

## Introduction générale

L'eau est un élément important pour la vie des êtres vivants, sa valeur dépend de son état de sa disponibilité et de sa qualité. La répartition de l'eau sur l'échelle planétaire est très déséquilibrée on trouve des régions bien fournies citant par exemple l'hémisphère nord et des régions où l'eau se fait rare comme le Moyen-Orient. Le continent africain et spécialement la région du Maghreb est confrontée à cette mauvaise répartition selon la disposition géographique et les zones climatiques. Les ressources hydriques, vu l'évolution croissante de la demande en eau des différents secteurs y compris l'alimentation en eau potable de population locale, vont être soumises à plusieurs pressions parmi elles la pollution.

La pollution de l'eau est une thématique d'actualité dans les cercles scientifiques, les effets de la pollution de l'eau s'observent à différents niveaux notamment à l'échelle locale et synoptique. Les activités humaines influent sur l'eau et peuvent avoir des conséquences préjudiciables à notre santé et à l'équilibre des systèmes hydriques, parmi les principaux éléments perturbateurs, on note les industries, les transports et les activités domestiques.

La région d'Annaba dans le passé était une région à vocation agricole par excellence. Depuis les années 1960, elle s'est transformée en un pôle de développement qui génère, des emplois industriels. L'exode massif des populations a engendré un étalement urbain et la ville d'Annaba a devenu la quatrième ville d'Algérie en nombre d'habitants après la capitale Alger, Oran et Constantine. Parmi les secteurs qui enregistrent des problèmes de gestion d'une telle ville, le secteur des ordures ménagères et les décharges publiques.

Pour subvenir aux besoins de la population plusieurs sites ont été transformés en décharges urbaines, parmi eux la décharge publique de Berka Zerga qui se localise dans la plaine de l'Oued Zied dans le sous-bassin versant endoréique du lac Fetzara, qui est l'un des plus importants lacs de l'extrême Nord-Est algérien, il a été officiellement classé comme une zone « Ramsar ». Plusieurs études ont été effectuées sur la qualité des eaux et des sols de la nappe: (Durand D.,1950; A.J.C.I,1985; Djamai R.,1993 et 2007; Zenati N.,1999; B.N.E.D.E.R,2004; Habes S.,2006; Zahi F.,2014).

Notre étude a été réalisée afin de mettre en relief l'état des lieux de la chimie des eaux superficielles et souterraines de la région de l'Oued Zied, d'évaluer l'impact des lixiviats générés par l'ancienne décharge de Berka Zerga sur l'eau et l'environnement. Pour atteindre cet objectif, on a suivi la démarche suivante :

Le **premier chapitre** décrit le cadre physique, l'étude du contexte géologique et géomorphologique de la région d'étude, montrent l'affleurement de diverses formations, le complexe de l'Edough est composé d'une variété de roches métamorphiques, en fin nous présentons un aperçu pédologique.

Le **deuxième chapitre** est consacré au traitement des données hydro-climatiques et à l'évaluation des termes du bilan hydrologique, ainsi que l'étude de la sévérité de la sécheresse dans la région

Le **troisième chapitre** est consacré à l'hydrogéologie, qui nous montre par le biais de la piézométrie, l'existence d'une certaine interconnexion entre les eaux de la nappe et la décharge, et que la région est caractérisée par une assez forte perméabilité indiquant, une probable exposition de la nappe à toute forme de pollution.

Le **quatrième chapitre** destiné à étudier l'hydrogéochimie, le chimisme des eaux souterraines et superficielles de la plaine de l'Oued Zied a été abordé.

Le **cinquième chapitre** de l'étude est consacré à un diagnostic de la pollution causée par les éléments métalliques contenus dans les lixiviats générés par les dépôts de l'ancienne décharge d'Annaba. L'exploitation et le traitement des différents résultats obtenus, fait le point sur le problème de la contamination des eaux de la plaine de l'oued Zied par la décharge, plusieurs méthodes ont été utilisées pour pouvoir déterminer les différentes origines de la pollution, à savoir ; les méthodes statistiques, et l'apport des profils des variations des concentrations.

Le **sixième chapitre** destiné à cartographier la pollution et son évolution en utilisant l'indice de pollution des eaux par les lixiviats (LWPI) afin de déterminer les zones les plus vulnérables à la pollution et enfin la détermination de l'impact de cette pollution métallique sur la santé humaine à l'aide de l'indice de risque (IR).

Le **septième chapitre** destiné à la modélisation du degré de la pollution métallique des eaux et son évolution en utilisant l'outil géostatistique.

Enfin l'ensemble des résultats de l'étude est discuté avec une approche méthodologique et des recommandations pour la protection des ressources en eau sont proposées dans la conclusion générale.

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

### I. 1. Situation régionale

La région d'Annaba est située au Nord-Est algérien sur la totalité de la frange tellienne entre la longitude  $7^{\circ}40'$  E et la latitude  $36^{\circ}30'$  N. Elle occupe une position stratégique sur le littoral septentrional de la Méditerranée. Elle s'étend sur une superficie de  $1439 \text{ km}^2$  soit  $0,06 \%$  du territoire national, sa population est de  $609.500$  habitants environ, soit une densité de  $429 \text{ ha/km}^2$  et un taux de croissance de la population de  $1,24 \%$  (selon RGPH 2008). Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, au Sud la wilaya de Guelma, de Souk Ahras, à l'Est la wilaya d'El Tarf et à l'Ouest par la wilaya de Skikda (Fig.1).

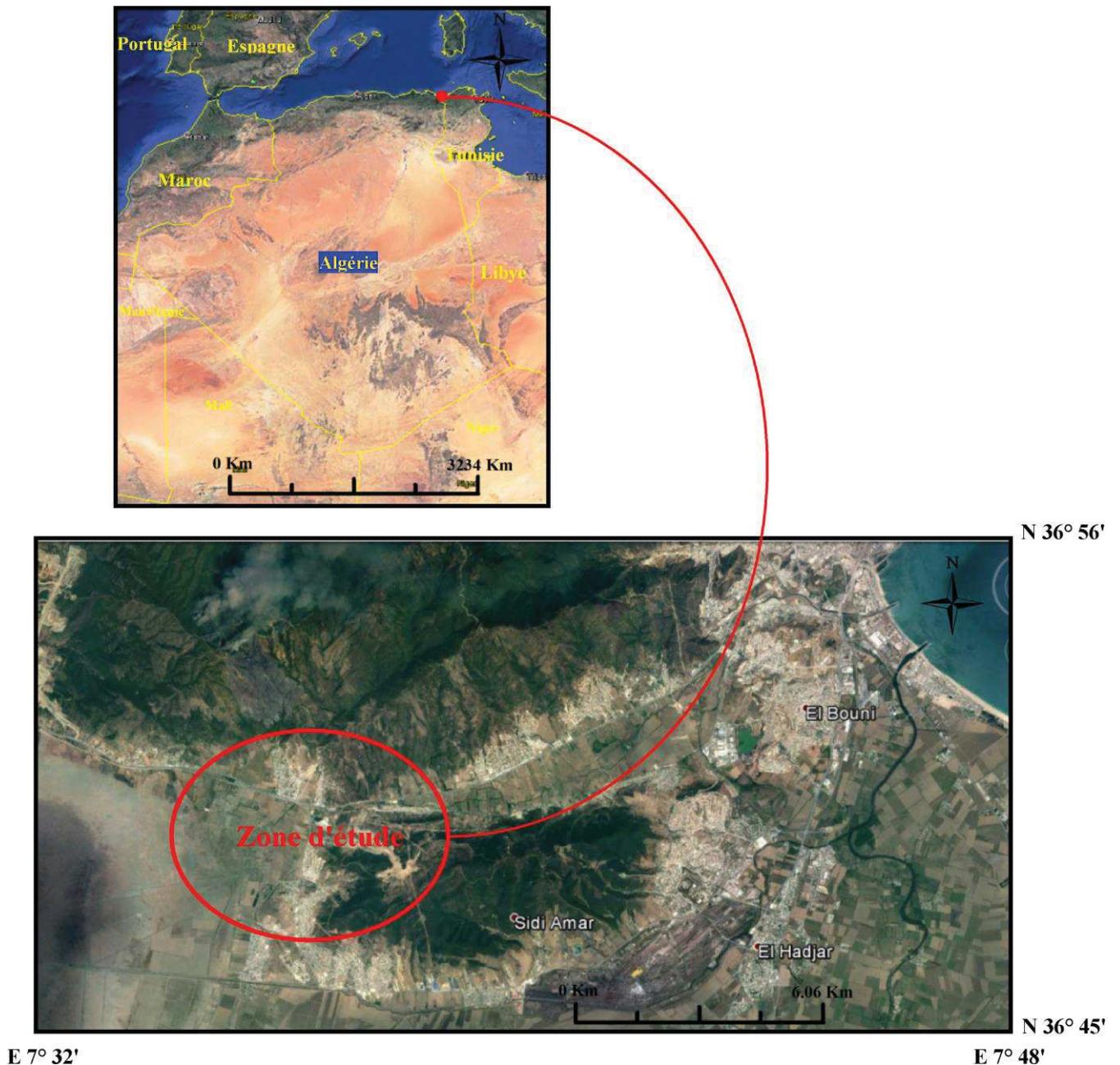


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude.

La région se caractérise par deux importantes chaînes de montagnes : la succession de montagnes littorales et la chaîne numidique. Les montagnes littorales correspondent à des crêtes souvent allongées et arrondies dont les altitudes varient entre 200 et 400m (monts de la Cheffia). Le mont de l'Edough est nettement séparé des reliefs, situés au Nord-Ouest sa masse principale est plongée en direction du Nord à 55° Est. La ligne de crête relativement rectiligne longue de 26 Km, débute au Nord du lac Fetzara, elle s'élève rapidement à plus de 600m pour culminer à 1008m d'altitude au Kef Seba et redescend à 867 m vers Séraïdi, elle s'abaisse ensuite régulièrement jusqu'au cap de Gard au Nord de la ville.

### **I. 1. 1. Situation de la zone d'étude**

La zone d'étude appartient au sous bassin versant de l'oued Gouilla, affluent de l'oued Zied, plus exactement dans l'endroit nommé Berka Zerga. Elle se situe à 15 km au Sud-Ouest de la ville d'Annaba dans un environnement vulnérable constitué par la plaine de l'Oued Zied et le lac Fetzara ; le réseau routier y est très dense. Elle est entourée par les massifs montagneux de l'Edough et Djebel Beléléita. Le sous bassin versant de l'Oued Gouilla fait partie du massif de Beléléita, il est limité au Sud par le col de Kef Ghorab, à l'Est par le col de Berka Zerga, au Nord par la route nationale N° 44 et enfin par la plaine de l'Oued Zied et le lac Fetzara à l'Ouest.

### **I. 2. Aperçu Géomorphologique**

La géomorphologie de la région du lac Fetzara présente trois formes morphologiques variées, dues essentiellement à la grande tectonique du cénozoïque et du quaternaire. Elles constituent deux sous bassins versants principaux caractérisés par la région du lac Fetzara à l'Ouest, et la Seybouse et l'Oued Meboudja à l'Est.

#### **I. 2. 1. Les montagnes**

Le mont de l'Edough est limité à son piémont Sud et Est par le lac Fetzara, la plaine d'Annaba et la mer Méditerranée à l'Ouest, ce massif est nettement séparé des reliefs situés au Nord-Ouest par la vallée de Oued El Aneb. Sa masse principale est plongée en direction du Nord à 55° Est. La ligne de Crête relativement rectiligne longue de 26 km, débute au Nord du lac Fetzara, elle s'élève rapidement à plus de 600 m pour culminer à 1008 m d'altitude au Kef Seba et redescend a 867 m vers Séraïdi, elle s'abaisse ensuite régulièrement jusqu'au Cap de Garde au Nord de la ville d'Annaba (Fig.2, 3).

Entre Beléléita et Bouhamra se creuse la vallée transversale de la basse Meboudja qui prend naissance au pied de la ride dunaire limitée à l'Est par la cuvette du Lac Fetzara, et qui entre en confluence avec l'Oued Seybouse au Nord d'El Hadjar.

Enfin à l'Ouest, Djebel l'Edough est relié par deux ensembles de collines ; le premier situé entre les deux communes de Oued El Aneb et Berrahal (226 m), le second au Nord de Boumaiza (130 m).

### **I. 2. 2. Sols et couvert végétal**

La zone d'étude est formée par un ensemble d'unités bien distinctes. L'interaction du relief, de l'altitude et des pentes, de la roche mère et de la tectonique, peut ainsi déterminer le façonnement du paysage naturel de la cuvette lacustre de Fetzara. Ce qui explique la diversité de l'occupation du sol.

A ce propos, on peut distinguer, en dehors des zones urbanisées, des zones occupées par la végétation naturelle ou par les reboisements et des zones de mise en valeur culturale.

### **I. 2. 3. Sols des versants**

Les versants Nord et Sud disposent d'une remarquable couverture végétale donnant l'aspect d'une succession visible à l'œil nu, le maquis sur les niveaux plus ou moins hauts et la forêt sur les niveaux de haute altitude.

Le Djebel Menchoura, au Sud-Est très dégradé et ne se reconstitue que très lentement, bien qu'il ne fasse l'objet d'aucune exploitation, il s'agit uniquement de chêne-liège, de pin maritime et surtout d'eucalyptus au bord des routes. Enfin, des aménagements agricoles en versants ont été mis en oeuvre par le développement d'arboriculture en montagne, comme l'olivier, le pêchier,...etc.

Ailleurs, principalement sur les grès, c'est le domaine du maquis méditerranéen typique à cistes et calycotomes associés à des plantes annuelles, le plus souvent tubéreuse et à des touffes de brachypodes rameux. Le Diss n'apparaît en abondance qu'au-dessus de 600 m d'altitude.

Au nord, la forêt occupe les sommets du massif de Berrahal et la région du Douar Toubéïga à l'Ouest. Le chêne-liège est l'essence principale couvrant environ 1/3 de la superficie forestière, cette forêt est exploitée en matière de bois et de liège. Elle fournissait ce dernier à l'unité SNLB localisée à l'Oued El Aneb.

Un peu plus bas, la présence du maquis révèle la dégradation d'une ancienne forêt ; elle est due aux actions anthropiques continues (les incendies, parcours du bétail),

il serait donc nécessaire de préserver ces zones contre le pâturage pour rétablir l'équilibre naturel et lutter contre le phénomène de dégradation.

Les reboisements sont constitués de deux essences : l'une feuillue (Eucalyptus) et l'autre résineuse (Pin maritime), ce qui a contribué à une régénération de la forêt et une stabilisation des versants.

Enfin, l'agriculture de piémont est axée sur une arboriculture rustique (olivier, figuier et figuier de barbarie), ainsi qu'un maraîchage légumier varié, léger et limité.

#### **I. 2. 4. Sols alluvionnaires**

La végétation pastorale (prairie naturelle) occupe les zones basses de la région et principalement les alentours du lac Fetzara.

La présence de cette couverture végétale, constitue une véritable réserve de fourrage pour le cheptel qui est important dans la région. Le surpâturage pose le problème de régénération des herbes.

L'agriculture de plaine est surtout axée sur le maraîchage, la tomate industrielle, la céréaliculture et la culture fourragère, ainsi que l'arboriculture fruitière en irriguée pour les agrumes et fruits à noyaux.

#### **I. 2. 5. Plaine d'Annaba**

La plaine d'Annaba est drainée par l'Oued Seybouse et située immédiatement en arrière de la ville d'Annaba.

Elle est limitée au Nord par l'anticlinal du massif de l'Edough et au Sud par l'anticlinal de la chaîne numidienne, avec une topographie relativement régulière. Dans l'espace ainsi défini, trois secteurs présentent chacun des formes différentes : la basse plaine dans laquelle s'encaisse l'Oued Seybouse, les bordures où on peut observer des glacis et le littoral où quelques formations quaternaires sont visibles. Cette basse plaine a une forme inclinée et légèrement bombée avec la Seybouse comme axe de drainage. Celle-ci présente un tracé très sinueux avec de nombreux méandres, puis jusqu'à l'embouchure, elle prend un tracé plus rectiligne.

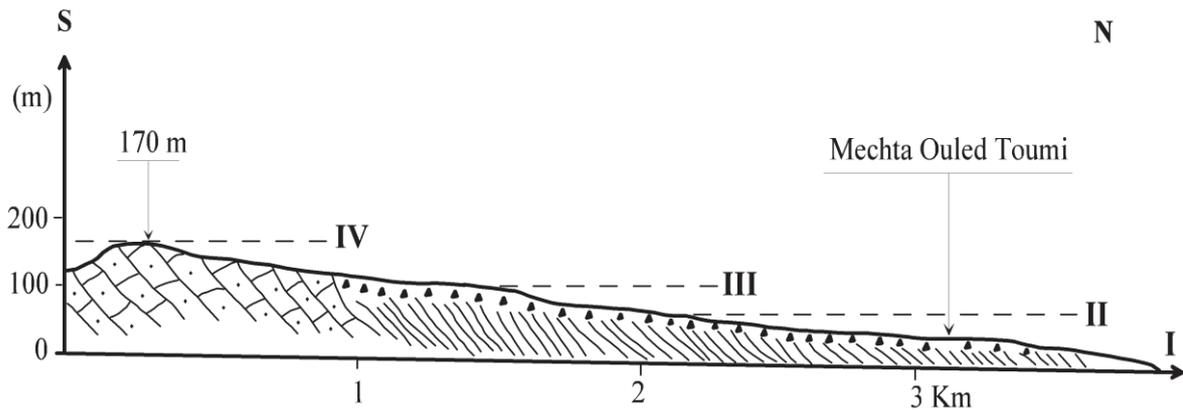
A l'Est et à l'Ouest, la basse terrasse sableuse de la Seybouse disparaît pour laisser la place à des dépressions de 2m d'altitude et aux formations argileuses noires et hydromorphes (marais de Boukhmira près de l'aéroport d'Annaba).

Actuellement à l'Ouest la Seybouse se jette dans la mer Méditerranée à Sidi Salem par l'intermédiaire d'un chenal artificiel creusé pendant les années 1960, c'est

pour éviter l'envasement du port par les inondations de l'Oued Seybouse (apport de matériaux qui se déposent au fond de la mer)

### I. 2. 6. Lac Fetzara

La cuvette du Lac Fetzara présente des bordures Nord et Sud nettement dissymétriques, elle est due à une tectonique active pendant le Quaternaire ; elle est représentée par une large dépression dont les dimensions sont approximativement de 17 km d'Ouest en Est et 13km du Nord au Sud (Habes S. 2013).



**Légende :** I-II-III-IV : niveaux de glacis

**Figure 2 : Coupe sur le piémont de la bordure Sud du lac Fetzara (Marre A., 1992).**

Au Sud, un véritable piémont avec six niveaux de glacis, s'est construit en aval du tell Nord Guelmien. La coupe (Fig.2) montre bien qu'il existe sur ce piémont quatre niveaux de glacis. Au-dessus du niveau IV, la coupe montre Bien des replats de petites tailles qui tronquent les grès pseudo numidiens de ces massifs (Belhamra A., 2001).

Cette cuvette s'est formée suite à une grande tectonique active pendant le cénozoïque et le Quaternaire (Fig. 03), ainsi la série de Fetzara s'est développée en bordure du Lac Fetzara et plus largement autour des Djebels Debar, Grar et Taya (Vila J.M., 1980), et elle présente deux bordures dissymétriques orientées, l'une vers le Nord et l'autre vers le Sud. Il s'agit donc, d'une région où l'érosion a beaucoup fonctionnée durant le Quaternaire.

Au Nord, le massif de l'Edough pénètre brutalement dans la cuvette du lac Fetzara, et, peu de formes quaternaires assurent le passage de la montagne au fond de la dépression. Sur le piémont de la bordure Nord du Lac, la tectonique semble avoir été plus active que sur la bordure Sud (Marre, 1992).

Le fond de la cuvette du lac est occupé, à l'Ouest par le lac proprement dit, et à l'Est par la plaine d'El Hadjar qui se prolonge par celle d'Annaba. Ces deux ensembles morphologiques sont séparés par un cordon dunaire, celui-ci sert de ligne de partage des eaux,

entre le lac Fetzara et l'Oued Meboudja, et il ferme aussi la dépression.

Le canal de dessèchement, long de 14km, assure le drainage des eaux du lac en période pluvieuse, il traverse la cuvette de Fetzara selon une direction Ouest-Est et rejoint le cours d'eau de la Meboudja où il assure la vidange du lac.

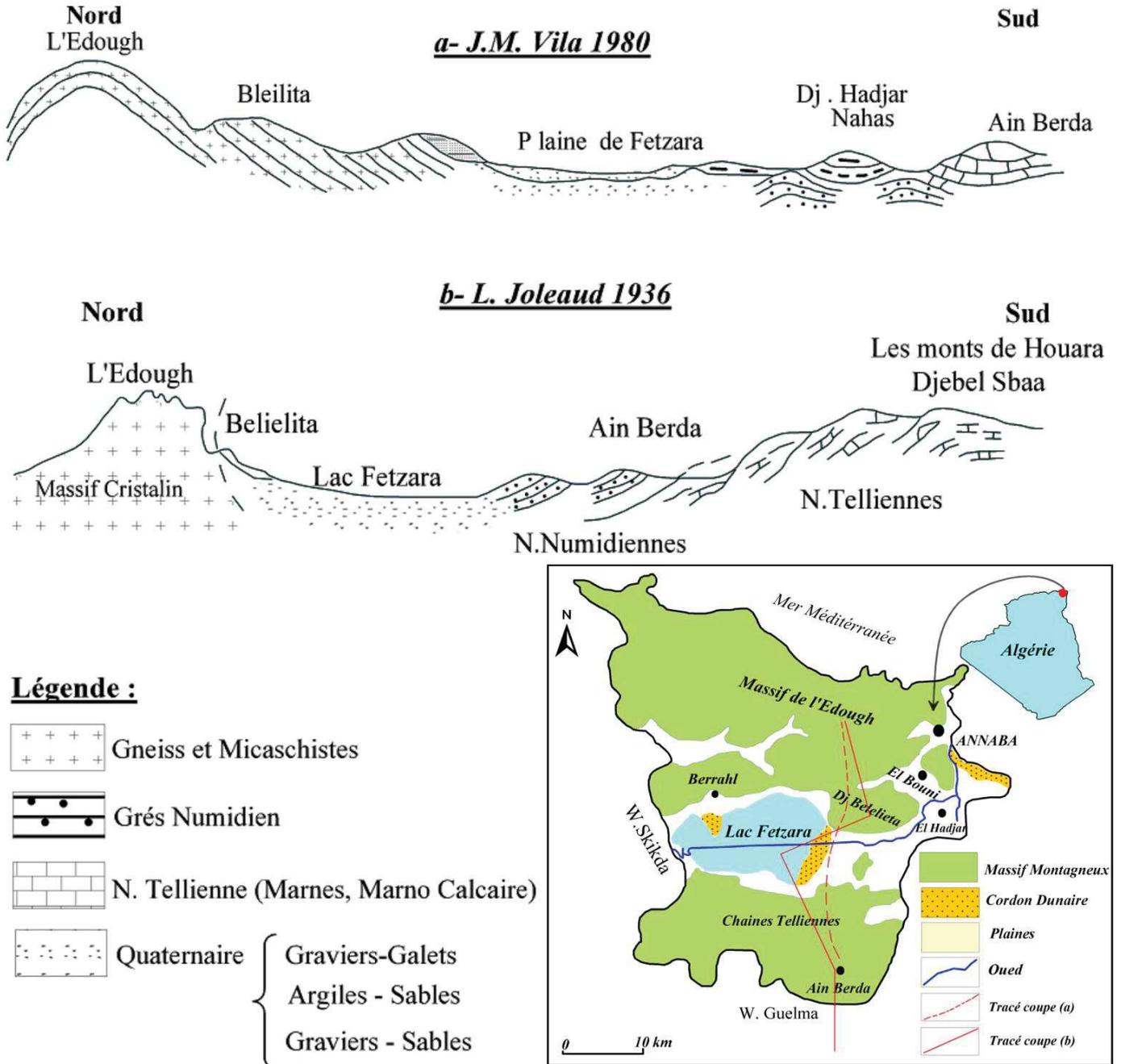


Figure 3 : Coupes géologiques entre Ain Berda et l'Edough. (In Habes S. 2013 Modifie).

Le long du canal on observe, des sables argileux jaunâtres avec, à la base des traces d'hydromorphie, des niveaux noirs argileux qui se terminent en biseaux vers l'aval.

Ils sont riches en matières organiques. On a donc là, une alternance de phases rhéxistatiques pendant lesquelles le lac recevait des formations sableuses venues soit des versants grâce au transport des Oueds, soit du littoral par transport éolien, et des phases biostatiques pendant que le lac devenait marécageux avec une faune lagunaire à marine (Haou. 2001).

En effet, les arrivées sont des espèces (faunes) qu'on retrouve à l'heure actuelle dans les estuaires où les eaux sont peu salées. La présence de cette faune au fond du lac Fetzara indique donc, la relation ancienne entre cette dépression et la mer.

La liaison entre le Lac et la plaine d'El Hadjar s'effectue à partir de l'Oued Mehoudja qui sinuait autrefois entre Beléléita et Bouhamra avant de se relier dans l'Oued Seybouse.

La plaine d'El Hadjar se termine brutalement au Nord, contre le Djebel Beléléita, dernier mont du massif de l'Edough. Le versant de ce Djebel est rectiligne et abrupt. Il s'agit certainement d'un contact par faille.

Deux niveaux de petits glacis peuvent être observés au-dessus de la plaine d'El Hadjar, ils sont nettement déformés et plongent vers le fond de la plaine et disparaissent sous la basse plaine sableuse.

La plaine d'El Hadjar a donc joué en subsidence jusqu'à une date récente. Cette subsidence semble avoir été très importante au droit du cordon dunaire du lac Fetzara qui a permis de montrer à la fin le rôle de la tectonique et du climat dans l'élaboration du lac. La tectonique est responsable d'un jeu en subsidence de la dépression. En effet, les failles qui limitent cette cuvette sont restées actives pendant tout le quaternaire.

### **I. 3. Contexte géologique**

#### **I. 3. 1. Géologie régionale**

##### **I. 3. 1. 1. Complexe cristallophyllien**

En Algérie, le massif de l'Edough est le plus oriental des massifs cristallophylliens du littoral (Fig.4) (Gleizes G., et al 1988). C'est un massif cristallin externe de la chaîne Alpine périméditerranéenne, considéré souvent comme étant la continuité des massifs internes kabyle de la chaîne des maghrebides.

Il se présente en un brachyanticlinal à prédominance de gneiss entourés de micaschistes à intercalations de marbres, d'amphibolites et de schistes satinées (Vila J.M., 1980), il s'étend de 50 km de long sur 20 km de large et d'orientation axiale N60 (Fig.4).

### **I. 3. 1. 2. Subdivision du complexe**

D'après les travaux de G. Gleizes et al (1988) le massif de l'Edough pourrait être subdivisé en trois unités (Fig.5) :

- L'unité supérieure
- L'unité intermédiaire
- L'unité de base

#### **I. 3. 1. 2. 1. L'unité supérieure**

Elle affleure essentiellement au Cap de Garde, elle est composée de micaschistes à grenats, de sericitoschistes, de chloritoschistes et de quartzites. Elle contient des niveaux caractéristiques de tourmaline qui forment parfois des amas ou des lentilles souvent très continue. La découverte d'Acritarches dans les intercalations de quartzites et de lydiennes précise l'âge paléozoïque de cette série (Ilavsky et Snopkova, 1987). Les schistes contiennent une grande quantité de grenats et de baguettes d'andalousite et de staurotide. Vers sa base s'intercale une dalle de gneiss ocellés dont la puissance varie de 10 à 100 m issue de la déformation d'un leucogranite : il s'agit en effet de roches claires pratiquement dépourvus de biotites, toujours riche en tourmaline à grains grossiers et à texture porphyroïde, il existe aussi des faciès à grain fin d'aspect léptynitique. Les horizons de tourmaline dans les micaschistes sont plus nombreux à l'approche de la lame de gneiss. Le contact entre cette unité et l'unité intermédiaire est anormal, matérialisé par une faille majeure (le cas du Cap de Garde).

#### **I. 3. 1. 2. 2. L'unité intermédiaire**

Elle est caractérisée par une alternance de micaschistes à grenats et parfois même à disthène et de calcaires métamorphiques.

Les micaschistes ne forment que des lames d'épaisseur réduite (quelques mètres à une centaine de mètres) sauf dans le secteur périphérique de Cap de Garde où ils réapparaissent en position verticale avec une épaisseur cumulée de plus de 1000 m.

Ces micaschistes riches en feldspaths sont jalonnés par un ou plusieurs horizons de marbres constitués presque uniquement de calcite bien cristallisée et d'autres minéraux accessoires comme la muscovite, phlogopite, pyrite, diopside, trémolite, grenat.

Outre les marbres on rencontre aussi des amphibolites et des pyroxénites souvent réduit à des amas plus au moins continus à lenticulaires.

Au Cap de garde le contact entre les marbres et les micaschistes est souligné par des skarns.

Le contact entre cette série et la série gneissique de base est parallèle à la foliation régionale (Hamor D, 1992).

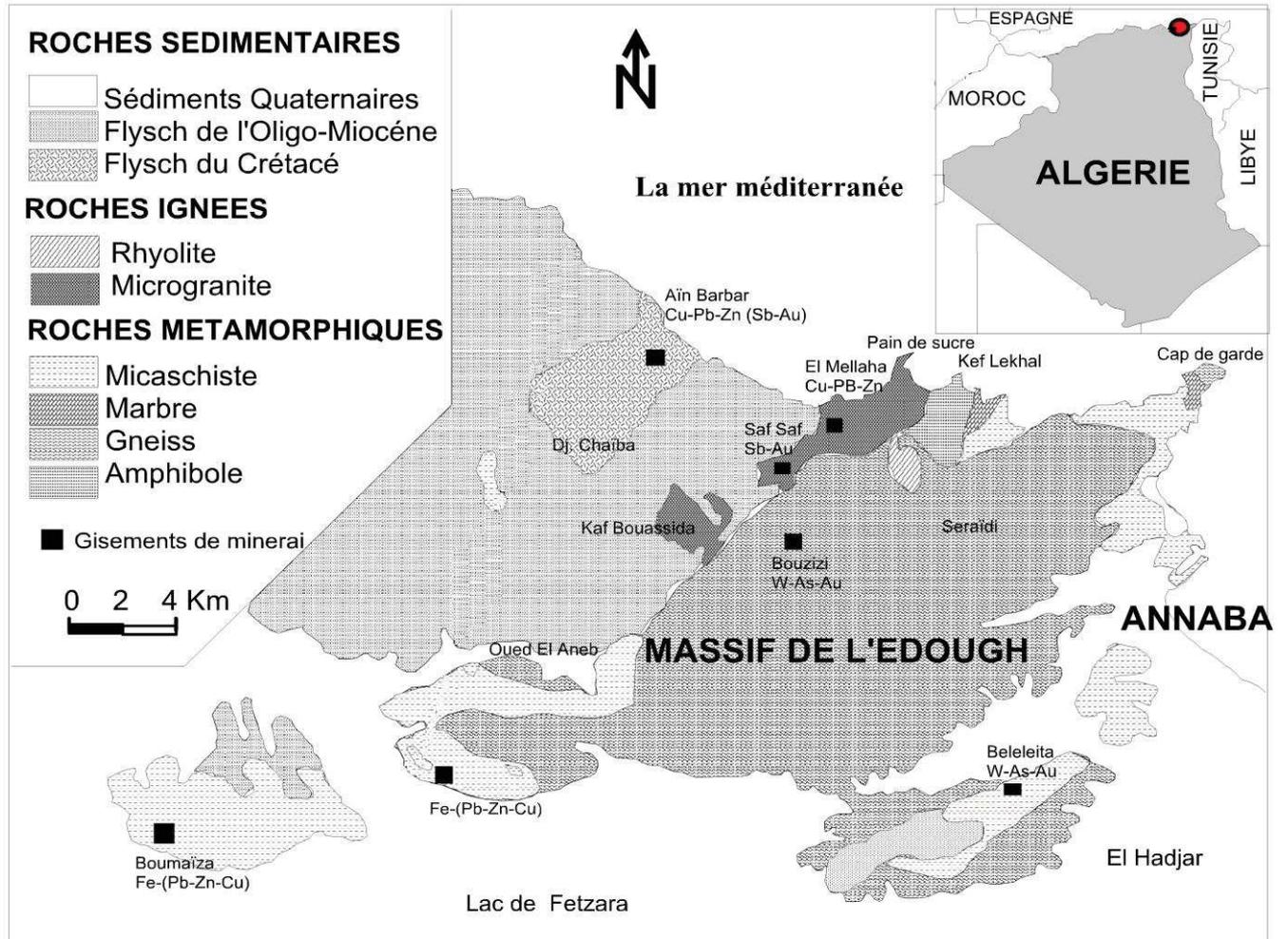


Figure 4 : Carte géologique du massif de l'Edough. (Laouar R., et al., 2002)

### I. 3. 1. 2. 3. L'unité de base

On y distingue des gneiss clairs, des gneiss sombres et des leptynites. L'ensemble constitue le cœur de l'anticlinal et sont observés à la périphérie grâce aux accidents tectoniques.

Cette unité gneissique est riche en matériel quartzo-feldspathiques, en micas, sillimanite et parfois tourmaline.

Les gneiss clairs sont pauvres en biotite et sont caractérisés par de gros yeux de feldspath de 3 à 5 cm.

Quant aux gneiss sombres, on les trouve à la périphérie du massif tel que le Cap de Garde, au Nord du massif de Beléléita et au Sud-Ouest de Berrahal. Ce sont des gneiss finement lités, très riches en biotite, renfermant des grenats et de la tourmaline.

Les leptynites sont des niveaux holo-leucocratiques riches en quartz, feldspath, muscovite et renfermant parfois des grenats et de la tourmaline qui forment souvent des linéations parallèles à la foliation.