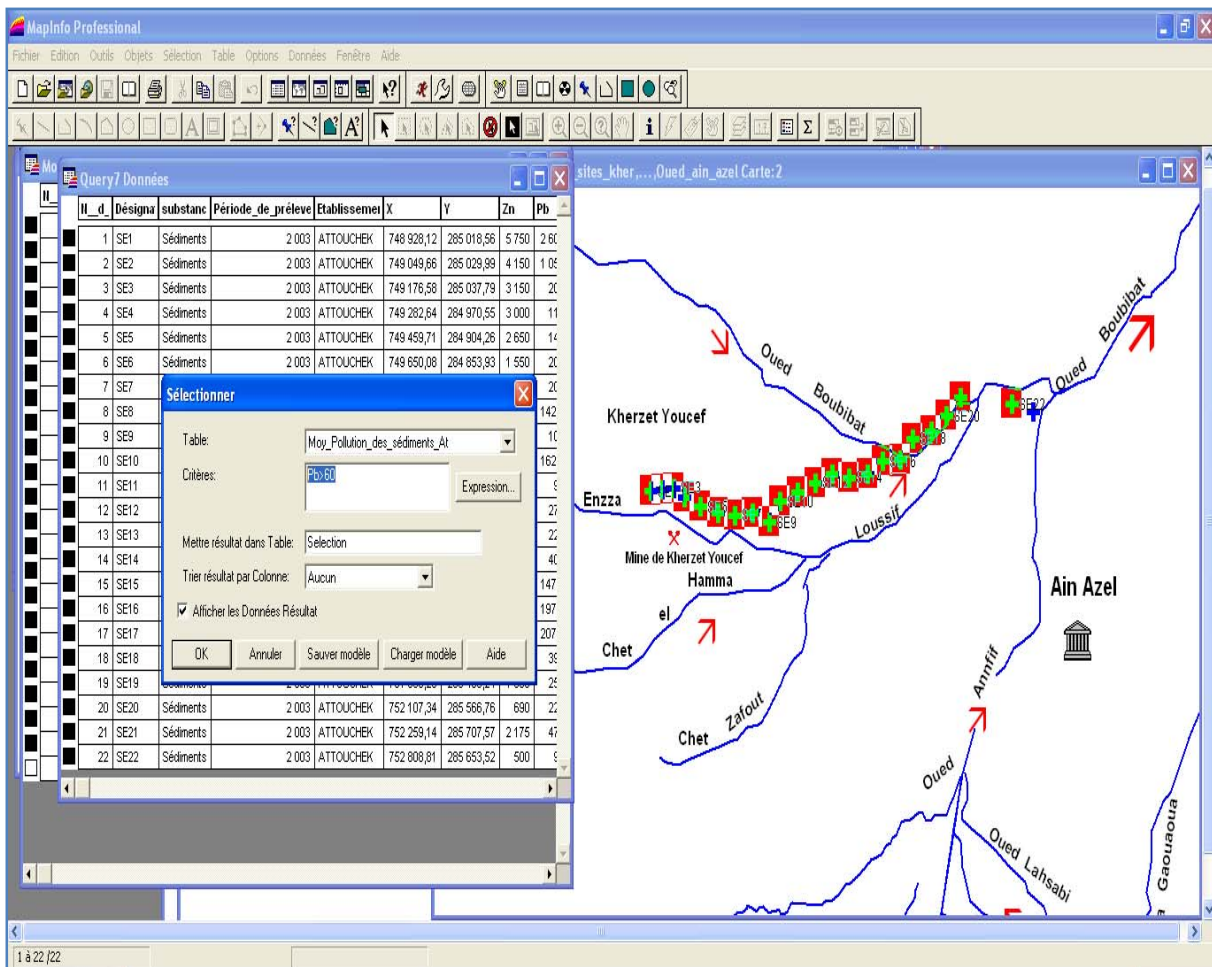
**IV.7.3. Comparaison des résultats d'analyse des sédiments avec les normes**

Concernant les sédiments, on compare les résultats d'analyses des sédiments obtenus par Attoucheik et Bousdira avec les normes AFNOR, le Plomb dont les normes est égale à 60 mg/Kg ou (ppm), pour le Zinc est de 150 ppm.

**IV.7.3.1. Résultats de l'année 2006**

La figure 27 représente l'emplacement des points de prélèvement d'échantillons des sédiments qui ont été effectué durant les deux périodes (Attoucheik, 2006). Là aussi, nous prendrons la moyenne des deux périodes sèche et humide.

Les figures 34 et 35 montrent les opérations et les résultats obtenus.

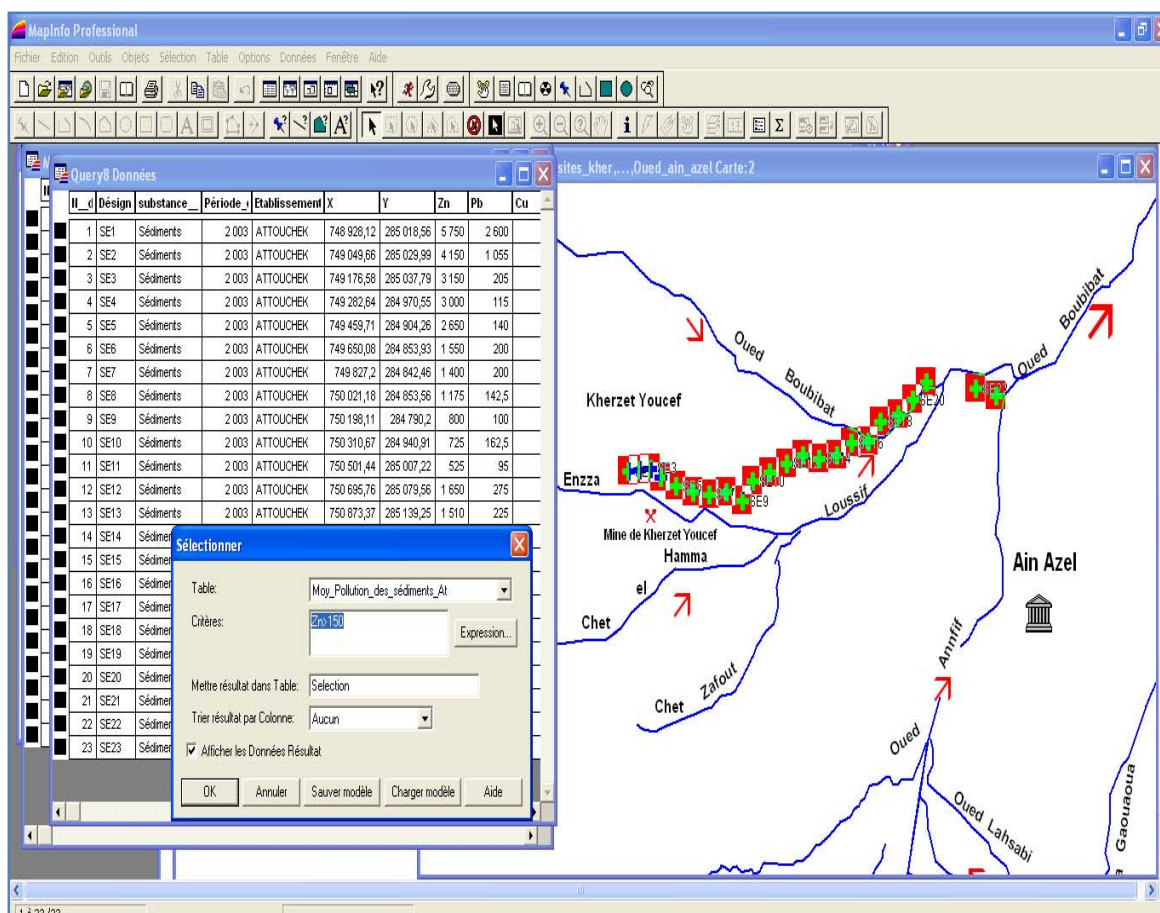


**Figure 34 :** Opération et affichage des résultats dans les sédiments, (Pb>60 ppm)

La figure 34 montre des teneurs très élevées en plomb dans les sédiments échantillonnés en 2006 (Attoucheik, 2006), et dans les valeurs sont supérieures aux normes admises (60 ppm), dans tous les points de prélèvement, en atteignant jusqu'à 2600 ppm (point 1) dans la mine de Kherzet Youcef.



La figure 35 représente aux mêmes endroits des concentrations très élevées en zinc, et qui sont supérieures aux normes admises (150 ppm), avec une valeur maximale de 5750 ppm.



**Figure 35 :** Opération et affichage des résultats dans les sédiments (Zn>150 ppm)

#### IV.7.3.1. Résultats de l'année 2009

La figure 28 représente l'emplacement des points de prélèvement d'échantillons des sédiments qui ont été effectués en 2009 (Bousdira, 2009).

La figure 36 concerne la comparaison des résultats obtenus (Bousdira, 2009).

Ces résultats ne montrent qu'un seul échantillon, où la teneur de Zn est supérieure aux normes admises.

Cette différence aux résultats entre 2006 et 2009 est due aussi probablement à l'arrêt de l'usine de traitement de la mine de Kherzet Youcef en 2006.

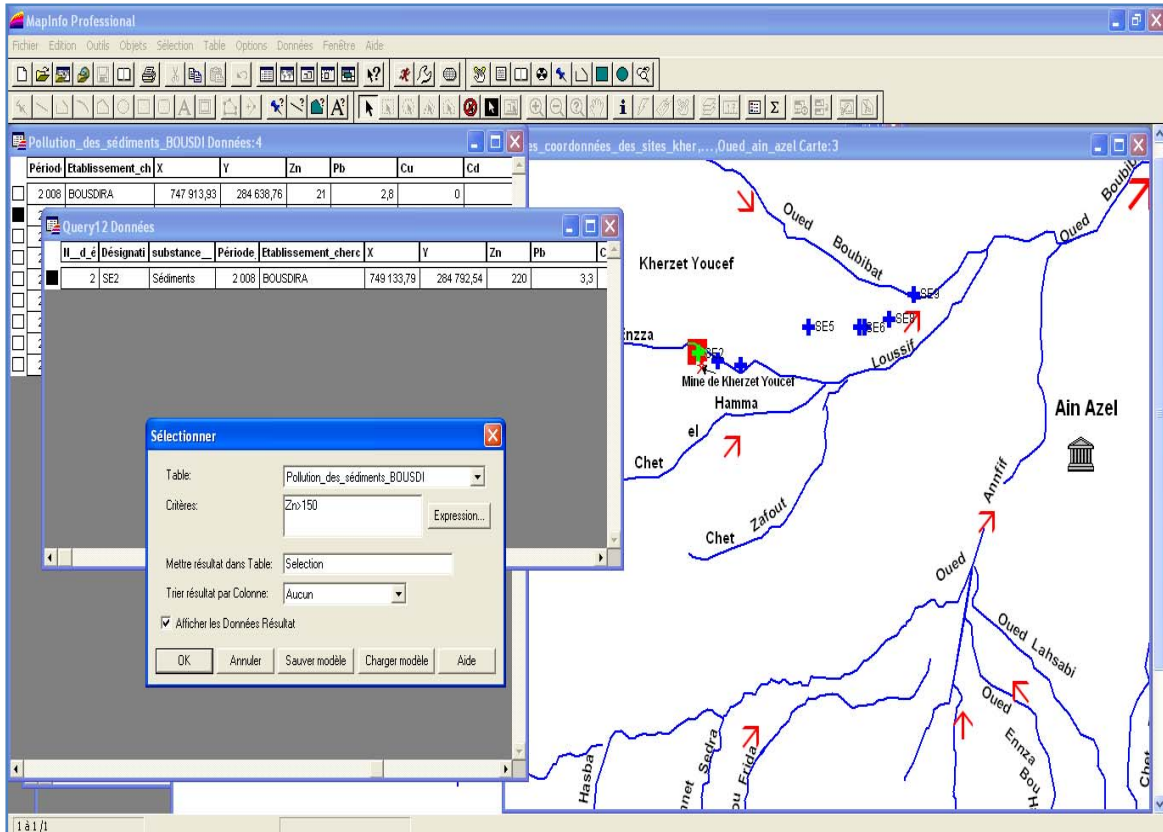


Figure 36 : Opération et affichage des résultats dans les sédiments (Zn>60 ppm)

#### IV.8. Cartographie des éléments en traces

Pour cartographier la distribution spatiale des polluants étudiés dans la zone d'Ain Azel, nous avons utilisé le logiciel « Surfer 9 »

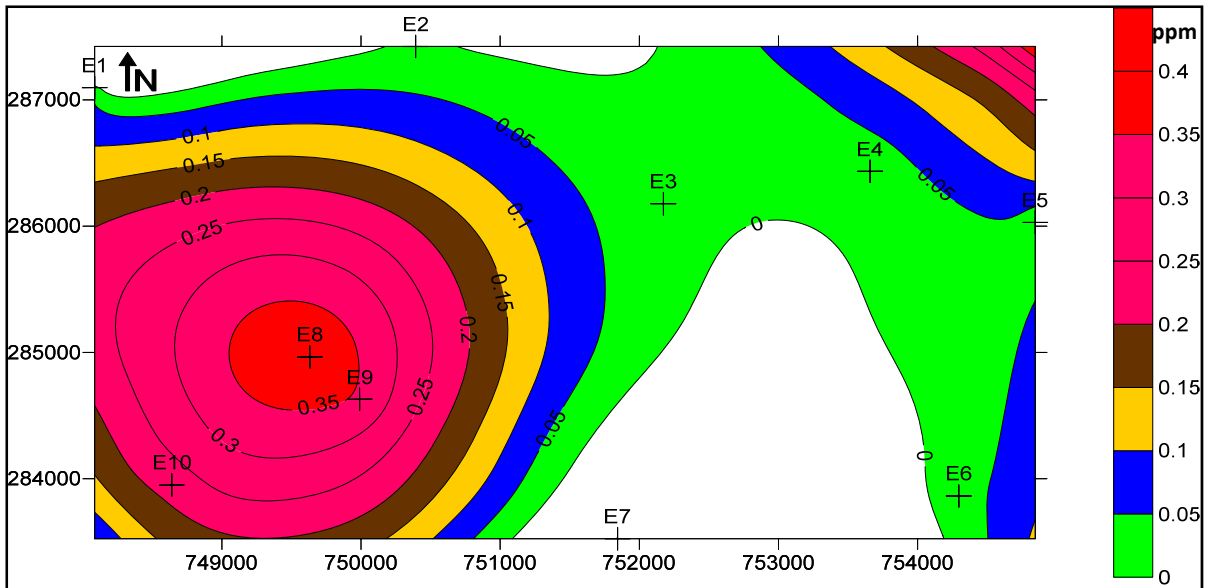
Les données traitées sont les résultats d'analyses de 2006 (Attoucheik, 2006) car elles représentent des teneurs en plomb et zinc élevées ; les résultats de l'année 2009 ne présentent pas des teneurs dépassant les normes admises.

La visualisation des résultats sous forme cartographique constitue, en quelque sorte, la finalité de la démarche d'évaluation de la qualité des eaux, des sols et sédiments dans la zone d'étude (figure 27).

La distribution spatiale sera analysée pour chaque élément dans l'eau, les sols et dans les sédiments.

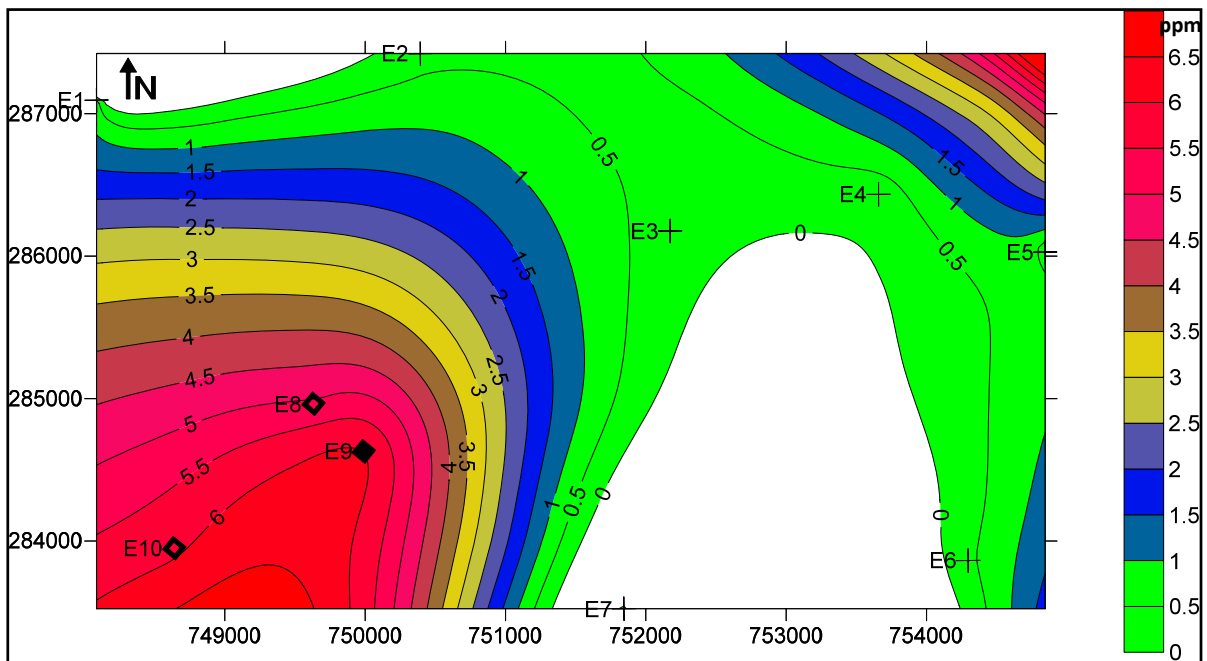
##### IV.8.1. Analyse de la répartition spatiale des éléments traces dans l'eau

Comme nous l'avons déjà cité, dix points de prélèvements (E1 à E10) ont été utilisés pour l'analyse de l'eau (figure 31) : les sept premiers points ont été prélevés dans la nappe Mio-Plio-Quaternaire, E8 dans la nappe barrémienne (puits de la mine), E9 dans l'oued Enza et E10 a été pris dans la digue de tailings.



**Figure 37 :** Distribution spatiale du Plomb dans l'eau au niveau d'Ain Azel

Il ressort de l'analyse de la concentration du Plomb qu'elle est en général décroissante en s'éloignant de la mine de kherzet Youcef où la valeur maximale se situé à E8, point de prélèvements du puits de la mine.

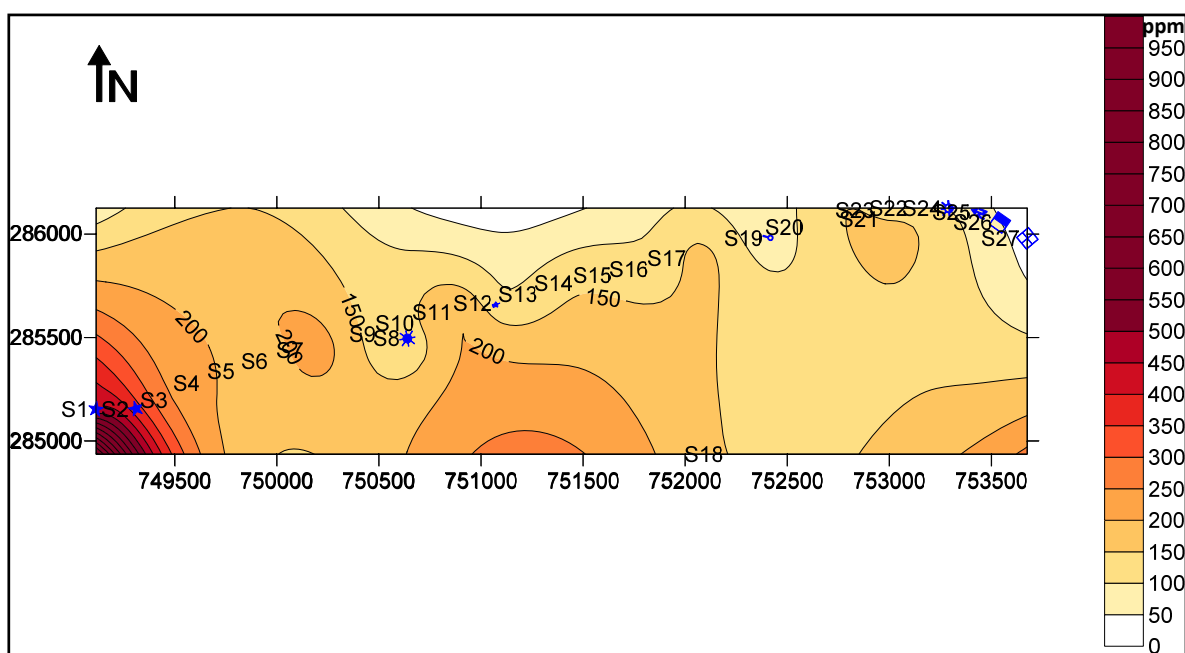


**Figure 38 :** Distribution spatiale du Zinc dans l'eau au niveau d'Ain Azel

Les concentrations du zinc les plus élevées se trouvent dans la partie occidentale de la zone d'étude (Kherzet Youcef) au niveau de l'Oued Ennza (E9 et E10) et de la digue, et dans la partie orientale (Ain Azel), alors la zone centrale est caractérisée par des concentrations faibles.

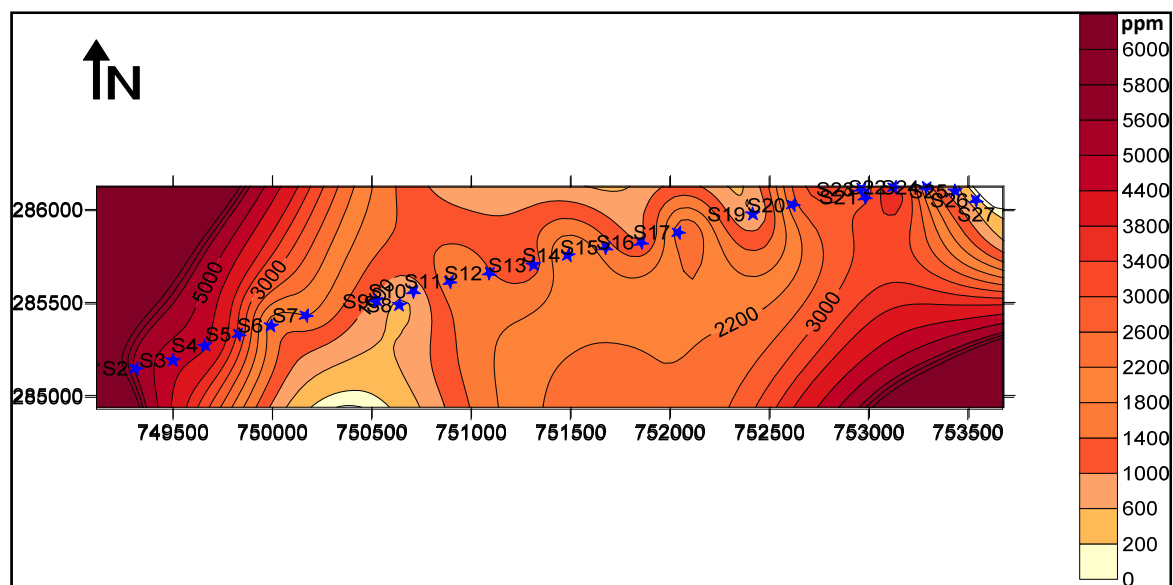
#### *IV.8.2. Analyse de la répartition spatiale des éléments en traces dans les sols*

Concernant l'analyse des sols, vingt sept points de prélèvement ont été utilisés pour l'analyse des sols, (S1 à S27), situés en aval à partir du puits de la mine, à proximité de la digue dans le sens des vents (figure 27).



**Figure 39 :** Distribution spatiale du plomb dans les sols au niveau d'Ain Azel

Les teneurs maximales du plomb se trouvent au niveau du point S1, dans la région de Kherzet Youcef.



**Figure 40 :** Distribution spatiale du Zinc dans les sols au niveau d'Ain Azel

Les concentrations les plus élevées se situent dans la partie orientale de la zone d'étude autour des points S1 et S2 jusqu'au point S5 où la teneur du zinc dépasse 4000 ppm ; pour les autres points de prélèvement les teneurs sont près de 3000 ppm.

### Conclusion

Les résultats d'analyses des eaux, des sols et des sédiments obtenus en 2006, montrent une contamination des eaux superficielles et souterraines par les éléments métalliques en traces liés principalement à l'exploitation du gisement polymétallique du Plomb-zinc de Kherzet Youcef.

Les résultats d'analyses des eaux de la mine de Kherzet Youcef, des rejets industriels et de la digue déversées dans l'Oued Ennza ont présenté des valeurs très élevées en Plomb et en Zinc, contrairement aux valeurs trouvées ailleurs dans la plaine d'Ain Azel, mais ces résultats ne sont pas représentatifs parce que le prélèvement des échantillons reste insuffisant au niveau de la mine de Chaâbet El Hamra.

En parallèle, les résultats d'analyse des sédiments et des sols présentent des teneurs de Plomb et de Zinc dépassant les normes dans tous les points de prélèvements, principalement le long de l'Oued Ennza.

D'autre part, lorsque le facteur de transport de ces polluants est fortement disponible, le risque de contamination des eaux peut être plus important, surtout pour les eaux de surface de l'Oued Ennza, qui se trouve à côté de la mine de Kherzet Youcef et l'Oued Lahbabi près de la mine de Chaâbet el Hamra.

## **CONCLUSION GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

---

Le suivi spatiotemporel de la pollution de la nappe d'eau ou bien des sols est une opération coûteuse en temps et en argent. La plaine d'Ain Azel par son importance en substance minière d'un côté et d'une masse d'eau énorme a fait l'objet de multiples sorties, analyses et études durant plusieurs années.

Une analyse diachronique n'est pas facile sans avoir les résultats des différentes études rassemblés dans un seul répertoire et sous le même format.

Nous avons commencé notre travail par le rassemblement le maximum de données et l'utilisation du Système d'Information Géographique pour la représentation de la répartition hydrologique. Ensuite, on s'est intéressé au suivi spatiotemporel de la pollution des eaux de surface et souterraines, ainsi que la pollution des sols dans la région d'Ain Azel.

Pour cela, on a effectué le dépouillement des données telles que les données en format numérique de l'ANRH et celui des différents chercheurs en format données qualitatives. La transformation des données en format numérique utilisable a commencé par la création d'une banque de données sous Excel. Pour l'utilisation de l'approche de SIG, nous étions obligés de passer par plusieurs étapes : d'abord par la géoréférence et la digitalisation des données en format "raster" notamment la carte topographique d'ampère et l'extraction des données à connaître, la digitalisation des oueds, des chotts et les courbes de niveaux qui étaient compliquées d'après les reliefs que forment le bassin versant naturel de la région, ceci pour pouvoir montrer le sens d'écoulement.

Les données en format numérique sont présentées sous forme de tableau individuels en Excel (ouvrage, type d'ouvrage, désignation, profondeur, métaux...), la projection de ces points d'eau a été effectuée par la projection Lambert Nord Algérie Voirol 1960.

Pour l'analyse par le SIG et en raison de l'absence de la géolocalisation des points de prélèvement effectués par l'ANRH et d'autres travaux précédents, nous avons pris les études qui ont été effectués par d'autres (Attoucheik, 2006 et Bousdira, 2009).

Ces données nous ont permis d'établir des comparaisons des teneurs des éléments métalliques en traces avec les normes. Pour cela, des requêtes de sélection sur la table des résultats d'analyses sont introduites pour la comparaison afin de permettre l'affichage



## **CONCLUSION GENERALE**

---

et la détermination des endroits contaminés par ces métaux. Par la suite, nous avons cartographié ces résultats à l'aide du logiciel "Surfer".

Nos conclusions sur cette étude sont les suivantes :

- Une densité forte des ouvrages de prise d'eau (176 points dans cette étude) dans la plaine d'Ain Azel ce qui veut dire une consommation élevée en eau ;
- Contamination des cours d'eaux par le Plomb-Zinc au niveau d'Oued Ennza ;
- Contamination des eaux souterraines par le Plomb-Zinc au niveau de la mine de Kherzet Youcef ;
- Contamination des sols par le Plomb-Zinc au niveau de la mine de Kherzet Youcef et les sols les plus proches de la digue ; ainsi que certaines parcelles irriguées par les cours d'eaux qui reçoivent les eaux provenant de la digue par ravinement.

Dans le futur, il serait intéressant de faire une étude relative à la contamination des eaux et les sols par les polymétaux en utilisant le SIG sur toute la plaine d'Ain Azel.

L'utilisation des SIG nous paraissent utiles dans les études concernant l'environnement et particulièrement la pollution des mines.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**ATTOUCHEIK L., 2006.** Etude géochimique des rejets du complexe Minier de kherzet Yousef (Sétif) et son impact sur l'environnement. Mémoire de Magister USTHB.

**ANGCM., 2010.**Rapport géologique du gisement des argiles de theniet el-Louz Sekrine (Sétif).

**ANPM., 2009.** Rapport de situation géologique et géographique de Kherzet Yousef.

**ANRH., 2004 .**Résultat d'analyse de l'eau, Qualité de la ressource hydrique de la mine de kherzet Yousef.

**ANRH.** Inventaire des points d'eau 1974.

**ANRH.** Inventaire des points d'eau 2003.

**ATHAMENA M., 2006.** Étude des ressources thermales de l'ensemble allochtone sud sétifien Mémoire de Magister, Université de Batna.

**BELKHIRI L., 2004.** Étude hydrogéologique et problème de La qualité des eaux souterraines de la Plaine d'Ain Azel "wilaya de Sétif est algérien". Mémoire de Magister université hadj Lakhdar Batna.

**BELKHIRI N., 2007.**les points d'eau dans la plaine d'Ain Azel. ANRH

**BOUCENNA A et BELABBAS M.S., 2006.** Rapport technique « Etude agro-pédologique » ANRH.

**BOUSDIRA D., 2009.** Etude des impacts des activités d'exploitation des mines polymétallique (Pb-Zn) sur l'environnement de la région de kherzet Yousef (wilaya de Sétif) .Mémoire de Magister ENP.

**BOUTALEB A., 2001.** Les minéralisations à Pb-Zn du domaine sétifienne-Hodna : gitologie, pétrographie des dolomies, micro-thermométrie et implications metallogeniques Thèse de Doctorat USTHB.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**CHEDDAD S., 2009.** Apport de l'étude hydrogéologique dans l'étude et le traitement des glissements de terrains cas du site de Bouгаа. Algérie Nord Orientale mémoire de magistère Université de Mentouri de Constantine.

**CNEPRU., 2007.** Rapport final d'un projet, *Etude du cycle global : Rejets, Contamination et Prélèvements* auxquels sont soumis les champs captants des plaines d'El Madher et Gadaine destinés à l'AEP de la ville de Batna.

**DJEMMAL S., 2009.** L'effet de la sebkha sur la qualité des eaux souterraines dans la partie sud-est de Sétif cas du guidjal. Mémoire de magistère Université de Mentouri de Constantine.

**ENOF., 2010.** Exploitation de la partie inférieure Du gisement de Chaâbet-el-Hamra.

**Eric G ; christian M ; Jacques Mudry D., 2004.** Hydrogéologie, méthodes, applications : 2<sup>e</sup> cycle/Master.capa.agrégation. Paris.

**François Renard 2002 ;** Master professionnel-DESS cours d'hydrogéologie.

**GASTANY G., 1<sup>er</sup> édition : 2<sup>e</sup> trimestre. 1982.** Principes et méthodes de l'hydrogéologie Paris.

**Général des Mines ., 2008.** Rapports d'exploitation Mine de Kherzet-youcef/Chaâbet-el-Hamra.

**Général des Mines ., 2008.** Étude technico-économique de la partie inférieure du gisement de Chaâbet El Hamra.

**Gilliot J-M., 2000.** Introduction aux SIG Systèmes d'informations géographiques. Institut national agronomique paris-grignon.

**IAAT 2003.** Cahier méthodologique sur la mise en œuvre d'un SIG.

**José Miguel SORIA UGALDE ., 2003.** Identification des paramètres hydrodynamiques du sol Par modélisation inverse des flux d'infiltration : Application aux échelles locale et hydrologique.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**KHENNICHE M., 2009.** Projet d'exploitation de la partie inférieure du gisement de zinc de Chaâbet-El-Hamra (Ain-Azel- Sétif).Mémoire de fin d'études. ENP.

**LAGAB R et BELHAMRA F ., 2009.** Distribution géographique de l'offre de transport collectif par bus dans la wilaya d'Alger Utilisation d'un système d'information géographique (SIG) Mémoire de fin d'études. ISFF, Alger.

**Matías Miguel Salvarredy Aranguren., 2008.** Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers. Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique

**MEDKOUR N., 1995.** Influence des eaux minières sur les sols et contamination par le plomb et le zinc dans la région d'Ain Azel (wilaya de Sétif). Mémoire de Magister INA.

**MENNAD M., 2008.** Approche des Systèmes d'Informations Géographique (SIG) pour l'analyse spatio-temporelle de la pollution marine des eaux côtières application la baie d'Alger. Mémoire de Magister USTHB.

**Notice explicative, n° 143** de la carte géologique au 1/50 000 Ain Azel, Ex-Ampère (première édition).

**OUJDET A et RABIA A., 2008.** Conception et réalisation d'un système d'information géographique (S.I.G) pour l'aide à la gestion des ressources en eau. Mémoire de fin d'études. I.N.I Oued-Smar, Alger.

**P.D.A.U ., 1997.** « Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme ».Rapport d'orientation commune d'Ain Azel.

**REZIGAT N et IMCHAL K., 2003.** Contribution à l'étude des problèmes environnementaux et de sécurité sur l'exemple de la mine souterraine de Chaâbet El-Hamra (Ain Azel, Wilaya de Sétif).

**TECHNIQUE D'INGENIEUR., 2009.** Systèmes d'Information Géographique : outil d'aide à la gestion territoriale.

**ANNEXE**

## Annexe. A : Forages

N°	No_Ouvrage	Designation	code_sbv	Type_ouvrage	X_Lamb	Y_Lamb	Date_Fin	Prof_Totale	nom_sbv	Date	Niveau de l'eau
1	F010-00447	AIN AZEL AMPERE S 1	0701	forage	754300,00	283275,00		20,45	Chott Beida		
2	F010-00448	AIN AZEL AMPERE S2	0701	forage	754300,00	283275,00		18,45	Chott Beida		
3	F010-00481	AIN AZEL AMPERE S3	0701	forage	754300,00	283275,00		23	Chott Beida		
4	F010-00482	AIN AZEL AMPERE S4	0701	forage	754300,00	283275,00		20,35	Chott Beida		
5	F010-00483	AIN AZEL AMPERE S5	0701	forage	754300,00	283275,00		20	Chott Beida		
6	F010-00738	AIN AZEL	0701	forage	753700,00	283100,00	30/06/1990	230	Chott Beida		
7	F010-06145	Abed Abdelhamid	0701	forage	754980,00	285643,00	01/01/2001	70	Chott Beida	24/12/2002	32,00
8	F010-06151	Nekaà Zaidi	0701	forage	754482,00	286778,00	01/01/1995	85	Chott Beida		
9	F010-06153	Nekaà A E K	0701	forage	754750,00	285975,00	01/01/1997	0	Chott Beida		
10	F010-06154	Nekaà A E K	0701	forage	754750,00	286175,00	01/01/2001	0	Chott Beida		
11	F010-06157	Kaabeche Messaoud	0701	forage	755025,00	287775,00	01/01/1997	105	Chott Beida		
12	F010-06159	Bouchiha Mbarek	0701	forage	754925,00	287750,00	01/01/2001	100	Chott Beida		
13	F010-06160	Djaarane Youcef	0701	forage	754748,00	287851,00	01/01/2001	105	Chott Beida		
14	F010-06161	Djaarane A E R	0701	forage	755150,00	287900,00	01/01/1996	105	Chott Beida		
15	F010-06163	Ould Bourahla Ben	0701	forage	755100,00	288175,00	01/01/2001	100	Chott Beida		
16	F010-06164	Koussa Maamar	0701	forage	755150,00	288250,00	01/01/1997	100	Chott Beida		
17	F010-06478	Touil Bakhouché	0701	forage	755050,00	288325,00	01/01/2001	100	Chott Beida		
18	F010-06482	Ben Kacem Hachemi	0701	forage	754900,00	287675,00	01/01/2010	100	Chott Beida		
19	F010-06484	Oussassi Amar	0701	forage	754760,00	286588,00	01/01/1999	85	Chott Beida	26/12/2002	22,00
20	F010-06485	Latreche Djemai	0701	forage	754835,00	286590,00	01/01/2002	100	Chott Beida		
21	F010-06486	Aittou Mbarek	0701	forage	754348,00	284326,00	01/01/1996	100	Chott Beida	26/12/2002	37,00
22	F010-06487	Aittou Mbarek	0701	forage	754675,00	284700,00	01/01/2010	80	Chott Beida		
23	F010-06489	Aittou Mbarek	0701	forage	754550,00	284550,00	01/01/1996	80	Chott Beida		
24	F010-06490	Maamache Salah	0701	forage	754650,00	285350,00	01/01/1963	33	Chott Beida		
25	F010-06492	Saghari Mohamed	0701	forage	753800,00	286650,00	01/01/2002	60	Chott Beida		
26	F010-06494	Guelati Lahcen Ben	0701	forage	753636,00	286401,00	01/01/2001	120	Chott Beida		
27	F010-06501	Daamouche Rabah	0701	forage	754101,00	284680,00	01/01/2001	127	Chott Beida		
28	F010-06508	Benouioua Khelifa	0701	forage	752000,00	283200,00	01/01/1996	70	Chott Beida		
29	F010-06512	Ben Kaaloul	0701	forage	752700,00	290900,00	01/01/1992	70	Chott Beida		
30	F010-06513	Ketfi Rabah	0701	forage	752750,00	290900,00	01/01/1997	60	Chott Beida		
31	F010-06515	Ketfi Seddik	0701	forage	752104,00	290795,00	01/01/2000	95	Chott Beida		
32	F010-06516	Ketfi Khoudir Ben Chellali	0701	forage	751998,00	290114,00	01/01/1999	80	Chott Beida		
33	F010-06520	Ben Saoucha Dhouibi	0701	forage	753000,00	290000,00	01/01/1998	80	Chott Beida		
34	F010-06521	Koussa Ahmed	0701	forage	752105,00	289902,00	01/01/2000	120	Chott Beida		
35	F010-06522	Koussa Rachid Ben Hadj	0701	forage	752875,00	290225,00	01/01/2002	115	Chott Beida		
36	F010-06523	Alliet Amar Bel Hadj	0701	forage	752775,00	290000,00	01/01/1998	115	Chott Beida		
37	F010-06524	Djadour Aissa Ben	0701	forage	752115,00	289563,00	01/01/1998	0	Chott Beida		



38	F010-06525	Merabai Seghir Ben	0701	forage	752300,00	289350,00	01/01/1998	100	Chott Beida		
39	F010-06528	Bouchiha Messaoud	0701	forage	752025,00	289100,00	01/01/2002	65	Chott Beida		
40	F010-06529	Bouchiha	0701	forage	752641,00	289578,00	01/01/2002	44	Chott Beida	12/01/2003	41,00
41	F010-06530	Djabbar Kamel Ben	0701	forage	752050,00	288650,00	01/01/2002	93	Chott Beida		
42	F010-06531	Hebirat Ammar	0701	forage	751850,00	288850,00	01/01/1999	100	Chott Beida		
43	F010-06532	Dhyab Hocine	0701	forage	752157,00	288948,00	01/01/2002	100	Chott Beida		
44	F010-06533	Dhyab Abdelhamid	0701	forage	752300,00	288850,00	01/01/1999	100	Chott Beida		
45	F010-06536	Dhyab Khouthir	0701	forage	752600,00	289269,00	01/01/1999	80	Chott Beida		
46	F010-06538	Dhyab Salah	0701	forage	752800,00	289250,00	01/01/2001	80	Chott Beida		
47	F010-06539	Dhyab Menaouar	0701	forage	753000,00	289200,00	01/01/2001	80	Chott Beida		
48	F010-06540	Djeddou Amar	0701	forage	753150,00	289315,00	01/01/2002	150	Chott Beida	13/01/2003	30,00
49	F010-06542	Benouia Naamane	0701	forage	753400,00	289150,00	01/01/1999	94	Chott Beida		
50	F010-06729	Benouia Rachid	0701	forage	753625,00	289200,00	01/01/2010	0	Chott Beida		
51	F010-06734	Benouia Lakhdar	0701	forage	753500,00	289475,00	01/01/2000	80	Chott Beida		
52	F010-06735	Benouia Rabah	0701	forage	753550,00	289425,00	01/01/1997	80	Chott Beida		
53	F010-06736	Messalti Hocine	0701	forage	753600,00	289475,00	01/01/1993	110	Chott Beida		
54	F010-06740	Bouaziz Ahmed	0701	forage	753150,00	290000,00	01/01/2010	0	Chott Beida		
55	F010-06741	Sbaia El Eulmi	0701	forage	752950,00	288675,00	01/01/1999	0	Chott Beida		
56	F010-06742	Ben Saouacha	0701	forage	752900,00	288600,00	01/01/2000	90	Chott Beida		
57	F010-06746	Djebbar Said Ben	0701	forage	753375,00	288750,00	01/01/2002	100	Chott Beida		
58	F010-06748	Senoussi Moussa	0701	forage	753250,00	288455,00	01/01/2002	67	Chott Beida		
59	F010-06752	Ben Kamir Messaoud	0701	forage	752275,00	287650,00	01/01/1999	80	Chott Beida		
60	F010-06754	Madassi Abdellah	0701	forage	752350,00	287850,00	01/01/2001	60	Chott Beida		
61	F010-06755	Ben Kamir Boudjemaa	0701	forage	752140,00	287807,00	01/01/2002	160	Chott Beida	16/01/2003	37,00
62	F010-06757	Ben Kamir Boudjemaa	0701	forage	752475,00	287850,00	01/01/2002	160	Chott Beida		
63	F010-06759	Djebbar Said	0701	forage	752125,00	287850,00	01/01/2002	35	Chott Beida	16/01/2003	25,00
64	F010-06761	El Aidoudi Abdelouahab	0701	forage	750043,00	288302,00	01/01/1998	80	Chott Beida		
65	F010-06764	Rahba Keddour	0701	forage	751450,00	286375,00	01/01/2010	0	Chott Beida		
66	F010-06765	Moulin Sekrine	0701	forage	753340,00	286208,00	01/01/2001	80	Chott Beida	18/01/2003	31,00
67	F010-06766	Communal	0701	forage	750546,00	290514,00	01/01/1988	200	Chott Beida		
68	F010-06767	Communal	0701	forage	750600,00	290575,00	01/01/1990	0	Chott Beida		
69	F010-06770	Bouraghda Baghdadi	0701	forage	753000,00	283350,00	01/01/2002	140	Chott Beida		
70	F010-06776	Taalla Moussa	0701	forage	753325,00	281800,00	01/01/2002	150	Chott Beida		
71	F010-06779	Hammou Taalla	0701	forage	754347,00	280905,00	01/01/2002	50	Chott Beida		

**Annexe. B : Puits**

N°	No_Ouvrage	Designation	code_sbv	Type_ouvrage	X_Lamb	Y_Lamb	Date_Fin	Prof_Totale	nom_sbv	Date	Niveau de l'eau
1	F010-06143	Metarouech Ahmed	701	puits	753950,00	285625,00	01/01/2010	40	Chott Beida	24/12/2002	32,00
2	F010-06144	Abed Abdelhamid	0701	puits	754890,00	286437,00	01/01/1970	39	Chott Beida	24/12/2002	32,00
3	F010-06146	Abed Rabah	0701	puits	753940,00	285424,00	01/01/1983	36	Chott Beida	24/12/2002	31,00
4	F010-06147	Chouater A E K	0701	puits	754100,00	285525,00	01/01/1983	35	Chott Beida	24/12/2002	31,00
5	F010-06148	Abed Laid	0701	puits	754025,00	285425,00	01/01/1991	35	Chott Beida	24/12/2002	31,00
6	F010-06149	loise El Djemai	0701	puits	753975,00	285350,00	01/01/1980	36	Chott Beida	24/12/2002	32,00
7	F010-06150	Dhiab Ramdane Ben Moussa	0701	puits	753900,00	285350,00	01/01/2010	37	Chott Beida	24/12/2002	32,00
8	F010-06152	Nekaà Zaidi	0701	puits	754530,00	286842,00	01/01/2010	30	Chott Beida	25/12/2002	26,00
9	F010-06155	Saidi Md Ben Lahcene	0701	puits	754900,00	287925,00	01/01/1982	31	Chott Beida	25/12/2002	30,00
10	F010-06156	Benkamir Abdelmadjid	0701	puits	754800,00	287825,00	01/01/1980	32	Chott Beida	25/12/2002	30,00
11	F010-06158	Bouchiha Mbarek	0701	puits	754506,00	287567,00	01/01/1982	29	Chott Beida	25/12/2002	23,00
12	F010-06162	Ould Bourahla Ben Ammar	0701	puits	755075,00	288100,00	01/01/1976	24	Chott Beida	25/12/2002	23,00
13	F010-06477	Bounouara Tahar	0701	puits	755050,00	288200,00	01/01/1982	27	Chott Beida	26/12/2002	26,00
14	F010-06479	Touil Bakhouche	0701	puits	754784,00	288345,00	01/01/1981	28	Chott Beida	26/12/2002	25,00
15	F010-06480	Ben Kacem Hachemi	0701	puits	754645,00	287419,00	01/01/1992	30	Chott Beida	26/12/2002	22,00
16	F010-06481	Ben Kacem Hachemi	0701	puits	754800,00	287650,00	01/01/1962	13	Chott Beida	26/12/2002	12,00
17	F010-06483	Medhkour Moussa	0701	puits	754900,00	287500,00	01/01/1984	25	Chott Beida	26/12/2002	22,00
18	F010-06488	Ben Yahia Mbarek	0701	puits	754544,00	284486,00	01/01/1992	21	Chott Beida	27/12/2002	12,00
19	F010-06491	Maamache Mohamed	0701	puits	754351,00	285096,00	01/01/1963	34	Chott Beida		
20	F010-06493	Seghari Mohamed	0701	puits	753800,00	286700,00	01/01/2010	27	Chott Beida	28/12/2002	27,00
21	F010-06495	Krim Amar	0701	puits	753800,00	287625,00	01/01/1970	40	Chott Beida		
22	F010-06496	Ben Choula Salah	0701	puits	752998,00	287616,00	01/01/1972	29	Chott Beida	28/12/2002	24,00
23	F010-06497	Ben Choula Md Tayeb	0701	puits	752718,00	289061,00	01/01/1970	38	Chott Beida	28/12/2002	31,00
24	F010-06498	Ben Choula Salah	0701	puits	753050,00	288150,00	01/01/1980	37	Chott Beida		
25	F010-06499	Mdaci Mohamed Hadi	0701	puits	753200,00	285925,00	01/01/1993	33	Chott Beida	28/12/2002	33,00
26	F010-06500	Daamouche Rabah	0701	puits	752825,00	285225,00	01/01/1965	31	Chott Beida	28/12/2002	30,00
27	F010-06502	Mekhloufi Mohamed	0701	puits	752107,00	285496,00	01/01/1970	35	Chott Beida		
28	F010-06503	Khemissi Djouada	0701	puits	751787,00	283482,00	01/01/1990	16	Chott Beida	29/12/2002	14,00
29	F010-06504	Merzougui	0701	puits	752150,00	283350,00	01/01/1998	18	Chott Beida	29/12/2002	15,00
30	F010-06505	Haguira Abdelkader	0701	puits	752075,00	283350,00	01/01/1992	18	Chott Beida	29/12/2002	15,00
31	F010-06506	Azzedine Chabane	0701	puits	752075,00	283300,00	01/01/1996	19	Chott Beida	29/12/2002	14,00
32	F010-06507	Azzedine Chabane	0701	puits	752125,00	283125,00	01/01/1998	142	Chott Beida		
33	F010-06509	Mechri Moussa	0701	puits	751675,00	283400,00	01/01/2010	21	Chott Beida	29/12/2002	18,00
34	F010-06510	Boussahal Miloud	0701	puits	750640,00	283202,00	01/01/2000	22	Chott Beida	29/12/2002	18,00
35	F010-06511	Hamadi Berkane	0701	puits	750631,00	282647,00	01/01/2010	32	Chott Beida	29/12/2002	29,00
36	F010-06514	Chegaar Cherif	0701	puits	752428,00	290866,00	01/01/2010	22	Chott Beida	30/12/2002	17,00
37	F010-06526	Merabai Nouri	0701	puits	752275,00	289275,00	01/01/1999	44	Chott Beida	10/01/2003	42,00

38	F010-06527	Bouchiha Messaoud Ben	0701	puits	752050,00	289050,00	01/01/2002	45	Chott Beida	10/01/2003	44,00
39	F010-06534	Dhyab Nouri	0701	puits	752259,00	288678,00	01/01/1982	41	Chott Beida	12/01/2003	38,00
40	F010-06535	Dhyab El Djemai	0701	puits	752350,00	288750,00	01/01/1982	38	Chott Beida	12/01/2003	37,00
41	F010-06537	Dhyab Salah	0701	puits	752800,00	289250,00	01/01/1980	32	Chott Beida	12/01/2003	32,00
42	F010-06541	Djeddou Amar	0701	puits	753150,00	289315,00	01/01/1990	32	Chott Beida	13/01/2003	30,00
43	F010-06543	Djeddou Belgacem	0701	puits	753500,00	289325,00	01/01/2010	27	Chott Beida	13/01/2003	27,00
44	F010-06728	Djeddou Belgacem	0701	puits	753500,00	289325,00	01/01/2000	120	Chott Beida		
45	F010-06730	Bouchiha M'barek	0701	puits	753750,00	289200,00	01/01/2010	32	Chott Beida	13/01/2003	32,00
46	F010-06731	Bouchiha Saadoune	0701	puits	753825,00	289225,00	01/01/1987	35	Chott Beida	13/01/2003	33,00
47	F010-06732	Bouchiha Mesbah	0701	puits	753750,00	289275,00	01/01/1992	33	Chott Beida	13/01/2003	32,00
48	F010-06733	Benouia Djemai	0701	puits	753675,00	289350,00	01/01/2010	32	Chott Beida	14/01/2003	30,00
49	F010-06737	Benouia Ammar	0701	puits	753701,00	289362,00	01/01/2002	35	Chott Beida	14/01/2003	26,00
50	F010-06738	Belaifa Ahmed	0701	puits	752618,00	289516,00	01/01/1982	37	Chott Beida	14/01/2003	34,00
51	F010-06739	Beladoui Ammar	0701	puits	753150,00	289800,00	01/01/2010	0	Chott Beida		
52	F010-06743	Djebbar Aissa	0701	puits	753155,00	288489,00	01/01/1982	36	Chott Beida	15/01/2003	33,00
53	F010-06744	Djebbar Mohamed Ben Said	0701	puits	753350,00	288650,00	01/01/2010	34	Chott Beida	15/01/2003	33,00
54	F010-06745	Djebbar Moussa Ben Lakhdar	0701	puits	753300,00	288725,00	01/01/2010	33	Chott Beida	15/01/2003	31,00
55	F010-06747	Senoussi Moussa	0701	puits	753550,00	288550,00	01/01/1985	25	Chott Beida	15/01/2003	25,00
56	F010-06749	Belaifa Ahmed Ben Amar	0701	puits	752911,00	288217,00	01/01/1991	37	Chott Beida	15/01/2003	34,00
57	F010-06750	Hadj Abdelkader	0701	puits	753225,00	288175,00	01/01/1962	32	Chott Beida	15/01/2003	32,00
58	F010-06751	Dhyab El Aid	0701	puits	752400,00	287550,00	01/01/1982	31	Chott Beida	15/01/2003	31,00
59	F010-06753	Dhyab Naserddine	0701	puits	752250,00	287600,00	01/01/1979	29	Chott Beida	16/01/2003	28,00
60	F010-06756	Ben Kamir Boudjemaa	0701	puits	752190,00	287832,00	01/01/1960	35	Chott Beida	16/01/2003	31,00
61	F010-06758	Djebbar Said	0701	puits	752089,00	287678,00	01/01/1965	40	Chott Beida	16/01/2003	37,00
62	F010-06760	Rekah Amar	0701	puits	751900,00	286350,00	01/01/1967	29	Chott Beida	16/01/2003	28,00
63	F010-06762	Douar Keff El Bir	0701	puits	750500,00	287400,00	01/01/2010	4	Chott Beida	16/01/2003	2,00
64	F010-06763	Djamai Keff Bir	0701	puits	750500,00	287400,00	01/01/2010	2	Chott Beida	16/01/2003	1,00
65	F010-06768	Aidoudi Mohamed	0701	puits	749625,00	289225,00	01/01/2010	11	Chott Beida	18/01/2003	9,00
66	F010-06772	Lalloui Khelifa	0701	puits	753425,00	281600,00	01/01/1970	16	Chott Beida	01/01/2010	14,00
67	F010-06774	Lalloui Ahmed	0701	puits	753300,00	281675,00	01/01/1997	18	Chott Beida	01/01/2010	14,00
68	F010-06775	Benouia Ahmed	0701	puits	753325,00	281575,00	01/01/1997	25	Chott Beida	18/01/2003	18,00
69	F010-06777	Rahba Abdelkader	0701	puits	752650,00	282975,00	01/01/2010	21	Chott Beida	01/01/2010	17,00
70	F010-06778	Zebiche Mohamed	0701	puits	751300,00	282800,00	01/01/1999	24	Chott Beida	01/01/2010	23,00
71	F010-06780	Communal	0701	puits	750675,00	281275,00	01/01/2010	21	Chott Beida	01/01/2010	21,00
72	F010-06781	Derbazi Djemai	0701	puits	750574,00	281105,00	01/01/1977	16	Chott Beida	01/01/2010	9,00
73	F010-06788	Benchine Bachir	0701	puits	754480,00	282357,00	01/01/1978	29	Chott Beida	01/01/2010	22,00
74	F010-06789	Khensal Ali	0701	puits	755075,00	282600,00	01/01/1998	18	Chott Beida	01/01/2010	14,00
75	F010-06790	Khensal Salah	0701	puits	754950,00	282617,00	01/01/2002	14	Chott Beida	01/01/2010	9,00
76	F010-06794	Mine de Kherzet Youcef	0701	puits	748632,00	284964,00	01/01/2010	320	Chott Beida		

### Annexe. C : Puits forés

N°	N°_Ouvrage	Désignation	code_sbv	Type_ouvrage	X_Lamb	Y_Lamb	Date_Fin	Prof_Totale	nom_sbv	Date	Niveau de l'eau
1	F010-06517	Rechidi Seddik Ben Mohamed	701	puits foré	752550,00	290350,00	01/01/1990	75	Chott Beida		
2	F010-06518	Sebaia Belgacem Ben Ali	701	puits foré	752750,00	290550,00	01/01/1982	41	Chott Beida		
3	F010-06519	Sebaia Rabia Ben Messaoud	701	puits foré	752700,00	290650,00	01/01/1986	42	Chott Beida		
4	F010-06769	Bouraghda Baghdadi	701	puits foré	752574,00	283165,00	01/01/1993	50	Chott Beida	01/01/2010	16,00
5	F010-06771	Lalloui Khelifa	701	puits foré	753023,00	281514,00	01/01/1999	99	Chott Beida	01/01/2010	18,00
6	F010-06773	Lalloui Khelifa	701	puits foré	753350,00	281675,00	01/01/1980	98	Chott Beida	01/01/2010	19,00
7	F010-06787	Derbazi Mansour	701	puits foré	751500,00	280750,00	01/01/1998	0	Chott Beida		

### Annexe. D : Sources

N°	No_Ouvrage	Désignation	code_sbv	Type_ouvrage	X_Lamb	Y_Lamb	Altitude	Date_Fin	nom_sbv
1	F010-00159	DJEMANA	0701	source	748225,00	282600,00	1050,00	16/11/1950	Chott Beida
2	F010-00165	FATIS	0701	source	746550,00	279775,00	1125,00	16/11/1950	Chott Beida
3	F010-00166	DJEMANA	0701	source	746550,00	282625,00	1050,00	16/11/1950	Chott Beida
4	F010-00167	KAHLA	0701	source	748650,00	283350,00	1000,00	16/11/1950	Chott Beida
5	F010-00175	AZEL	0701	source	754400,00	283225,00	960,00		Chott Beida

### Annexe.E : Piézomètres

N°	No_Ouvrage	Designation	code_sbv	Type_ouvrage	X_Lamb	Y_Lamb	Date_Fin	Prof_Totale	nom_sbv	Date	Niveau
1	F010-06782	ORGM	0701	piézomètre	750550,00	81300,00	01/01/1982	0	Chott Beida		
2	F010-06783	ORGM	0701	piézomètre	750600,00	281425,00	01/01/2010	0	Chott Beida		
3	F010-06784	ORGM	0701	piézomètre	750625,00	281550,00	01/01/2010	0	Chott Beida		
4	F010-06785	ORGM	0701	piézomètre	750275,00	281400,00	01/01/2010	0	Chott Beida		
5	F010-06786	ORGM	0701	piézomètre	750750,00	281700,00	01/01/2010	0	Chott Beida		
6	F010-06791	ENOF Pz3	0701	piézomètre	749100,00	284600,00	01/01/2010	300	Chott Beida	03/03/2003	75,00
7	F010-06792	E N O F Pz1	0701	piézomètre	749100,00	284700,00	01/01/2010	120	Chott Beida		
8	F010-06793	E N O F Pz4	0701	piézomètre	748700,00	285500,00	01/01/2010	0	Chott Beida		

## Annexe. F : Résultats d'analyse de l'eau en 2006

N°	Désignation	Substance	Aquifère /Nappe	Période de prélèvement	Etablissement /Chercheur	X (Lamb)	Y(Lamb)	Zn (mg/l)	Pb (mg/l)	Cu (mg/l)	Cd (mg/l)
1	E1	Eau	Mio-Plio-Quaternaire	2006	Attoucheik	748085,6721	287096,642	0,655	0,035	0,02	0,01
2	E2	Eau	Mio-Plio-Quaternaire	2006	Attoucheik	750392,622	287422,8143	0,505	0,025	0,015	0,01
3	E3	Eau	Mio-Plio-Quaternaire	2006	Attoucheik	752172,6798	286177,7296	0,285	0,015	0,005	0
4	E4	Eau	Mio-Plio-Quaternaire	2006	Attoucheik	753658,3876	286435,0036	0,325	0,025	0	0,01
5	E5	Eau	Mio-Plio-Quaternaire	2006	Attoucheik	754845,4094	286029,7629	0,2	0,02	0,005	0
6	E6	Eau	Mio-Plio-Quaternaire	2006	Attoucheik	754296,3519	283863,3723	0,4	0,03	0,015	0,005
7	E7	Eau	Mio-Plio-Quaternaire	2006	Attoucheik	751843,9245	283524,7216	0,265	0,005	0,01	0,005
8	E8	Eau	Barrémienne (mine de Kherzet Youcef)	2006	Attoucheik	749632,00	284964,00	5,1	0,385	0,025	0,05
9	E9	Eau	Oued Ennza	2006	Attoucheik	749990,00	284630,00	6	0,34	0,015	0,045
10	E10	Eau	Digue des taillings	2006	Attoucheik	748640,00	283950,00	5,9	0,215	0,01	0,035

**Annexe .G: Résultats d'analyse des sols en 2006**

N°	Désignation	Substance	Période de prélèvement	Etablissement /Chercheur	X (Lamb)	Y(Lamb)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
1	S1	Sol	2006	Attoucheik	749114,75	285152,97	5850	425	30	37,5
2	S2	Sol	2006	Attoucheik	749311,61	285155,02	5600	375	27,5	34
3	S3	Sol	2006	Attoucheik	749499,97	285197,96	4750	250	24	31
4	S4	Sol	2006	Attoucheik	749661,38	285276,48	4400	205	17,5	25
5	S5	Sol	2006	Attoucheik	749830,41	285337,95	3140	190	17,5	25
6	S6	Sol	2006	Attoucheik	749993,01	285383,75	1650	180	15	23,5
7	S7	Sol	2006	Attoucheik	750168,14	285438,25	1850	225	18	27,5
8	S8	Sol	2006	Attoucheik	750639,52	285494,88	500	100	15	21,5
9	S9	Sol	2006	Attoucheik	750522,35	285515,01	950	117,5	13,5	17,5
10	S10	Sol	2006	Attoucheik	750710,45	285568,24	900	165	14	17,5
11	S11	Sol	2006	Attoucheik	750892,07	285620,33	1700	195	14	20
12	S12	Sol	2006	Attoucheik	751092,56	285665,88	1400	112,5	12	19
13	S13	Sol	2006	Attoucheik	751314,02	285709,24	1300	130	12	16,5
14	S14	Sol	2006	Attoucheik	751487,14	285761,12	2150	140	14	17,5
15	S15	Sol	2006	Attoucheik	751678,74	285801,99	1475	130	14	20
16	S16	Sol	2006	Attoucheik	751856,14	285829,66	1050	120	13,5	17,5
17	S17	Sol	2006	Attoucheik	752041,80	285882,41	2500	165	15,5	20
18	S18	Sol	2006	Attoucheik	752224,35	284936,48	2400	150	15	16,5
19	S19	Sol	2006	Attoucheik	752417,42	285981,76	650	75	15	17,5
20	S20	Sol	2006	Attoucheik	752619,15	286031,36	2500	120	16	18
21	S21	Sol	2006	Attoucheik	752982,02	286071,87	2850	147,5	15	19
22	S22	Sol	2006	Attoucheik	753127,77	286125,63	3150	122,5	16,5	15
23	S23	Sol	2006	Attoucheik	752964,13	286117,20	2700	125	15	16,5
24	S24	Sol	2006	Attoucheik	753291,39	286124,58	1400	95	14,5	15
25	S25	Sol	2006	Attoucheik	753435,64	286104,59	650	67,5	12,5	11
26	S26	Sol	2006	Attoucheik	753541,30	286056,38	400	55	12	9
27	S27	Sol	2006	Attoucheik	753675,68	285979,45	190	40	10	5

## Annexe. H : Résultats d'analyse des sédiments en 2006

N°	Désignation	Substance	Période de prélèvement	Etablissement/Chercheur	X (Lamb)	Y(Lamb)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
1	SE1	Sédiments	2006	Attoucheik	748 928,12	285 018,56	5750	2600	37	40
2	SE2	Sédiments	2006	Attoucheik	749 049,66	285 029,99	4150	1055	35	36
3	SE3	Sédiments	2006	Attoucheik	749 176,58	285 037,79	3150	205	33	29
4	SE4	Sédiments	2006	Attoucheik	749 282,64	284 970,55	3000	115	30	25
5	SE5	Sédiments	2006	Attoucheik	749 459,71	284 904,26	2650	140	22,5	24
6	SE6	Sédiments	2006	Attoucheik	749 650,08	284 853,93	1550	200	16,5	22
7	SE7	Sédiments	2006	Attoucheik	749 827,20	284 842,46	1400	200	15	21
8	SE8	Sédiments	2006	Attoucheik	750 021,18	284 853,56	1175	142,5	14	20,5
9	SE9	Sédiments	2006	Attoucheik	750 198,11	284 790,20	800	100	16	17,5
10	SE10	Sédiments	2006	Attoucheik	750 310,67	284 940,91	725	162,5	15	17,5
11	SE11	Sédiments	2006	Attoucheik	750 501,44	285 007,22	525	95	15	15,5
12	SE12	Sédiments	2006	Attoucheik	750 695,76	285 079,56	1650	275	19	20,5
13	SE13	Sédiments	2006	Attoucheik	750 873,37	285 139,25	1510	225	18	18,5
14	SE14	Sédiments	2006	Attoucheik	751 056,91	285 114,79	2250	400	21	22,5
15	SE15	Sédiments	2006	Attoucheik	751 254,33	285 142,04	1025	147,5	16,5	19
16	SE16	Sédiments	2006	Attoucheik	751 419,18	285 237,40	650	197,5	16,5	18,5
17	SE17	Sédiments	2006	Attoucheik	751 606,46	285 248,53	990	207,5	17,5	18
18	SE18	Sédiments	2006	Attoucheik	751 738,68	285 402,50	2050	390	20	22,5
19	SE19	Sédiments	2006	Attoucheik	751 939,25	285 455,24	1085	250	16,5	19
20	SE20	Sédiments	2006	Attoucheik	752 107,34	285 566,76	690	225	16,5	20
21	SE21	Sédiments	2006	Attoucheik	752 259,14	285 707,57	2175	475	23,5	25
22	SE22	Sédiments	2006	Attoucheik	752 808,81	285 653,52	500	90	16,5	17,5
23	SE23	Sédiments	2006	Attoucheik	753 040,13	285 602,31	350	50	7,5	12,5



**Annexe. I : Résultats d'analyse des sols en 2009**

N°	Désignation	Substance	Période de prélèvement	Etablissement/Chercheur	X (Lamb)	Y(Lamb)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
1	S1	Sol	2009	Bousdira	748589,34	285027,67	0,2	0,4	ND	ND
2	S2	Sol	2009	Bousdira	749284,17	284962,91	12	2,3	ND	ND
3	S3	Sol	2009	Bousdira	749331,10	284977,05	2	0,8	ND	ND
4	S4	Sol	2009	Bousdira	749486,96	284996,53	0,5	0,5	ND	ND
5	S5	Sol	2009	Bousdira	749587,89	285000,85	2,3	0,8	ND	ND
6	S6	Sol	2009	Bousdira	749679,82	285008,14	0,7	0,5	ND	ND
7	S7	Sol	2009	Bousdira	749778,72	285020,45	1,6	0,7	ND	ND
8	S8	Sol	2009	Bousdira	749880,64	285029,76	0,6	0,5	ND	ND
9	S9	Sol	2009	Bousdira	749978,56	285038,07	0,7	0,5	ND	ND
10	S10	Sol	2009	Bousdira	750084,48	285043,40	0,4	0,3	ND	ND
11	S11	Sol	2009	Bousdira	750163,43	285046,65	0,7	0,5	ND	ND
12	S12	Sol	2009	Bousdira	750286,36	285048,04	1,5	0,3	ND	ND
13	S13	Sol	2009	Bousdira	750378,32	285045,33	2,3	0,6	ND	ND
14	S14	Sol	2009	Bousdira	750480,27	285042,66	45	7,1	ND	ND
15	S15	Sol	2009	Bousdira	750696,19	285032,35	1,1	0,5	ND	ND
16	S16	Sol	2009	Bousdira	750798,18	285015,68	0,5	0,3	ND	ND
17	S17	Sol	2009	Bousdira	750904,18	284998,03	0,5	0,4	ND	ND
18	S18	Sol	2009	Bousdira	751014,02	285031,36	0,1	0,4	ND	ND
19	S19	Sol	2009	Bousdira	751123,84	285068,68	2,2	0,7	ND	ND
20	S20	Sol	2009	Bousdira	750199,20	285113,72	0,2	0,2	ND	ND
21	S21	Sol	2009	Bousdira	750316,24	285080,11	1,8	0,7	ND	ND
22	S22	Sol	2009	Bousdira	750398,90	285175,32	1,4	0,6	ND	ND
23	S23	Sol	2009	Bousdira	797826,40	-3471389,75	0,3	0,4	ND	ND

**Annexe. J : Résultats d'analyse des sédiments en 2009**

N°	Désignation	Substance	Période de prélèvement	Etablissement/chercheur	X (Lamb)	Y(Lamb)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)
1	SE1	Sédiments	2009	Bousdira	747 913,93	284 638,76	21,00	2,80	ND	ND
2	SE2	Sédiments	2009	Bousdira	749 133,79	284 792,54	220,00	3,30	ND	ND
3	SE3	Sédiments	2009	Bousdira	749 354,87	284 729,28	42,00	3,10	ND	ND
4	SE4	Sédiments	2009	Bousdira	749 613,85	284 692,12	70,00	15,00	ND	ND
5	SE5	Sédiments	2009	Bousdira	750 391,39	285 021,39	0,70	0,20	ND	ND
6	SE6	Sédiments	2009	Bousdira	750 974,08	285 018,24	0,30	0,20	ND	ND
7	SE7	Sédiments	2009	Bousdira	751 035,05	285 018,43	49,00	8,30	ND	ND
8	SE8	Sédiments	2009	Bousdira	751 320,66	285 092,29	1,40	0,70	ND	ND
9	SE9	Sédiments	2009	Bousdira	751 602,83	285 303,06	0,40	0,30	ND	ND