

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AFRICAINE- AHMED DRAÏA - ADRAR  
FACULTE DES SCIENCES ET DES SCIENCES DE L'INGENIORAT  
DÉPARTEMENT AGRICULTURE SAHARIENNE  
LABORATOIRE ENERGIE ENVIRONNEMENT ET SYSTEME D'INFORMATION



**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE**  
**Présenté par :**  
**Mr. NASRI Bahous**  
**En vue de l'obtention du diplôme de**  
**MASTER EN PHYSIQUE**  
**OPTION PHYSIQUE ENERGETIQUE**

**THEME**

**ETUDE ET DEVELOPPEMENT D'UN SIG DU  
POTENTIEL GEOTHERMIQUE  
DE LA WILAYA D'ADRAR**

**Soutenu devant le jury :**

Pr. Mehand BELHADI: Professeur U. ADRAR

Dr. Ali BENATIALLAH : Maître de conférences A U. ADRAR (D.LEESI)

Mr. Boumediene OMARI: Maître Assistant. A. U. ADARA

Mr. Lakhdar AMER : Maître Assistant. A. U. ADARA

Président

Encadreur

Examineur

Examineur

Juin 2012

## Remerciements

Je remercie avant tout ALLAH, qui grâce à lui je suis arrivé à ce stade.

Mes sincères remerciements s'adressent à tous les professeurs de la faculté de l'Agriculture Saharienne de leurs aide et conseils durant ce trajet.

Je tiens à remercier vivement le Dr Mr BENATIALAH Ali, Maître de conférence A et Directeur du laboratoire LEESI, mon encadreur pour son suivi, ses conseils, suggestions et critiques tout le long de mon travail.

Mes sincères remerciements s'adressent à tous les hommes qui ont contribués à la réalisation et la réussite de ce travail.

Mes reconnaissances particulières à monsieur BENHAMZA Messaoud, pour son aide à la réalisation de ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à tous les membres de jury :

- Pr. Mehand BELHADI, Professeur à l'université d'Adrar., pour avoir accepté de présider le jury.

- Dr. Ali BENATIALLAH, Maître de conférences A à l'université d'Adrar pour avoir accepté mon encadrement et pour l'intérêt qu'il a porté à l'avancement de ce travail.

- Mr. Boumediene OMARI, Maître Assistant A, à l'université d'Adrar Chef de Département A.S pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

- Mr Lakhdar AMER, Maître Assistant A, à l'université d'Adrar d'avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Il m'est agréable de remercier très respectueusement toute personne qui a aidé à la réalisation de ce travail.

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	1
<b>CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE</b> .....	3
I.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE .....	4
I.2 GEOMORPHOLOGIE : .....	6
I.3 HYDROGRAPHIE.....	7
I.3.1.Versant occidental du Tademaït .....	7
I.3.2.Oueds du versant Meguiden – Gourara .....	8
I.3.3.Oued Tilia .....	8
I.3.4. Bassin fermes des Daiets de Tademaït .....	8
I.3.5.Les Réseau Hydrographique .....	9
I.4 CADRE PHYSIQUE .....	10
I.4.1. Les caractères généraux .....	10
I.4.2. Activités de la population .....	11
I.5 CLIMATOLOGIE .....	13
I.5.1 Introduction.....	13
I.5.2 LES PHENOMENES THERMIQUES .....	13
I.5.2.1 La nébulosité .....	13
I.5.2.2 L'insolation .....	14
I.5.2.3 Température .....	15
I.5.2.4 Les vents .....	16
I.5.2.5 Précipitation .....	17
I.5.2 LE REGIME HYDRIQUE .....	18
I.5.2.1 L'humidité atmosphérique (l'air) .....	18
I.5.2.2 L'évaporation .....	18
I.6. GEOLOGIE .....	20
I.6.1 Introduction.....	20
I.6.2 CADRE GEOLOGIQUE REGIONALE .....	20
I.6.2.1 LES BASSINS SEDIMENTAIRES .....	20
I.6.2.1.1. Le bassin de Tindouf .....	20
I.6.2.1.2. Le bassin de Reggane .....	21
I.6.2.1.3 La cuvette de Sbaa .....	21
I.6.2.1.4 Le bassin de l'Ahnet .....	21
I.6.2.2 CADRE GEOLOGIQUE LOCALE .....	24
I.6.3 LA LITHOSTRATIGRAPHIE .....	25
I.6.3.1 Précambrien .....	26
I.6.3.2 Paléozoïque .....	26
I.6.3.2.1 Cambrien .....	26
I.6.3.2.2 Ordovicien .....	26
I.6.3.2.3 Silurien .....	26
I.6.3.2.4 Dévonien .....	26
I.6.3.2.5 Carbonifère .....	26
I.6.3.3 Mésozoïque .....	27
I.6.3.3.1 Crétacé inférieur Continental intercalaire .....	27
I.6.3.3.2 Le Crétacé supérieur (Crétacé marin) .....	32
I.6.3.4 Le Cénozoïque .....	32
I.6.3.4.1 Néogène .....	32
I.6.3.4.2 Le Plio – Villafranchien .....	32

I.6.3.5 Le Quaternaire .....	32
I.6.3.5.1 Villafranchien Supérieur (Quaternaire ancien) .....	32
I.6.3.5.2 Le Pléistocène moyen (Quaternaire moyen) .....	32
I.6.3.5.3 L'Holocène (Quaternaire récent) .....	32
I.6.4 TECTONIQUE .....	32
I.7. HYDROGEOLOGIE .....	34
I.7.1. Introduction.....	34
I.7.2. LES DEUX SYSTEMES AQUIFERE DU SAHARA (CT ET LE CI) .....	35
I.7.2.1. L'aquifère du Complexe Terminal (CT) .....	35
I.7.2.2. Le Continental Intercalaire (CI) .....	35
I.7.2.3. Limites et morphologie du Continental Intercalaire .....	37
I.7.2.4. Alimentation du Continental Intercalaire (CI) .....	38
I.7.2.5. Les exutoires du Continental Intercalaire (CI) .....	39
I.7.2.6. Qualité des eaux .....	40
<b>CHAPITRE II : GENERALITES SUR LA GEOTHERMIE</b> .....	41
II.1 Introduction.....	42
II.2 Types de gisements géothermiques .....	42
II.3 Types de géothermie .....	43
II.3.1 La géothermie haute énergie (température supérieure à 150°C) .....	43
II.3.2 La géothermie basse énergie .....	44
II.3.3 La géothermie très basse énergie .....	44
II.3.4 Géothermie roche chaude sèche (HDR) .....	44
II.4 Forage géothermique .....	44
II.5 La géothermie dans le monde .....	45
II.5.1 Les applications .....	45
II.5.2 La capacité énergétique .....	47
II.5.3 La géothermie en Algérie .....	48
II.5.4 L'expérience tunisienne .....	50
<b>CHAPITRE III : GENERALITES SUR L'ARCGIS</b> .....	51
III. Introduction.....	52
III.1 Composantes d'ArcGis .....	52
III.1.1 Les applications .....	52
III.2 L'outil de navigation .....	55
III.3 Présentation de l'interface : ArcMap .....	55
III.4 Présentation de l'interface : ArcCatalog .....	56
III.5 Présentation de l'interface : ArcToolBox .....	57
III.6 Gestion des couches .....	59
III.6.1 Ouverture et fermeture d'une couche .....	59
III.6.2 Exploration des couches : ArcMap .....	60
III.6.2.1 Affichage des couches .....	60
III.6.2.2 Identification d'une entité .....	60
III.6.2.3 Choix du répertoire de travail de géotraitement .....	60
III.6.3 Affichage d'une barre d'outils/ Activation d'une extension .....	60
III.6.4 Exploration des couches : ArcCatalog .....	60
III.6.5 Affichage des données attributaires à l'écran .....	60
III.6.6 Connaître et modifier la projection d'une couche .....	62
III.6.7 Attribuer une projection (ArcCatalog) .....	62
III.6.8 Attribuer une projection lorsqu'elle n'est pas reconnue.....	62
III.6.9 Création d'une couche (ArcCatalog) .....	62
III.6.10 Création de champs attributaires .....	63

III.6.11 Ajouter plusieurs champs (ArcCatalog) .....	63
III.6.11.1 Sélection par attributs (requête attributaire) .....	64
III.6.11.2 Jointure attributaire/ Jointure spatiale .....	65
III.7 Outils d'analyse .....	66
III.7.1 Analyse thématique/Sémiologie/ Symbologie .....	67
III.7.2 Symbologie/ Affichage simple des entités .....	67
III.7.3 Analyse thématique/ Affichage avancé des entités .....	68
III.8 Etiquetage des entités .....	69
III.9 Mise en page .....	70
III.10 Création d'une légende .....	71
III.11 Géoréférencement de données rasters .....	72
<b>CHAPITRE IV : DEVLOPPEMENT D'UN SIG DES DONNEES GEOTHERMIQUES POUR LA WILAYA D'ADRAR.....</b>	<b>74</b>
IV.1 Introduction.....	75
IV.2 Données géothermiques d'entrée utilisée pour le SIG d' Adrar .....	75
IV.3 Création de la base de données .....	75
IV.4 Affichage des données et édition des cartes .....	76
IV.5 Gestion et manipulation du SIG .....	77
IV.5.1 Identification d'une entité .....	79
IV.5.2 Affichage des données attributaires à l'écran .....	80
IV.5.3 Analyse spatiale .....	80
IV.5.4 Sélection par attributs .....	80
IV.5.4.1 Exporter la sélection .....	81
IV.5.5 Jointure attributaire .....	83
IV.5.6 Symbologie et affichage des entités .....	84
IV.5.7 Analyse thématique .....	84
IV.5.8 Création d'un hyperlien .....	85
IV.5.9 Création d'une mise en page .....	86
<b>CHAPITRE V : CARRACTERISTIQUES GEOTHERMIQUE DURESERVOIR .....</b>	<b>88</b>
V.1 Introduction.....	89
V.2 Analyse et traitements de données géothermiques .....	89
V.2.1 Données géothermiques disponibles pour la région d' Adrar .....	89
V.2.2 Cartographie des points géothermiques d' Adrar .....	90
V.2.3 Données géothermiques du réservoir .....	91
V.3 Caractéristiques géométriques du réservoir .....	95
V.3.1 Limites géographiques du réservoir .....	96
V.3.2 Estimation du réservoir .....	96
V.3.4 Profondeur du réservoir dans la région d' Adrar .....	97
V.3.5 Niveau piézométrique de la nappe .....	99
V.4 Caractéristiques physico-chimiques du fluide géothermique .....	101
V.4.1 Résidus secs du fluide géothermique .....	101
V.4.1.1 Evolution du résidu Sec du fluide géothermique de la wilaya d' Adrar .....	102
V.4.2 Température du fluide géothermique de la région d' Adrar .....	103
V.4.2.1 Carte des Températures du fluide géothermique de la région d' Adrar .....	104
V.4.2.2 Variation de la Température du fluide géothermique avec la profondeur .....	105
V.5 Faciès chimique du fluide géothermique .....	106
V.6 PH du fluide géothermique .....	106
<b>CHAPITRE VI : GRADIENT GEOTHERMIQUE ET FLUX DE CHALEUR .....</b>	<b>108</b>
VI.1 Introduction.....	109
VI.2 Carte de gradient géothermique .....	109

VI.2.2 Carte de gradient géothermique d'Adrar .....	110
VI.2.3 Interprétation de la carte de gradient géothermique .....	112
VI.3 Flux de chaleur dans la région d'Adrar .....	112
VI.3.1 Carte de flux de chaleur .....	113
VI.3.2 Détermination de la conductivité thermique .....	113
VI.3.3 Interprétation de la carte de flux de chaleur .....	115
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>116</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>126</b>

# LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

## Liste des figures

- Figure I.1 : Localisation de la zone d'étude  
Figure I.2: carte géomorphologique de la région d'Adrar  
Figure I.3 : Bassins-versants du Tademaït  
Figure I.4 : carte des bassins du Sahara et ruissellement  
Figure I.5 : carte représenté les 11 daïras de wilaya d'Adrar et leur limites  
Figure I.6 : Nébulosité moyenne mensuelle (1975-1984).  
Figure I.7 : Moyennes mensuelles d'insolation durant les périodes (1975 – 1984 et 1998 – 2008)  
Figure I.8 : Les moyennes mensuelles de températures de la période (1990-2008)  
Figure I.9 : les moyennes mensuelles des la vitesse du vent des périodes (1975-1985, 1998-2008)  
Figure I.10 : Les moyennes mensuelles des précipitations des périodes: (1980-2008)  
Figure I.11 : les moyennes mensuelles d'humidité relative de l'air en pourcentage (hr %) pendant la période (1997-2008).  
Figure I.12 : les moyennes mensuelles de l'évaporation en (mm) pendant les périodes de (1975-1984 et 1998-2008).  
Figure I.13: Les bassins les plus importants de la plate-forme saharienne en Algérie. [13]  
Figure I.14 : Carte géologique de la région d'étude [4]  
Figure I.15 : Lithostratigraphie du bassin occidental [13]  
Figure I.16 : Coupe lithologique d'unité de CI [13]  
Figure I.17 : Coupe du Continental Intercalaire à Aïn – ech - Cheikh. [4]  
Figure I.18: Coupe de la falaise du Continental intercalaire à Reggane -Plateau [4]  
Figure I.19 : Les unités hydrogéologiques du Sahara algérien(ABHS)  
Figure I.20 : Carte des ressources en eau souterraines (continental intercalaire et complexe terminal)  
Figure I.21 : Les sens d'écoulement des eaux de deux Systèmes Aquifères du Sahara : Le CT et le CI  
Figure I.22 : coupe hydrogéologique synthétique de sahara septentrional [23]  
Figure II.1 : Diagramme de LINDAL  
Figure III.1 : Les applications d'ArcGis  
Figure III.2 : Les applications d'ArcGis  
Figure III.3 : Les applications d'ArcGis  
Figure III.4 : Les outils d'ArcGis  
Figure III.5 : L'interface d'ArcGis  
Figure III.6 : La barre d'outils d'ArcGis  
Figure III.7 : L'interface d'ArcCatalog  
Figure III.8 : L'interface d'ArcToolbox  
Figure III.9 : Zoomer une zone de carte  
Figure III.10 : Affichage des données attributaires  
Figure III.11 : Création d'une couche  
Figure III.12 : Création de champ ArcCatalog  
Figure III.13 : Sélection des requêtes  
Figure III.14 : Jointure des données  
Figure III.15 : Les outils d'analyse

Figure III.16 : Sélection de Symbologie  
Figure III.17 : Propriétés de l'analyse thématique  
Figure III.18 : Propriétés de l'emplacement  
Figure III.19 : Fenêtre de la mise en page  
Figure III.20 : Création d'une légende  
Figure III.21: Géoréférencement  
Figure III.22 : Référence spatial  
Figure VI.1 : Base des données crée pour le SIG  
Figure VI.2 : Présentation des données avec ArcGis  
Figure VI.3 : Ajouter des données en ArcGis  
Figure VI.4: Transformation des données en carte spatiale  
Figure VI.5 : Exploration de carte de température a l' ArcGis  
Figure VI.6 : Information géothermique  
Figure VI.7 : Affichage des données attributaire a l' ArcGis  
Figure VI.8 : Sélection par attributs  
Figure VI.9 : Affichage des zones dont la température supérieure à 30°C  
Zones les plus favorables pour la géothermie  
Figure IV.10 : Jointure des données géothermiques à une base de données  
Figure IV.11 : Jointure des données  
Figure IV.12 : Analyse thématique pour la création de la carte des points d'eaux consultés  
Figure IV.13 : Affichage hyperlien d'une coupe technique et lithologique d'un forage  
Figure IV.14 : Mise en page d'une carte en ArcGis  
Figure V.1 : Carte des données géothermiques de la wilaya d'Adrar  
Figure V.2: Distribution géographiques des points d'eaux consultées servants comme données géothermiques  
Figure V.3 : Carte des affleurements géologiques du bassin  
Figure V.4 : Carte des épaisseurs du CI [17]  
Figure V.5 : Carte des profondeurs des forages consultés  
Figure V.6 : Carte piézométrique du CI dans le Bassin occidental [3]  
Figure V.7 : carte piézométrique de région d'étude  
Figure V.8 : Carte de la qualité physico-chimique des eaux de la wilaya d' Adrar  
Figure V.9 : Représentation graphique de l'évolution du Résidu sec des eaux  
Figure V.10 : Carte des températures des points géothermiques  
Figure V.11 : Variation de la température avec la profondeur  
Figure VI.1: Carte de gradient géothermique  
Figure VI.2: Carte de gradient géothermique d' Adrar  
Figure VI.3: Carte du flux de chaleur d' Adrar



## Liste des tableaux

Tableau I.1: Daïras et communes de la wilaya d'Adrar

Tableau I.2: répartition des surfaces agricoles dans la wilaya d'Adrar.

Tableau I.3 : Nébulosité moyenne mensuelle durant la période 1975-1984.

Tableau I.4 : Moyennes mensuelles d'insolation durant les périodes (1 975–1984 et 1998-2008)

Tableau I.5 : Les moyennes mensuelles des températures de la période (1990-2008)

Tableau I.6 : les moyennes mensuelles des la vitesse du vent des périodes (1975-1985, 1998-2008)

Tableau I.7 : Les moyennes mensuelles des précipitations des périodes: (1980-2008)

Tableau I.8 : représente les moyennes mensuelles d'humidité relative de l'air en pourcentage (hr %) pendant trois périodes.

Tableau I.9 : représente les moyennes mensuelles de l'évaporation en (mm) pendant les périodes de (1975-1984 et 1998-2008).

Tableau I.10 : Données générales sur la nappe du continental intercalaire (albien)

Tableau II.1 : Evolution de la capacité géothermique installée dans le monde pour la production d'électricité en MW

Tableau II.2 : Principales Caractéristiques physico-chimiques de quelques sources thermales du Nord de l'Algérie. [20]

Tableau VI.1 : Composantes thématiques de la base de données

Tableau V.1: Données géothermiques de la wilaya d'Adrar

Tableau V.2 : Données géothermiques des forages consultés (ANRH Adrar)

Tableau V.3 : Caractéristiques chimiques du fluide géothermique de la wilaya d'Adrar :

Tableau VI.1 : Conductivités thermiques des principaux constituants [ $Wm^{-1}C^{-1}$ ]

## LISTE DES ABREVIATIONS

**ABHS** : Agence de Bassins Hydrographique du Sud

**A.E.P** : Alimentation en eau potable ;

**A.N.R.H** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques ;

**C.D.E.R** : Centre de Développement des Energies Renouvelables

**C.I** : Continental Intercalaire

**C.T** : Complexe Terminal ;

**ESRI**: Environmental Systems Research Institute

**HDR**: Hot Dry Rock (roche chaude et sèche)

**Hr** : l'humidité relative (%)

**RS** : Résidu Sec

**SIG** : Système d'Information Géographique

**PH** : Potentiel d'Hydrogène ;

**PK 300 BBM** : Point kilométrique 300 Bordj Badji Mokhtar

# Résumé

L'Algérie dispose d'un potentiel géothermique non négligeable. Actuellement, la balnéologie constitue la principale utilisation. Les applications directes dans le domaine thermique sont très limitées. Sachant que cette énergie peut contribuer au développement local, nous avons trouvé utile de réaliser une base de données géothermiques liée à un système d'information géographique. Celle-ci regroupe toutes les informations caractérisant les ressources. Ces informations sont facilement et rapidement accessibles. Elles peuvent constituer un guide d'aide à la décision pour toute application géothermique.

Dans cette étude nous nous sommes intéressés à l'étude et développement d'un système d'information géographique (SIG) du potentiel géothermique de la wilaya d'Adrar, ainsi qu'à l'évaluation de ce potentiel à travers une estimation du gradient géothermique et du flux de chaleur.

# ***INTRODUCTION GENERALE***

### INTRODUCTION GENERALE

Le Sahara algérien est une partie du grand Sahara. Pourtant ce désert a été, il y a quelques millénaires seulement, une région où la faune et flore étaient riches et variées. C'était l'époque où l'homme préhistorique inscrivait sur les falaises du Tassili ou sur les parois rocheuses de la Saoura et du Tidikelt, le témoignage de cette nature prolifique.

L'évolution du climat vers une désertification de plus en plus intense a conduit l'homme qui vivait au Sahara, soit à émigrer vers les zones plus clémentes, soit à s'adapter aux nouvelles conditions de vie. Pour ce la vie et même la survie étaient liées à l'eau. Cette eau essentiellement captée dans la nappe du continental Intercalaire, a été exploitée grâce aux systèmes de foggaras. [12]

A la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, l'apparition des forages devait permettre de donner un nouvel essor au développement du Sahara. Ce qui provoque l'apparition des nouveaux périmètres agricoles basés sur l'irrigation par forage. Exploités dans la nappe du CI d'une façon intensive on ne tient pas compte des foggaras qui sont en voie de disparition.

Le Sahara algérien a fait l'objet de plusieurs études hydrogéologiques et géologiques, en vue de l'exploration de la nappe du Continental Intercalaire [15]

En 1960, A. Cornet a achevé l'étude hydrogéologique du Sahara algérien qui est toujours considérée comme une référence dans le domaine. Elle comporte les divers aspects géologiques et hydrogéologiques des nappes aquifères dans le Sahara d'Algérie. Suite à ces nombreux travaux, une autre vaste étude de la nappe est engagée en collaboration entre l'Algérie et la Tunisie sous l'égide de l'Unesco entre 1968 et 1972. D'importants moyens matériels et humains sont alors déployés dans le cadre du projet ERESS : Etude des ressources en eau du Sahara septentrional.

Cette étude couvre une superficie de 800 000 km<sup>2</sup> et concerne l'Algérie et la Tunisie. Une actualisation de l'étude ERESS est réalisée et présentée en 1981 dans le rapport PNUD : Actualisation de l'étude des ressources en eau du Sahara septentrional. L'objectif principal de ces dernières études est l'évaluation de la demande en eau des régions sahariennes entre 2000 et 2010 dans le but de construire un modèle mathématique du Continental Intercalaire dont les résultats permettront une meilleure exploitation des eaux du Continental Intercalaire tout en minimisant l'impact sur l'environnement. [16]

Afin de préserver les ressources fossiles et éviter, ou minimiser, les impacts environnementaux associés à leur combustion, on se doit de diversifier les ressources énergétiques et de développer des technologies capables de puiser économiquement l'énergie de ces ressources. En effet, les différents modèles de prédiction s'accordent à prévoir l'épuisement des ressources fossiles dans quelques dizaines d'années.

Devant l'augmentation vertigineuse du prix des combustibles fossiles ces derniers temps, les problèmes économiques sont venus s'ajouter aux problèmes environnementaux et aux appréhensions d'éventuelles difficultés d'approvisionnement.

En Algérie, la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment représente plus que le tiers de la consommation d'énergie du pays. De plus, avec l'amélioration du niveau de vie, cette proportion risque d'être d'augmenter, ce qui serait préjudiciable au bilan énergétique du pays et entraînerait une pollution significative.

Afin d'accroître le confort et réduire la consommation d'énergie de chauffage et de climatisation, on doit maîtriser la consommation énergétique du secteur et développer l'utilisation d'énergies non - fossiles et non - polluantes. Parmi ces dernières, une forme d'énergie renouvelable qui semble être bien adaptée au domaine du chauffage et de la climatisation dans le bâtiment est la géothermie.

L'énergie géothermique est l'une des plus importantes sources d'énergies renouvelables dans le monde. Les utilisations de cette énergie sont multiples. Elles ont des

utilisations directes telles que la pisciculture, le chauffage des serres et la balnéothérapie et les utilisations industrielles telles que la production d'électricité.

La géothermie s'intéresse à l'exploitation des sources d'eau chaude en profondeur. Elle constitue l'une des principales ressources d'énergie renouvelable dans le monde.

La plus ancienne application des sources thermales dans le monde est la balnéothérapie. La plus importante exploitation de la géothermie dans le domaine de la production d'électricité a connue le jour en Italie en 1904, par le prince Piero Ginori Conti à Larderello en Italie.

L'Algérie, de part sa situation géographique (zone à forte activité tectonique) est considérée parmi les pays riches en eaux thermominérales.

Si le potentiel des ressources géothermiques du Nord de l'Algérie est bien connu, pour le Sud algérien aucune étude détaillée n'a été encore menée.

La présente étude a été réalisée au niveau de l'ANRH Adrar pour but d'obtenir un diplôme de Master 2 en physique énergétique. Elle rentre dans le cadre de la réalisation d'un système d'information géographique par Arc gis des ressources géothermales dans la région d'Adrar et l'évaluation le potentiel géothermique dans cette région.

La région de la présente étude se situe dans le Sud Algérien ; plus exactement dans le sud – ouest de l'Algérie dans la partie centrale du Sahara algérien.

Le but principal de ce travail est la réalisation d'un système d'information géographique des sites géothermales, ainsi que l'évaluation du potentiel géothermique dans la région d'Adrar au Sud Algérien à travers une esquisse du gradient géothermique et du flux de chaleur.

Dans cette étude, et dans un premier stade, nous avons exploité surtout les données hydrogéologiques des forages d'eau et pétrolières selon la disponibilité.

Les principaux points qui ont été développés dans ce mémoire sont :

- Une synthèse géologique et hydrogéologique qui permet de situer la région d'étude et ces différentes caractéristiques géologiques et hydrogéologiques à la lumière des anciens travaux.
- Une introduction sur le domaine de la géothermie qui est principalement destinée à présenter la géothermie pour le lecteur, à travers un historique sur la géothermie, et les divers domaines d'intérêt de cette nouvelle science.
- Un aperçu sur la place de la géothermie dans le monde. Cette partie donnera une idée sur les différentes réalisations dans le domaine de l'exploitation de la géothermie dans le monde et les projets futurs pour cette science.
- Une présentation de la géothermie en Algérie. Cette partie nous illuminera sur quelques réalisations dans le domaine de la recherche géothermique en Algérie suivie par les applications déjà entreprises dans ce contexte.
- Un aperçu sur l'ArcGis et ses applications pour la constitution d'un SIG géothermique de la région d'étude qui répond au besoin des utilisateurs.
- La conception et la réalisation d'un système d'information géographique 'SIG' intégrant les informations sur les potentialités géothermiques et méthodes d'élaboration de toutes les cartes permettant l'usage de la géothermie dans la région d'Adrar.
- Une partie présente les caractéristiques géothermiques du réservoir qui permettent l'analyse et le traitement des données géothermiques utilisées pour l'élaboration des différentes cartes.

Cartographie détaillée qui comporte :

- Carte de distribution géographique des points d'eaux consultées servants comme données géothermiques
- Carte des profondeurs des forages consultés

- Carte piézométrique de région d'étude
- Carte des températures des points géothermiques
- Mise en évidence des zones d'intérêt géothermique à travers les cartes de gradient géothermique et de flux de chaleur.
- Cette étude se termine par une interprétation des résultats obtenus suivie d'une conclusion.

***CHAPITRE I***  
***PRESENTATION DE LA REGION***  
***D'ADRAR***

## I.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE :

La wilaya d'Adrar se situe dans le sud – ouest de l'Algérie ; elle s'étend entre les coordonnées géographiques :

- - Les longitudes entre 0°30`E et 0°30`a l'Ouest
- - Les latitudes entre 26°30`et 28°30`au Nord
- - Avec une altitude moyenne de 222m

La wilaya couvre une superficie totale de 443782 km<sup>2</sup>.C'est-à-dire 17,97 % de la superficie totale de l'Algérie, occupée par une population de 432.193 habitants répartie sur 11 daïra et 28 communes. Elle est bordée au nord par les wilayas d'El Bayedh et de Ghardaïa, à l'ouest par les wilayas de Béchar et Tindouf, à l'est par la wilaya de Tamanrasset, et au sud par la Mauritanie et le Mali.

- Géométriquement est limité :
- Au Nord par le grand Erg Occidental.
- Au Sud par le plateau du Tanezrouft.
- A l'Est par le plateau du Tademaït.
- A l'Ouest par l'Erg Chèche.

Divisée en quatre régions sahariennes naturelles représentées par :

- **Gourara:** Son centre administratif est la daïra de Timimoun, cette région regroupe tout les palmerais et les ksars de cette daïra et s'étend de Tabelkouza à Aougrout.
- **Touat:** Elle se prolonge du Brinkane jusqu'à Reggane; c'est la plus vaste des régions.
- **Tidikelt:** Cette région se prolonge d'Aoulef à Ain Saleh qui est le centre de la région
- **Tanezrouft :** région de Bordj Badji Mokhtar.

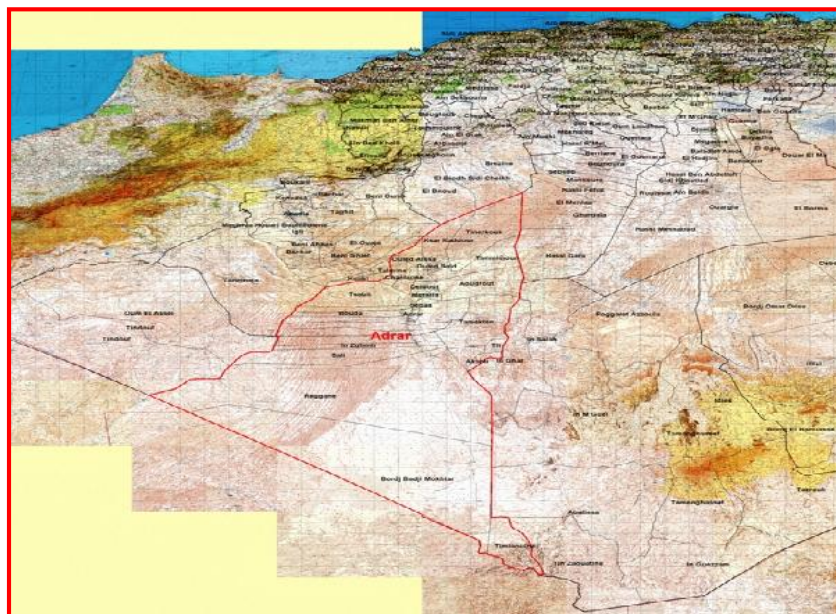


Figure I.1 : Localisation de la zone d'étude



**I.2 GEOMORPHOLOGIE :**

La région d'Adrar fait partie d'une grande zone allongée sensiblement orientée N – S. Elle renferme différents traits géomorphologiques distingués sont :

**A- La Plaine :**

C'est une vaste plaine (plateau), limitée vers l'Est par le plateau de Tademaït et vers l'Ouest par la dépression de Touat et se caractérise par une altitude maximum qui est de l'ordre de 300 m au pied du plateau de Tademaït, une pente faible de l'ordre de 0.1% à 0.2% et un pendage vers le Sud – Ouest et l'Ouest.

**B – La Dépression :**

La dépression se trouve le long de l'extrémité Ouest de la plaine et se caractérise par une largeur moyenne de l'ordre de 5 Km à 10 km, par exemple la dépression de Touat.

**C – Les Sebkhass :**

Les sebkhass sont des successions de petites sebkhass qui marquent la limite occidentale de la dépression et constituant l'exutoire naturel des eaux de la nappe aquifère.

Exemple : sebkhass de Tamentit

Généralement ces sebkhass ne sont pas en communication.

**D – Les Ergs :**

Toutes les nuances existent entre le simple voile sableux et les dunes massives constituées en ergs. L'erg Chèche est la forme d'accumulation sableuse la plus massive à l'ouest de la région.

Les autres ergs abritent une végétation éphémère, ces ergs sont formés artificiellement par des obstacles (affrègue) contre la progression du sable, comme les Ergs de Ikkis et Tillouline.

**E -Le Reg :**

C'est des grandes surfaces plates à une texture composée par des caillouteux (graveleux) en générale ; ce dernier d'âge quaternaire, on peut trouver des sables d'âge crétacé inférieur. Exemple Reg de Tanezrouft.

**F-Les terrasses d'apport éolien :**

D'après la nature des roches et la force (la vitesse du vent) d'agent érosif les terrasses sont classées à l'importance, dans la région de Touat elle est formée au cours de Quaternaire. [12]

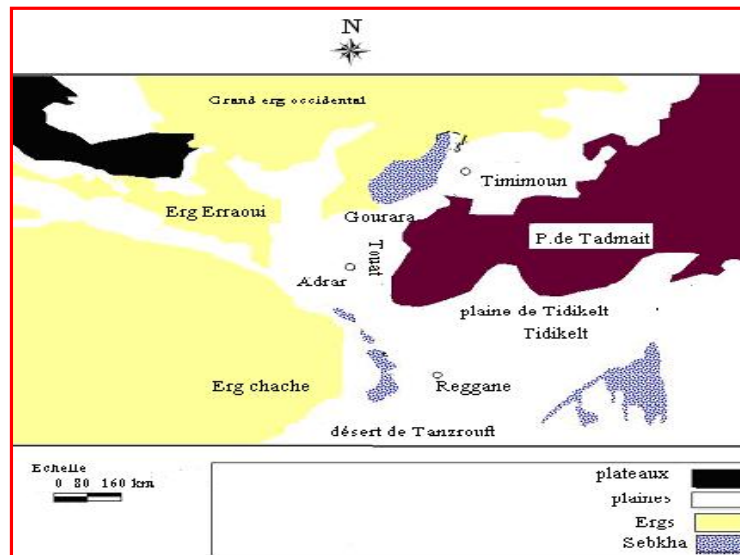


Figure I.2: carte géomorphologique de la région d'Adrar

### I.3 HYDROGRAPHIE :

#### I.3.1. Versant occidental du Tademaït :

Une ligne de partage des eaux bien marquée peut être tracée à travers le plateau du Tademaït. Elle sépare un versant occidental que l'on peut rattacher aux bassins du Sahara occidental, d'un versant oriental. Dans le bassin hydrographique du versant occidental on peut distinguer:

- Au Nord, le versant des oueds Mzaourou et El Berreg,
- À l'Ouest, le versant Meguiden - Gourara groupant l'ensemble des petits oueds descendant du premier rebord occidental du plateau,
- au Sud, le versant de l'O. Tilia,
- Au centre et à l'Est, un ensemble de petits bassins fermés centrés, du Nord au Sud, sur les Daiets. [6]

#### I.3.2. Oueds du versant Meguiden – Gourara :

Ces oueds sont réduits, actuellement, à leurs vallées supérieures, fort courtes. Ils descendent du premier contrefort occidental du Tademaït qui culmine entre 500 et 600 m et se perdent dans les daïas et les regs du Meguiden et du Gourara qui bordent le pied de la falaise. Les oueds du Méguiden ont été en crue en mars 1943 et octobre 1945. [6]

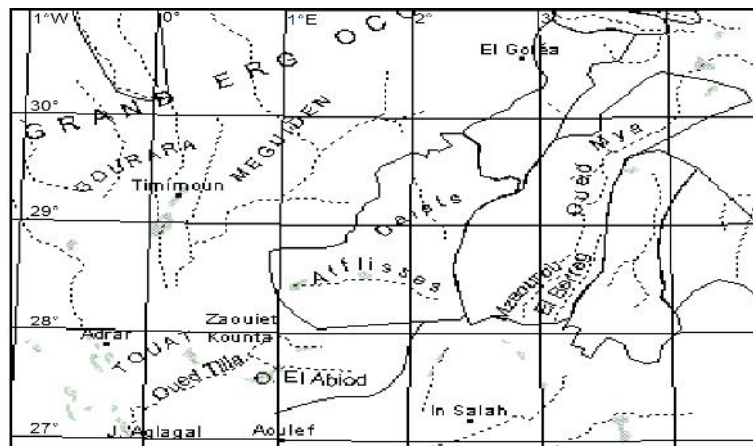
#### I.3.3. Oued Tilia :

L'Oued Tilia a son origine sur le versant occidental du Jebel Aglalal, vers 600 m d'altitude. Il descend assez rapidement de 300 m pour gagner les regs du Touat oriental. Il se perdait jadis dans la sebkha du Touat au niveau de Zaouit Kounta. Ses affluents, de In Belbel,

Marionne, En Nezoua, l'Abiod, sont encore actifs. Tous ces oueds ont été en crue en mois d'octobre et décembre 1951, ainsi qu'en janvier 1952. [6]

### **I.3.4. Bassin fermes des Daiets de Tademaït :**

Ces petits bassins fermés occupent une vaste gouttière allongée, NE-SW, du S de la région d'El Goléa au Touat. Elle est bordée à l'W, par le premier ressaut du Tademaït, à l'Est, par la falaise du plateau terminal. Elle présente deux pendages divergents, l'un vers la dépression des oueds Mzaourou et El Berreg, l'autre vers le Touat. Elle est ainsi partagée en deux parties inégales, un tiers au NE et deux tiers au SW. Actuellement, les Daiets peuvent encore être en eau de temps à autre. Des crues de leurs collecteurs ont été signalées [6]



**Figure I.3 : Bassins-versants du Tademaït**

### **I.3.5. Les Réseaux Hydrographiques :**

Dans ce bassin se trouvent réunis autour de la Saoura, prise comme artère maîtresse, tous les oueds qui se perdent, actuellement, dans le Grand Erg Occidental. On peut supposer qu'ils ont été, jadis, des affluents rive gauche de la Saoura ou de son prolongement, le Oued Messaoud qui constitue le grand oued de la région d'Adrar.

Dans la région d'Adrar les réseaux hydrographiques sont rares par rapport à la région de Béchar, elles sont représentées par oued Messaoud qui est la continuité d'oued Saoura vers le Nord ; ce dernier draine à partir de l'Atlas Saharien et Oued Tillia et ses affluents drainent (traversé) le plateau de Tademaït vers le Sud Est au niveau de Zaouiet Kounta. [6]

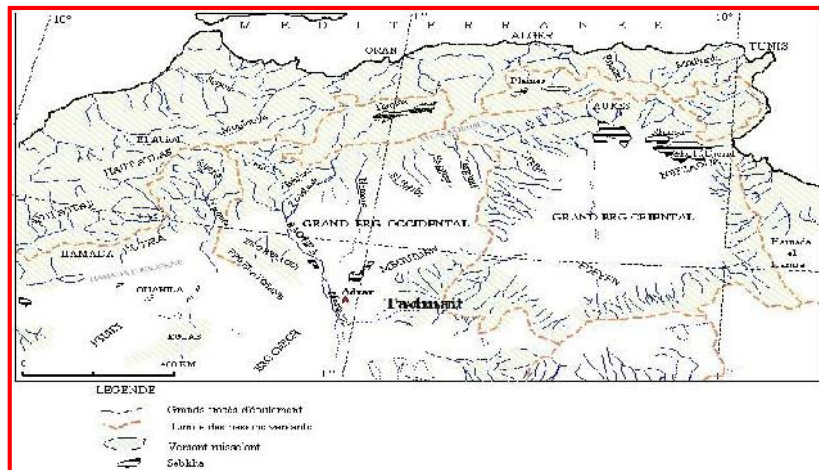


Figure I.4 : carte des bassins du Sahara et ruissellement

## I.4 CADRE PHYSIQUE :

### I.4.1. Les caractères généraux :

La wilaya d'Adrar est caractérisé par :

- Superficie : 443782 km<sup>2</sup>.
- Population : 432.193 habitants (2010).
- La densité de population est de 0,77/ km<sup>2</sup>.
- Code de wilaya : 01.
- Le nombre de daïras : 11.
- Le nombre de municipalités : 28.
- Le nombre de ksour s'élève à 294. [12]

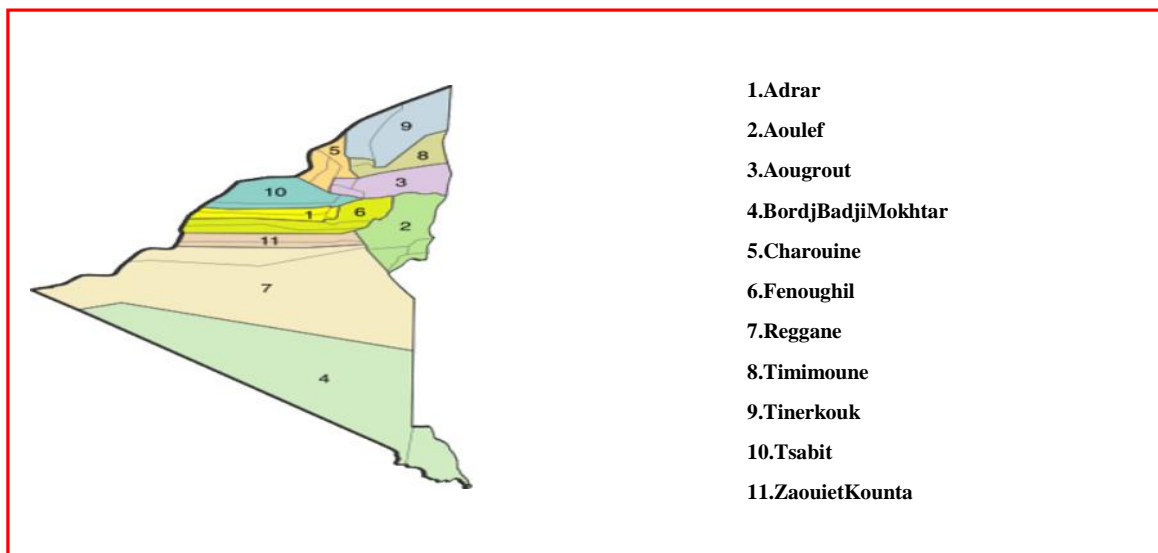


Figure I.5 : carte représenté les 11 daïras de wilaya d'Adrar et leur limites

<b>Daira</b>	<b>N° de communes</b>	<b>Communes</b>
<b>Adrar</b>	<b>3</b>	<b>Adrar, Bouda, Ouled Ahmed, Timmi.</b>
<b>Aoulef</b>	<b>4</b>	<b>Akabli, Aoulef, Tamekten, Tit.</b>
<b>Aougrouit</b>	<b>3</b>	<b>Aougrouit, Deldoul, Metarfa.</b>
<b>Bordj Badji Mokhtar</b>	<b>2</b>	<b>Bordj Badji Mokhtar, Timiaouine.</b>
<b>Charouine</b>	<b>3</b>	<b>Charouine, Talmine, Ouled aissa</b>
<b>Fenoughil</b>	<b>3</b>	<b>Fenoughil, Tamantit, Tamest.</b>
<b>Reggane</b>	<b>2</b>	<b>Reggane, Sali.</b>
<b>Timimoun</b>	<b>2</b>	<b>Ouled Said, Timimoun.</b>
<b>Tinerkoug</b>	<b>2</b>	<b>Ksar Kaddour, Tinerkoug.</b>
<b>Ksar Kaddour, Tinerkoug.</b>	<b>2</b>	<b>Sebaa, Tsabit.</b>
<b>Zaouiet Kounta</b>	<b>2</b>	<b>In Zghmir, Zaouiet Kounta.</b>

**Tableau I.1: Dairas et communes de la wilaya d'Adrar**

**I.4. 2. Activités de la population :**

**a) Agriculture :**

L'activité principale des habitants est l'agriculture, basée essentiellement sur la culture du palmier dattier qui occupe une superficie globale de 23532 ha. Est le soucie de la plupart des résidents de wilaya d'Adrar, surtout elle répond aux besoins du degré première de la population, en raison de la disponibilité de l'eau souterraine, ce qui facilite le processus de récupération des terres désertiques. [22]

<b>Désignation</b>	<b>Surface en ha</b>
<b>Superficie agricole totale</b>	337 650
<b>Superficie utilisée</b>	32 272
<b>Superficie irriguée</b>	23 814
<b>Par gravite</b>	18 814
<b>Par aspiration</b>	2 742
<b>Par goutte a goutte</b>	2 258

**Tableau I.2: répartition des surfaces agricoles dans la wilaya d'Adrar.**

**Les ressources en eau utilisées dans le domaine agricole sont :**

- Les foggaras au nombre de 855 avec un débit total de 3680 l/s.
- Les forages au nombre de 964 avec un débit total de 9120 l/s.
- Les puits au nombre de 4898 avec un débit total de 9820 l/s.

**b) Commerce :**

Où le commerce de transit (troc) avec les pays d'Afrique sub-saharienne, où il est exporté plusieurs produits agricoles comme le palmier dattier, le tabac, etc., et l'importation de nombreux produits tels que les bovins et les chameaux. En voie de la construction de ce secteur en raison de programmes de relance économique adopté par le Président de la République. Ces derniers temps le secteur des hydrocarbures a enrichi après les découvertes de gaz naturel important et d'huile dans la région. Le tourisme est une attraction touristique en raison de la présence de plusieurs régions touristiques les plus importants celle de Timimoun, Tamentit. Mais l'investissement touristique reste toujours faible.

**I.5 CLIMATOLOGIE**

**I.5.1 Introduction**

Le climat de la région d'Adrar est désertique continental caractérisé par une forte variation de température entre les mois les plus chauds (Juillet, Août) où elle dépasse 48 °C et les mois les plus froids (décembre, Janvier) où elle atteint 12°C. Les précipitations sont très réduites en fréquence et en volume avec un indice d'aridité de 4.6 à 5 qui correspond à un type de climat aride.

**I.5.2 LES PHENOMENES THERMIQUES :**

**I.5.2.1 La nébulosité :**

La nébulosité est la fraction du ciel, exprimée en dixièmes, qui est couverte par les nuages, ainsi si le ciel est clair, la nébulosité est minimale à nulle. Par définition c'est l'état du ciel ou la fraction du ciel couvert, quel que soit leur nature un ciel totalement couvert les chiffres 10 sont assignés par contre un ciel totalement clair ou dégagé des nuages le chiffre 0 est assigné.

<i>Mois</i>	<i>SE</i>	<i>OC</i>	<i>NO</i>	<i>DE</i>	<i>JA</i>	<i>FE</i>	<i>MAR</i>	<i>AV</i>	<i>MAI</i>	<i>JU</i>	<i>JUI</i>	<i>AO</i>
<i>Néb</i>	0.5	1.1	1.2	1.6	1.3	0.8	0.6	0.5	0.3	0	0	0.1

**Tableau I.3 : Nébulosité moyenne mensuelle durant la période 1975-1984.**

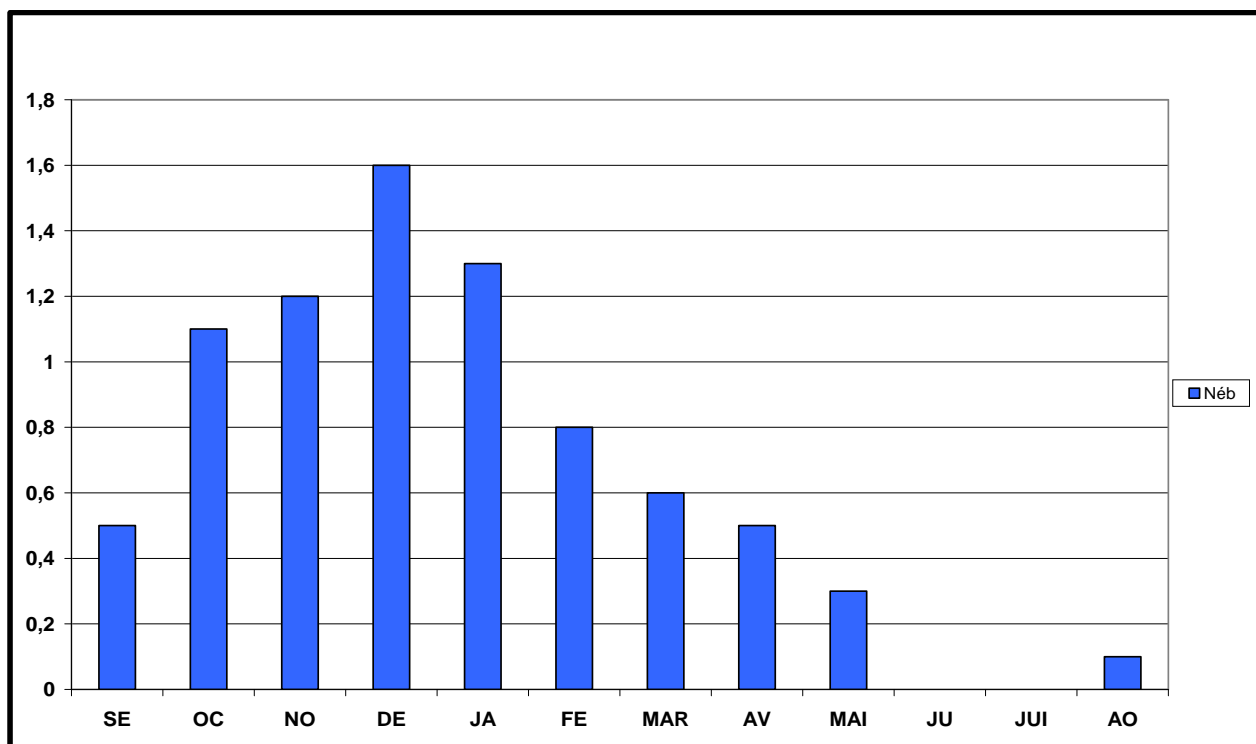


Figure I.6 : Nébulosité moyenne mensuelle (1975-1984).

A partir du graphe de la (fig.I.6) on remarque que les valeurs maximales de la nébulosité sont enregistrées en période hivernale (décembre) où elles atteignent la valeur de 1.6. Pendant la période d'été le ciel est totalement clair et les valeurs de la nébulosité sont nulles (nébulosité minimale) ou mois de Juin et juillet.

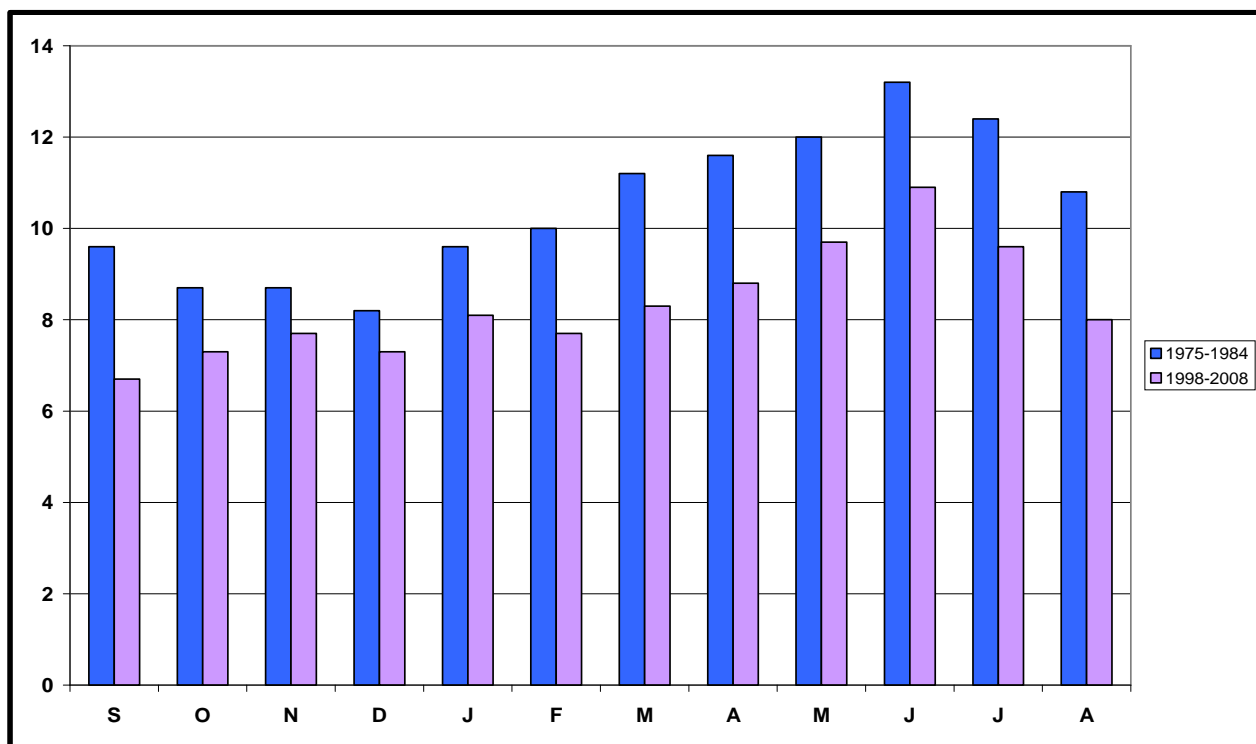
### I.5.2.2 L'insolation :

C'est la période durant laquelle le soleil a brillé sur le sol, notons qu'il existe deux expressions de l'insolation

- **Insolation possible** : c'est la période possible durant laquelle le soleil pourra briller on suppose que le ciel est dégagé du nuage, elle base sur les calculs astronomique duré du jour.
- **Insolation effective** : c'est la période durant laquelle le soleil a brillé le sol, elle est mesurée par l'héliographe.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1975-1984(h/j)	9.6	8.7	8.7	8.2	9.6	10	11.2	11.6	12	13.2	12.4	10.8
1998-2008(h/j)	6.7	7.3	7.7	7.3	8.1	7.7	8.3	8.8	9.7	10.9	9.6	8

Tableau I.4 : Moyennes mensuelles d'insolation durant les périodes (1 975–1984 et 1998-2008)



**Figure I.7 : Moyennes mensuelles d'insolation durant les périodes en h/j (1975 – 1984 et 1998 – 2008)**

Dans la région d'Adrar les fortes valeurs de l'insolation ont lieu en été avec un maximum de l'ordre de (10.9 et 13.2 heures/j) en deux périodes, elles caractérisent le mois de juin. Par contre les faibles valeurs ont eu lieu dans la saison froide l'hiver avec une valeur minimum enregistrée au mois de décembre est égale à 7.3 heures/j. La moyenne annuelle de l'insolation est importante et égale à 8.3 heures/j soit 3960.25 h/an, En (1998-2008).

**I.5.2.3 Température :**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Min °c	23.2	16.4	9.5	5.6	4.5	7.2	10.8	15.6	19.3	24.8	26.8	26.7
Max °c	39.8	32.8	25.4	21.6	20.3	23.8	27.8	32.2	36.2	42.5	44.9	44.3
Moy °c	31.8	24.5	17.2	13.2	12.1	15.4	19.6	24.3	28.4	34.4	36.5	36

**Tableau I.5 : Les moyennes mensuelles des températures de la période (1990-2008)**

On enregistre des températures minimales absolues comprises entre 4.5°C durant la période allant de novembre à février, le reste de l'année, elles sont supérieures à 4.5°C et ne dépassent pas 28°C. Alors que le maximum absolu observé est supérieur à 30°C durant toute l'année.

La moyenne des maxima mensuels est comprise entre 25°C – 44,9°C.

Durant la période allant de juin à septembre, on observe des températures élevées supérieures à 42.5°C. Ces dernières ont une influence sur le choix des cultures et provoquent des accidents de végétation.



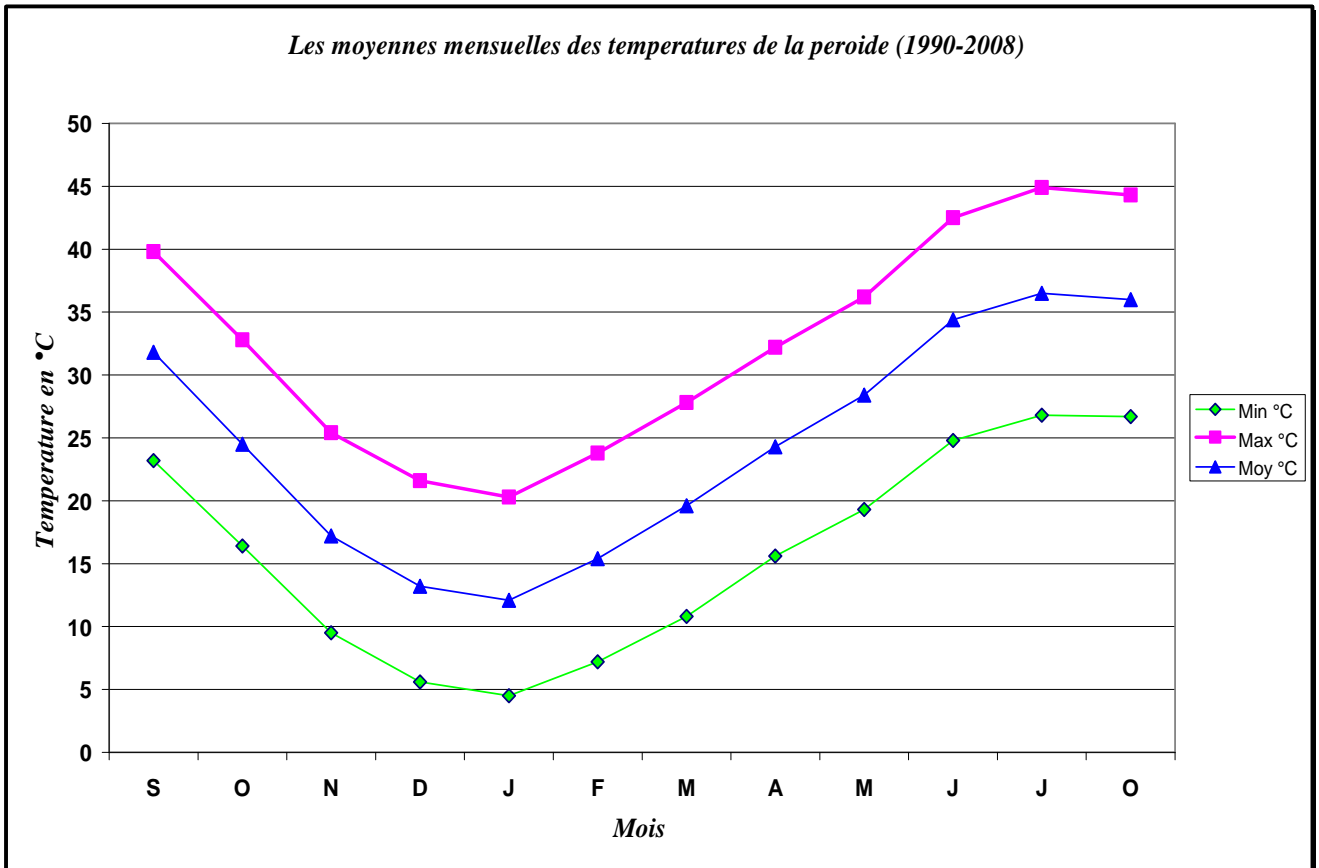


Figure I.8 : Les moyennes mensuelles de températures de la période (1990-2008)

Dans La région d'étude les fortes températures supérieures à 30°C, de mars à novembre, provoquent selon Vinas et Joukov (1974) des accidents de végétation chez de nombreuses plantes limitant le choix des cultures envisageable dans la région.

On distingue deux saisons :

Une saison chaude qui s'étend de Mai jusqu'à Septembre. Nous devons signaler qu'en août les températures deviennent insupportables.

Une saison froide caractérisée par des nuits hivernales très froides. C'est la saison de germination des plantes, elle s'étend d'Octobre à Avril. [12]

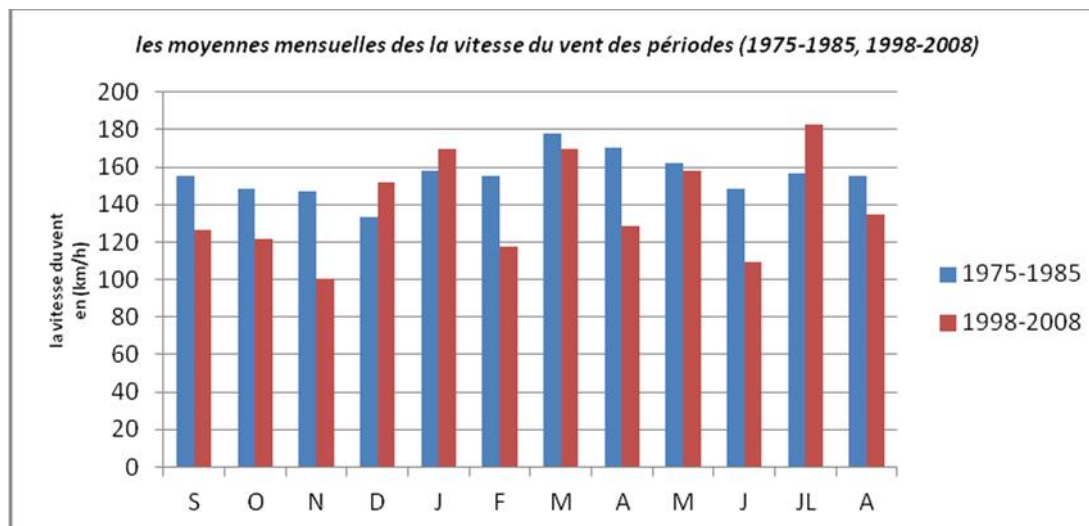
**I.5.2.4 Les vents :**

Le vent est un des éléments les plus caractéristiques du climat. On relève que les vents sont fréquents durant toute l'année. Les valeurs des vitesses supérieures à 5m/s représentent une fréquence de 20 à 40%. Les vents dont la vitesse est supérieure à 20 - 47 m/s (72-170km/h) sont observés dans la région. La direction des vents dominants est de secteur Nord - Est et Nord, sauf en juillet et Août où elle est de secteur Est et Nord - Est avec une fréquence de 25% pour le Nord – Est et 16% pour le secteur Nord. En été, les vents sont chauds et secs, de direction SE et SO et sont accompagnés de sables.

Le tableau suivant présente les moyennes mensuelles des la vitesse du vent des périodes (1975-1985, 1998-2008) en km/h [12]

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JL	A
1975-1985 (m/s)	155,5	148,5	147,2	133,3	158,3	155,5	178,2	170,1	162	148,5	156,6	155,5
1998-2008 (m/s)	126,6	121,9	100,5	151,6	169,7	117,6	169,4	128,8	157,9	109,2	182,5	135

**Tableau I.6 : les moyennes mensuelles des la vitesse du vent en m/s des périodes (1975-1985, 1998-2008)**



**Figure I.9 : les moyennes mensuelles des la vitesse du vent en m/s des périodes (1975-1985, 1998-2008)**

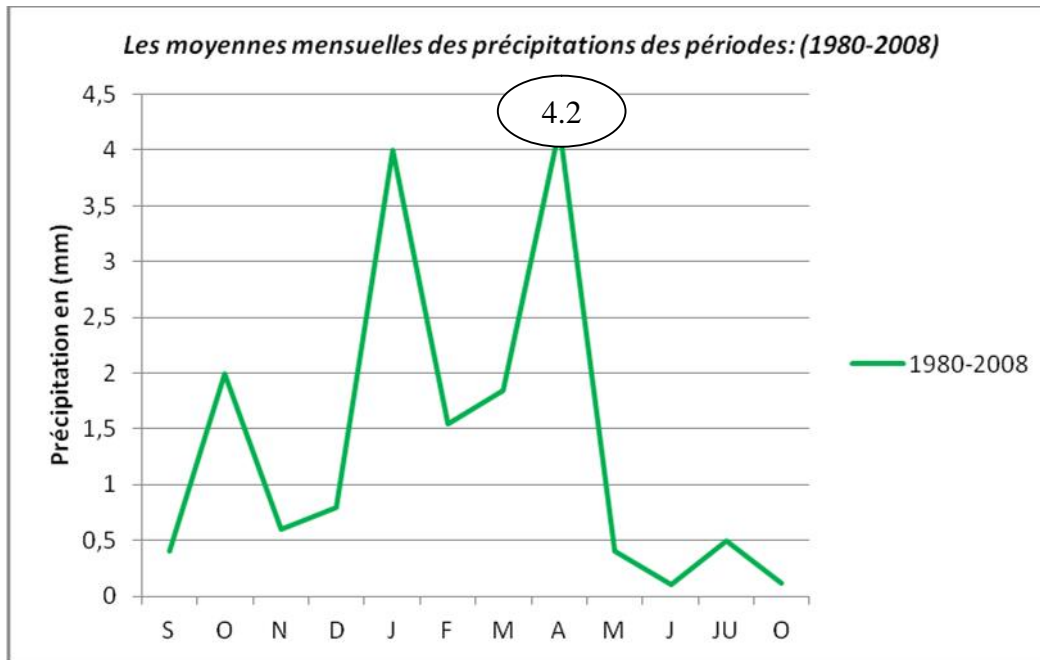
**I.5.2.5 Précipitation :**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JU	O	Nov
1980-2008 (mm)	0.4	2	0.6	0.8	4	1.55	1.85	4.2	0.4	0.1	0.5	0.12	16.52

**Tableau I.7 : Les moyennes mensuelles des précipitations des périodes: (1980-2008)**

D'après la (fig.I.10) nous remarquons que la période la plus pluvieuse est celle de L'hiver (4.2 mm en février), alors que l'été est le plus sec. Les précipitations sont presque nulles en Juin.

On remarque aussi, le pic du mois d'Avril où les précipitations atteignent leurs maximums pour la deuxième période. Ce sont les crues du printemps, caractéristiques du climat saharien, ces dernières sont responsables de la recharge de la nappe.



**Figure I.10 : Les moyennes mensuelles des précipitations des périodes: (1980-2008)**

Les précipitations sont très irrégulières d'une année à l'autre. Cette situation s'explique par l'éloignement de la région de la mer et par une masse d'air tropicale se caractérise par la haute température qui emmène le plus souvent des vents violents, du sirocco avec quelques précipitations enregistrées au début d'Automne et en été. La faible quantité des précipitations est due à l'influence de deux facteurs :

- **Le facteur géographique :** l'altitude de la région, latitude et l'éloignement de la mer
- **Le facteur météorologique :** la région est influencée par une masse d'air tropical continentale qui provient de la direction Sud et Sud – Est, ces masses d'air se caractérise par la haute température et donne les plus sauvages des vents des siroccos et fournissent quelque maigre précipitation souvent ces pluies sont violentes et momentanées et qui se manifeste seulement en été ou au début de l'automne.

Les faibles valeurs du nombre des jours des pluies dans la région d'Adrar est du probablement à la forte température qui caractérise la région durant toute l'année et par conséquent les basses couches de l'atmosphère se réchauffe et les gouttes des pluies s'évaporent avant d'atteindre le sol.

## **I.5.2 LE REGIME HYDRIQUE :**

### **I.5.2.1 L'humidité atmosphérique (l'air) :**

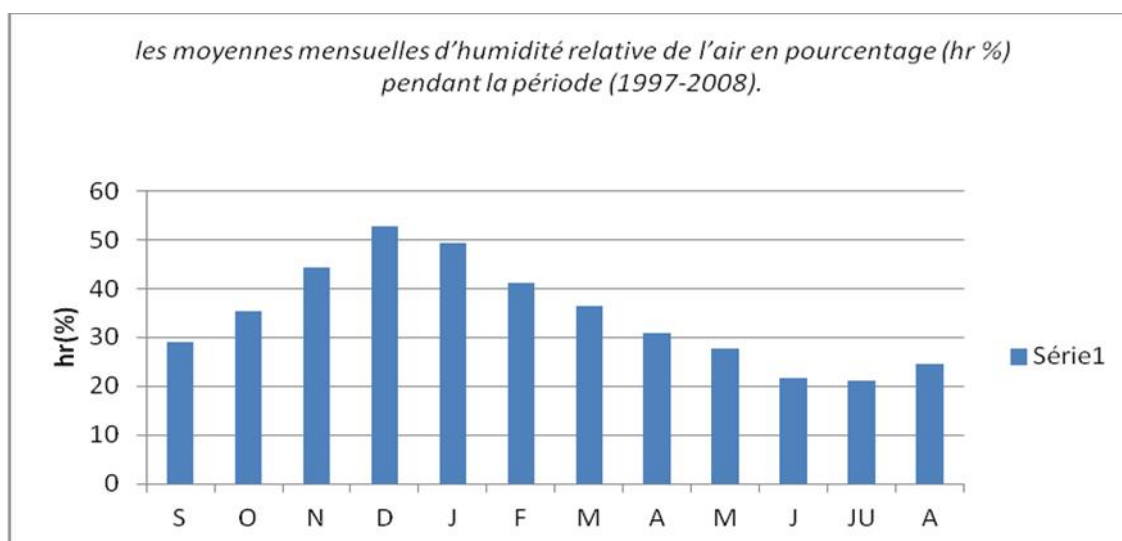
Par définition, c'est le rapport entre la pression partielle de vapeur d'eau dans l'air et la pression de saturation, elle est exprimée en pourcentage. Elle croît à partir du sol pour atteindre son maximum ( $hr = 100\%$ ) au niveau des couches nuageuses. Elle nous renseigne sur l'état de saturation de l'atmosphère.

La moyenne annuelle de l'humidité dans la région d'Adrar ne dépasse guère  $27,25\%$ . Les moyennes mensuelles de l'humidité sont au-dessous de la médiane ( $50\%$ ). Les fortes valeurs de l'humidité sont enregistrées durant la saison d'hiver et la valeur maximale

moyenne enregistrée est celle du mois de Décembre qui est de l'ordre de 62.5 %. Les faibles valeurs caractérisant la saison la plus chaude ou on trouve que l'humidité relative de l'air ne dépasse pas les 30 % et la valeur minimale moyenne est celle du mois de Juillet qui est de l'ordre de 30.6 %. [12]

Période	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JU	A	moy
1997-2008 (%)	29.17	35.30	44.37	52.87	49.45	41.22	36.5	30.82	27.82	21.65	21.17	24.65	34.58

**Tableau I.8 : représente les moyennes mensuelles d'humidité relative de l'air en pourcentage (hr %) pendant trois périodes.**



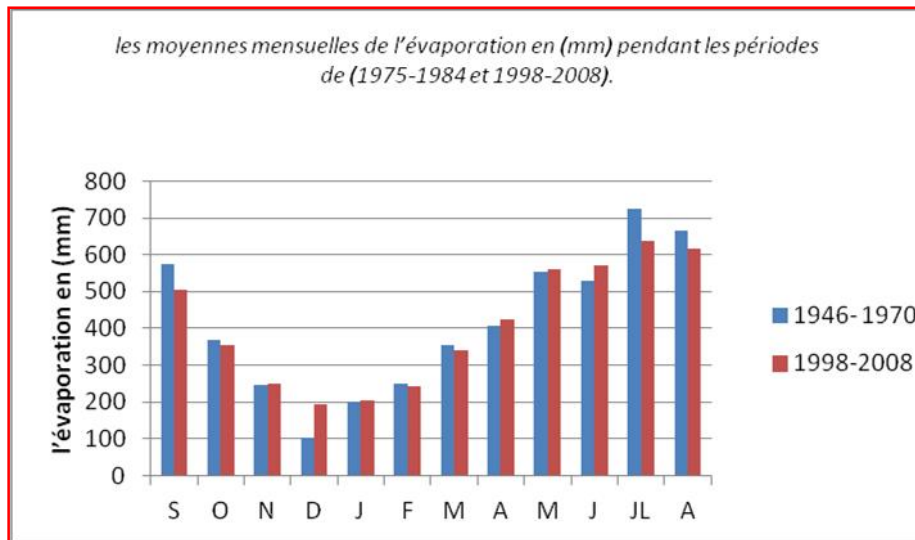
**Figure I.11 : les moyennes mensuelles d'humidité relative de l'air en pourcentage (hr %) pendant la période (1997-2008).**

**I.5.2.2 L'évaporation :**

C'est un phénomène naturel dans lequel l'eau passe à l'état gazeux sous l'effet de la température. Elle est purement physique et dépend des autres facteurs climatiques. Elle touche aussi bien les surfaces d'eau libres que les quantités d'eau retenues dans les couches peu profondes du sol. [12]

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JL	A	somme
1946-1970 (mm)	573	369	245	104	200	248	354	408	555	530	724	665	5003
1998-2008 (mm)	504	354	248	194	206	241	339	425	560	570	638	616	4895

**Tableau I.9 : représente les moyennes mensuelles de l'évaporation en (mm) pendant les périodes de (1975-1984 et 1998-2008).**



**Figure I.12 : les moyennes mensuelles de l'évaporation en (mm) pendant les périodes de (1975-1984 et 1998-2008).**

L'évaporation est très élevée avec un total de 5000 mm/an. Les valeurs mensuelles se trouvent supérieures à 200 mm, alors que le maximum est obtenu au cours de la période (Juillet – Août) avec une valeur de 724 mm.

Les données sur l'évaporation sont relatives aux observations faites par l'ENEMA (méthode tube fiche). Période : 1946- 1970. [12]

## I.6. GEOLOGIE :

### I.6.1 Introduction

L'histoire géologique de l'Algérie s'inscrit dans une longue évolution géodynamique. Dans son état actuel, l'Afrique du Nord correspond à une zone ayant subi plusieurs phases de déformation et de sédimentation depuis le Précambrien. La géologie de la partie septentrionale de l'Algérie est marquée par l'empreinte de l'orogénèse alpine (domaines telliens et atlasique). Le linéament majeur du pays correspond à la flexure sud-atlasique qui sépare l'Algérie alpine au Nord de la plate-forme saharienne au Sud, constituée pour l'essentiel de terrains du Précambrien et du Paléozoïque. Cette plate-forme a peu évolué depuis la fin du Paléozoïque et correspond à un domaine cratonique relativement stable. [7]

Le but de l'étude géologie c'est la détermination de la lithologie d'aquifère de continental intercalaire (CI) dans la région d'étude.

**I.6.2 CADRE GEOLOGIQUE REGIONALE :**

La plate-forme saharienne, située au Sud de la flexure sud-atlasique s'étend sur une superficie de 8.000.000 km<sup>2</sup>, concernant plusieurs pays du Nord du continent africain. Elle constitue un domaine cratonique stable depuis le Paléozoïque. On y rencontre des terrains très anciens, du Protérozoïque mis en place à l'Archéen et lors de l'orogénèse éburnéenne. Ces formations constituent de vieux boucliers stables, comme le bouclier Réguibat. Le bouclier du Hoggar, également très ancien, a subi de surcroît les effets de l'orogénèse panafricaine

On reconnaît dans cette plate-forme plusieurs zones subsidentes qui ont conduit au développement d'importants bassins sédimentaires qui se développent entre les boucliers. Ils sont caractérisés par des subsidences et des déformations variables et sont limités par des môles. Dans la partie algérienne de la plate-forme, les bassins les plus importants sont ceux d'Illizi - Berkine à l'Est, de Hassi Messaoud, Hassi R'mel et de l'Oued Meya au centre, et de Tindouf, de Béchar, de Reggane, d'Ahnet, Sbaa, et de Timimoun à l'Ouest (fig I.13). Les séries paléozoïques, discordantes sur le socle et qui forment le remplissage de ces bassins, ont des épaisseurs importantes, dépassant souvent les 8000 m [7]. Les épaisseurs sont très variables et des lacunes sédimentaires ont été identifiées. Les séries sédimentaires du Paléozoïque, essentiellement détritiques, ont été affectées par les déformations du cycle orogénique calédonon - varisque. [7]

La série sédimentaire méso-cénozoïque de la plate-forme saharienne, peu épaisse (< 850 m), repose en discordance sur le Paléozoïque.

D'importants cordons dunaires recouvrent la plate-forme, comme les Grands Ergs Occidentale Oriental au Nord, l'Erg Chech qui recouvre en partie la désolante surface du plateau du Tanezrouft et l'Erg Iguidi aux confins de la Mauritanie.

**I.6.2.1 LES BASSINS SEDIMENTAIRES :**

Les bassins sédimentaires de la plate-forme saharienne correspondent à des grandes dépressions remplies de sédiments marins, fluviatiles et lacustres qui reposent en discordance sur la surface infra - tassilienne formée avant le Cambrien. Le substratum de cette surface, dont les structures sont héritées de la déformation panafricaine, correspond à un ensemble de panneaux qui demeurent mobiles au cours du Paléozoïque. Cette organisation structurale contribue, entre autres, aux remarquables variations d'épaisseurs des accumulations sédimentaires du Paléozoïque d'une zone à l'autre de la plate-forme saharienne. C'est dans ce contexte que se développent les bassins sédimentaires qui sont de caractère intra-cratonique. La (fig I.13) présente la localisation de ces différents bassins. Parmi les grands bassins sédimentaires de la partie occidentale de la plateforme saharienne algérienne, on reconnaît :

**I.6.2.1.1. Le bassin de Tindouf :**

Qui correspond à une dépression dissymétrique qui s'appuie en pente douce sur le bouclier Réguibat au Sud, alors que le flanc nord est fortement redressé vers sa limite nord, au contact de l'Anti-Atlas marocain. Il s'agit d'un bassin épicrotonique qui s'est développé sur la marge nord du craton ouest-africain et du bassin de Taoudéni.

Son remplissage sédimentaire s'effectue du Cambrien au Carbonifère inclus et son épaisseur atteint entre 8000 et 10000 m. [13] Les dépôts, principalement argilo-gréseux, se sont mis en place dans des environnements fluviatiles à marins peu profonds.

Le Dévonien moyen et le Viséen renferment des niveaux plus carbonatés. La série méso-cénozoïque qui repose en discordance sur le Paléozoïque a une puissance variable qui ne dépasse pas 130 m.

**I.6.2.1.2. Le bassin de Reggane :**

Est recouvert pour l'essentiel par les importants cordons dunaires de l'Erg Chèche. Il se développe entre le long de la bordure sud-ouest des monts d'Ougarta et le bouclier Réguibat. Il se prolonge vers le S E par le haut-fond du Bled El Mass – AzzelMatti et est séparé vers l'Ouest par le seuil de BouBernous.

Le flanc nord-est du bassin est redressé au contact du système plissé de l'Ougarta. La colonne sédimentaire de 6500 m d'épaisseur est très semblable à celle du bassin de Tindouf. La couverture sédimentaire mésozoïque ne dépasse pas les 300 m d'épaisseur.

**I.6.2.1.3 La cuvette de Sbaa :**

Qui occupe la partie sud-ouest du bassin de Timimoune correspond à un étroit (60 km) sillon d'orientation NW-SE qui borde les flancs nord-est des monts d'Ougarta. L'épaisseur des sédiments est relativement peu importante par rapport au reste du bassin de Timimoune (8000 m), puisqu'elle est comprise entre 2500 et 3000 m.

La colonne sédimentaire phanérozoïque repose sur un socle granitique précambrien et sur des formations détritiques argilo-gréseuses et ferrugineuses d'âge infracambrien.

Il s'agit d'une unité molassique datée à  $550 \pm 30$  MA pour la partie inférieure et à  $487 \pm 18$  MA

Pour les argiles qui les surplombent. Le remplissage est constitué de formations sédimentaires du Paléozoïque surmontées en discordance de 830 m de séries du Mésozoïque. Cette discordance témoigne du plissement varisque de la région.

Les dépôts du Paléozoïque sont dominés par un faciès argilo-gréseux avec des niveaux carbonatés interstratifiés datés du Dévonien moyen et du Frasnien.

**I.6.2.1.4 Le bassin de l'Ahnet :**

Situé au Sud du bassin de Timimoune et dans le prolongement de la cuvette de Sbaâ, entre le haut-fond de Bled El Mass – AzzelMatti et le bouclier du Hoggar. La série sédimentaire, analogue à celle présente dans la cuvette de Sbaa, y est plus épaisse que dans cette dernière, puisqu'elle atteint une puissance de 8000 m.

La couverture méso-cénozoïque n'est que très peu développée.

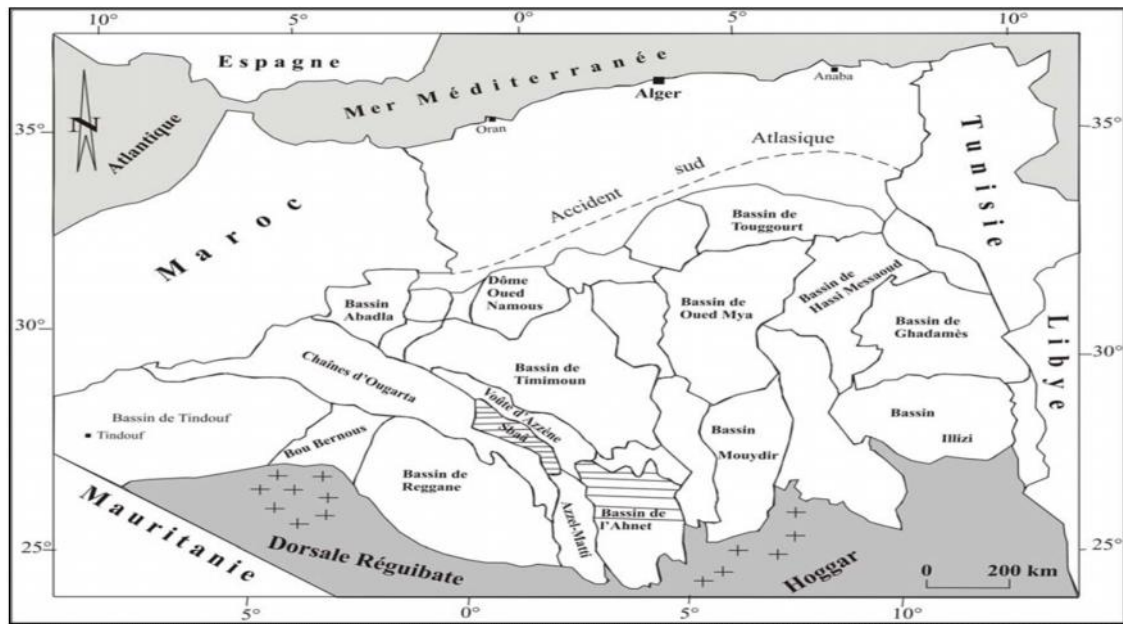


Figure I.13: Les bassins les plus importants de la plate-forme saharienne en Algérie. [13]

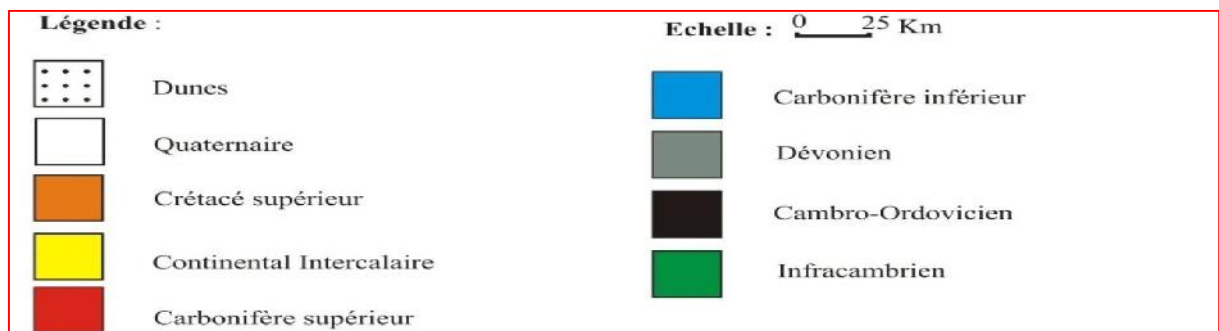
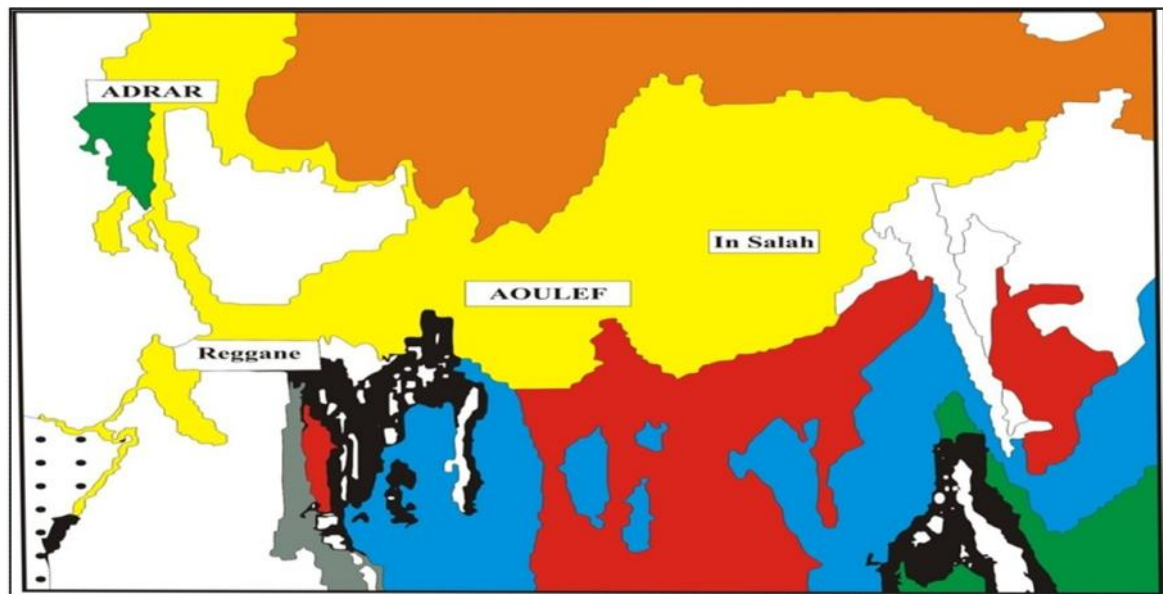


Figure I.14 : Carte géologique de la région d'étude [4]



**I.6.2.2 CADRE GEOLOGIQUE LOCALE :**

La région d'Adrar est située sur le rebord Nord occidental ; elle est caractérisé par un socle précambrien dérobé la couverture des dépôts sédimentaires d'âge phanérozoïques transgressifs. La dépression de Touat est remplie par des dépôts paléozoïques (cambrien à namurien) d'un vaste bassin sédimentaire d'âge secondaire qui s'étend de l'atlas saharien au Nord à la hamada de Tihirt et le plateau du Tademaït au sud et le Touât- Gourara à l'Ouest jusqu'au golf de Gabes au Nord- Est. Du Tidikelt au Gourara l'ensemble structural est le continental intercalaire (CI) qui vient se terminer en biseau sur le substratum primaire, ce dernier affleure en surface à la faveur de la disparition des formations du continental intercalaire dans la dépression de la vallée de la Saoura qui forme la limite occidentale. Dans la région de Reggan l'auréole du primaire s'interrompt et les formations du CI se prolongent vers le plateau du Tanezrouft au sud-ouest. [13]

**I.6.3 LA LITHOSTRATIGRAPHIE :**

D'après Sonatrach et Schlumberger la coupe suivante représente la Lithostratigraphie de bassin occidental (fig.I.15).

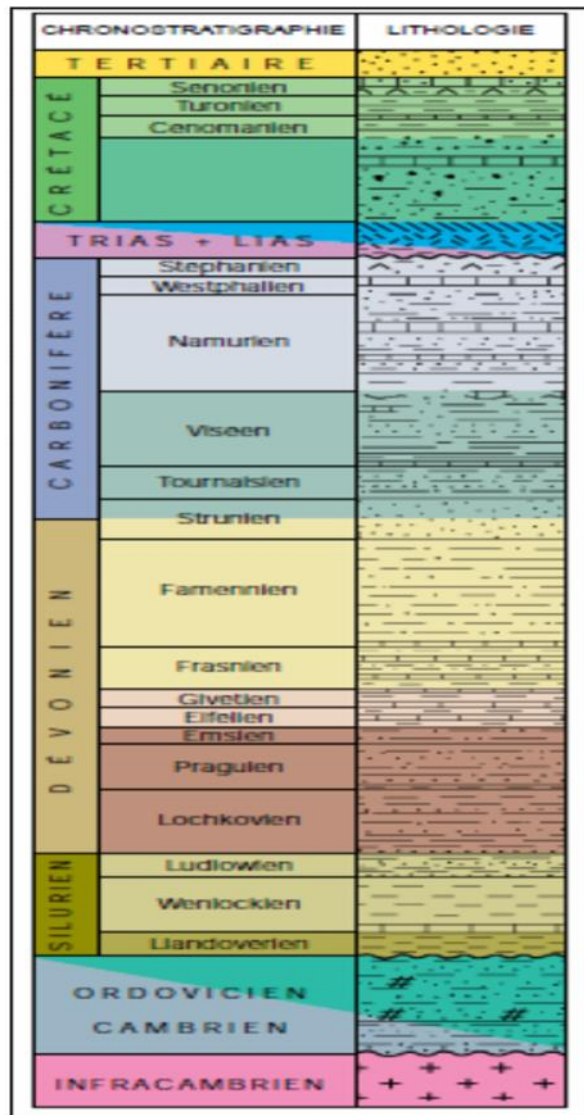


Figure I.15 : Lithostratigraphie de bassin occidental [13]

**I.6.3.1 Précambrien:**

Il est caractérisé par un socle cristallophyllien qui est représenté par un dépôt volcano - sédimentaire (détritique) épais plissé attribué et métamorphisé, constitué généralement par des conglomérats à galets de différentes tailles, d'argiles, grès quartzite, d'arkoses micacées, de schistes feldspathique, de microgranites, de granite (ces roches se trouvent dans la région de Blade El-mass à l'Est de Reggane).

**I.6.3.2 Paléozoïque :**

Formé principalement de dépôts d'âge cambrien à carbonifère à dominance de grès et d'argile. Il est développé principalement à l'Ouest de la plate forme saharienne et affleure sur le pourtour de la cuvette de Tindouf, au Nord du Hoggar, au Sud – Ouest, sur les bordures orientales du bassin de Taoudenni, et au Nord–Ouest, dans les bassins de la Saoura et de Bechar.

**I.6.3.2.1 Cambrien :**

Les dépôts cambriens sont reposés en discordance sur le socle précambrien et la majorité de ces éléments sont grossiers, moyens à fins ; quartzites, grès et parfois des conglomérats, son épaisseur varie d'une région à l'autre.

**I.6.3.2.2 Ordovicien :**

Les formations ordoviciennes constituent un objectif pétrolier de choix en raison de l'importance du développement des réservoirs gréseux. C'est pour cette raison qu'elles ont été traversées par de nombreux forages dans l'ensemble des bassins sédimentaires du Sud- Ouest algérien. Leur épaisseur peut atteindre 1900 m. donc c'est surface transgressive.

**I.6.3.2.3 Silurien :**

Il repose en concordance sur les dépôts précédents. Il est constitué par des dépôts terrigènes qui sont représenté par des Argiles noir à Graptolites, Argiles à passes gréseux et carbonates, on note que cette période est relativement courte.

**I.6.3.2.4 Dévonien :**

- **Dévonien inférieur** : il est caractérisé généralement par des faciès très variés, ensemble argilo - gréseux, grès - argileux, grès quartzitique, grès, avec série des argiles noirs avec des passées de grès et de calcaires.
- **Dévonien moyen** : il est marqué par des faciès suivants : des argiles noir ou limite de dévonien inf, des grès, silico - argileux et de calcaires bioclastiques.
- **Dévonien supérieur** : commencé avec série argileux silteux, des calcaires argileux, des argiles gris et complexe argilo - gréseux.

**I.6.3.2.5 Carbonifère :**

Le carbonifère correspond au cycle sédimentaire paléozoïque, les sédiments sont divers de marin profond jusque le continental.

- **Carbonifère inférieur** : il est subdivisée en un ensemble argilo - gréseux tournaisien surmonté d'une formation argileuse puis argilo - carbonatée datée du Viséen se dépôt est marin avec la présence des évaporites.
- **Carbonifère moyen** : d'après Conrad (1984) correspond a la "formation de AzzelMatti" qui est caractérisée par des dépôts lacustre renferment exclusivement des ostracodes ; au (Bashkierien).

"Formation rouge de Ain echbibbi constitue par des grès fluviatiles grossiers à lamination obliques avec quelques passés marins au (Moscovien).

**I.6.3.3 Mésozoïque :**

Il couvre la grande partie de la région d'étude Touat (sert ou les terrains d'âge crétacé inférieur), Les terrains mésozoïques reposent en discordance angulaire sur les terrains primaires (paléozoïque). Au Nord de la région de Reggane. Il est recoupé parfois par des dykes et silts de doloristes attribuées. [3]

**I.6.3.3.1 Crétacé inférieur Continental intercalaire :**

Dans le Gourara, le Touat et le Tidikelt, le Continental intercalaire est daté du Crétacé inférieur, grâce à des découvertes paléontologiques assez nombreuses. Il existe une lacune très importante, allant du Permien au Jurassique supérieur, entre le Continental post - tassilien, plissé, d'âge stéphanien, les assises continentaux, fossilifères, qui forment le plateau du Tidikelt. Pendant cette période se réalise la pénéplanation de toute la série précambrienne et paléozoïque et des phénomènes d'altération remarquables précèdent le dépôt du Continental intercalaire (Fig.I.16).

Le Continental intercalaire de cette région est divisé en quatre horizons constants, d'âge Crétacé Inférieur. Ces horizons sont sans doute les équivalents latéraux de la « série du Djoua »

- A la base, une unité A, formée de 25 à 300 m d'argiles rouges, de Grès roses et blancs, de Grès rouges à stratification entrecroisée et à lentilles de graviers et dragées de quartz. C'est dans les lits de graviers que l'on rencontre les restes de Poissons et de Reptiles.

- Au-dessus, l'ensemble B, formé par une dalle de Grès - quartzite, de 1 à 2 m d'épaisseur, très constante, surmontant un conglomérat à bois silicifiés, parfois à troncs d'arbres silicifiés et à ossements de Reptiles. Ce niveau forme la surface des plateaux qui se suivent de Timimoun à In - Salah en passant par Adrar, Reggane et Aoulef.

- Au-dessus, l'ensemble C est formé par une deuxième série argileuse, de 40 à 100 m de puissance, qui admet des intercalations de Grès à dragées « kerboub ».

- Enfin, l'ensemble D comprend 60 à 125 m d'argiles rouges à bancs Gréseux. Cette assise est remarquable à El-Goléa où les « argiles d'El-Goléa » alternent avec quelques bancs calcaires. [4]

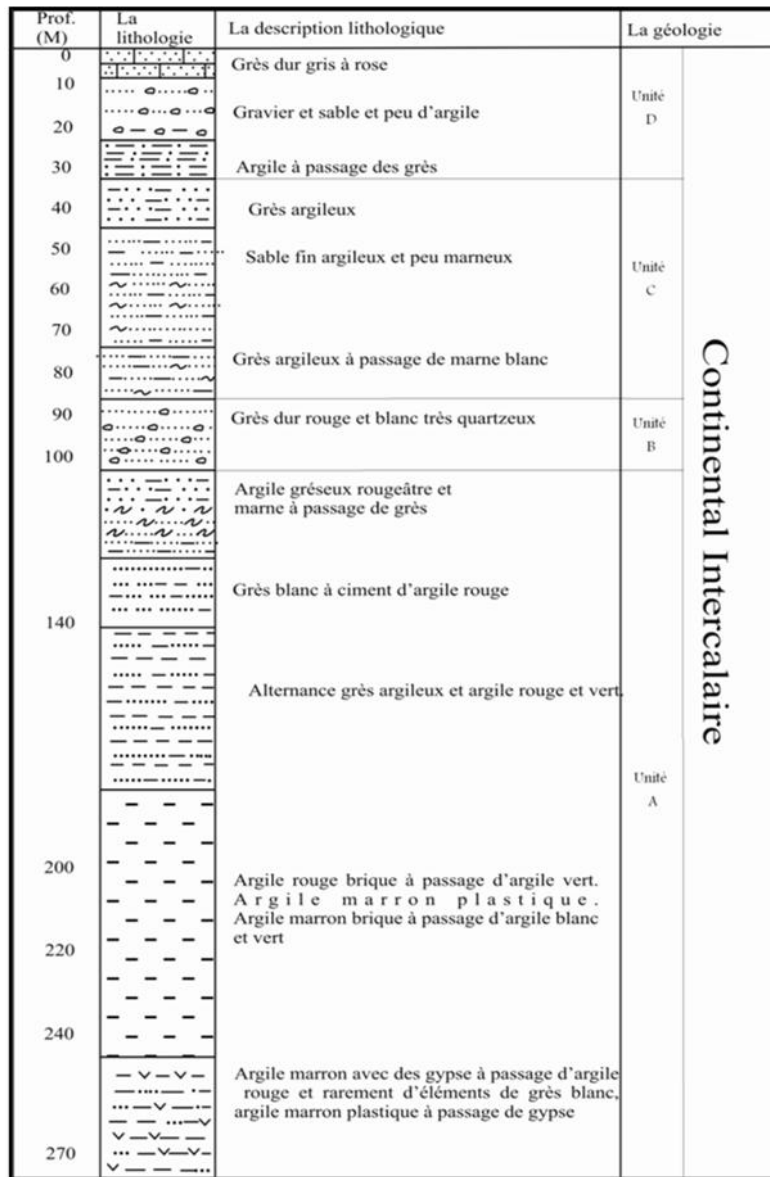


Figure I.16 : Coupe lithologique d'unité de CI [13]

**LES COUPES DE TERRAIN :**

Le continental intercalaire affluer au niveau des palmeraies d'Adrar et de Tiouririne à Zaouiet Kounta, il y a quelques buttes-témoins de Hamada néogène, ces témoins reposent sur les argiles du Continental Intercalaires.

• **La coupe d'Ain – Ech - Cheikh :**

Dans cette région le Continental intercalaire est épais (plusieurs mètres), essentiellement Gréseux, repose sur les schistes siluriens, alunifères, altérés et décolorés sur plusieurs mètres, par l'intermédiaire d'un conglomérat de base, formé de gros galets roulés de Grès à Tigillites et de quartzites ordoviciens. Directement au-dessus des schistes, la base du conglomérat est cuirassée puis le sédiment devient Gréseux et granulasse, avec stratifications entrecroisées. [4]

• La coupe de Reggane-plateau :

Il s'agit d'une sédimentation à caractère fluviatile, qui a une grande analogie avec le faciès fluviatile du Plio - Villafranchien de la Saoura. Ces faciès a déférent nature lithologique, les plus fréquente des argiles a la base, sableuse, conglomérats et gréseuse a stratifications entrecroisées (grès vert au sommet). [4]

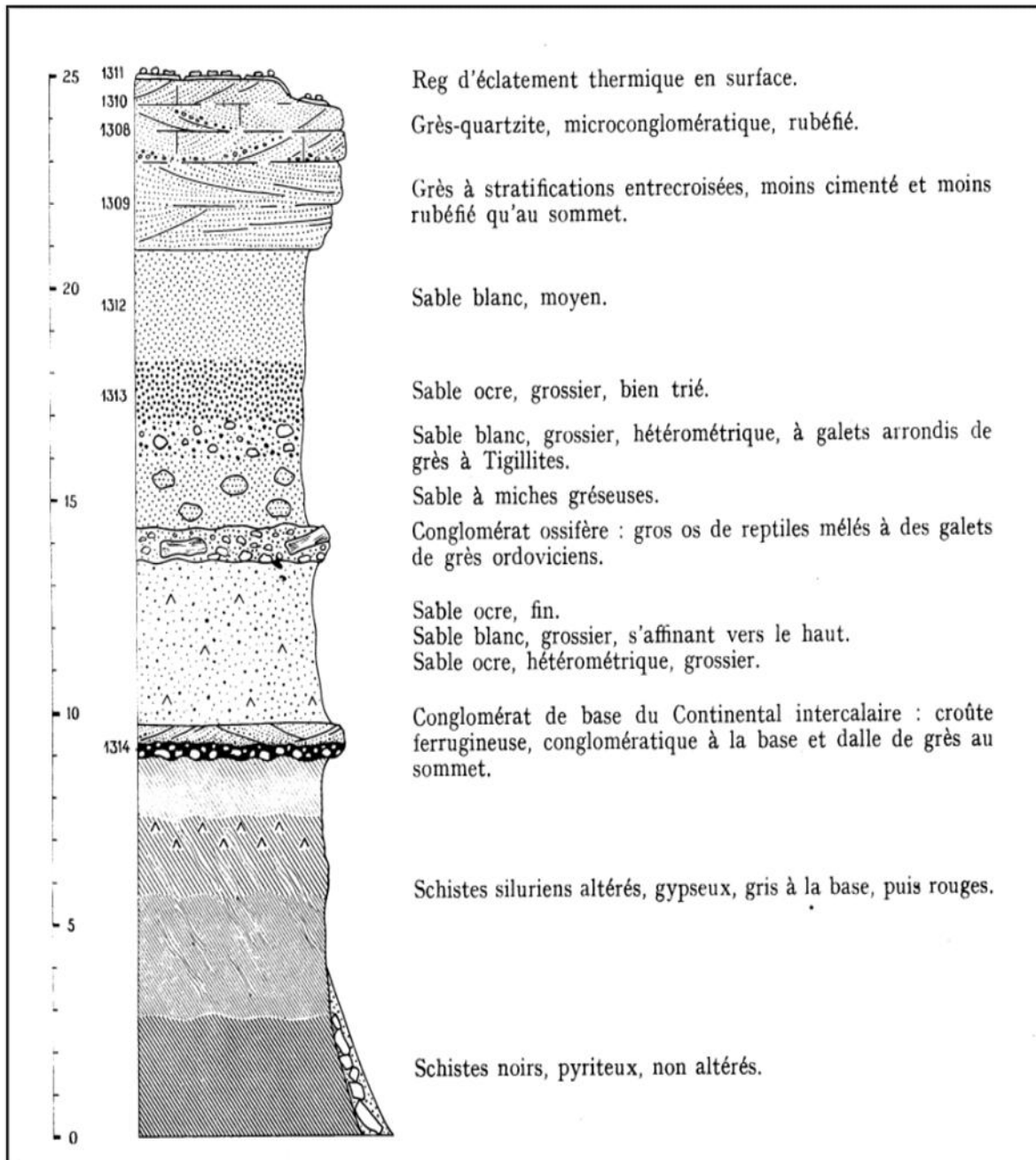


Figure I.17 : Coupe du Continental Intercalaire à Ain – ech - Cheikh. [4]

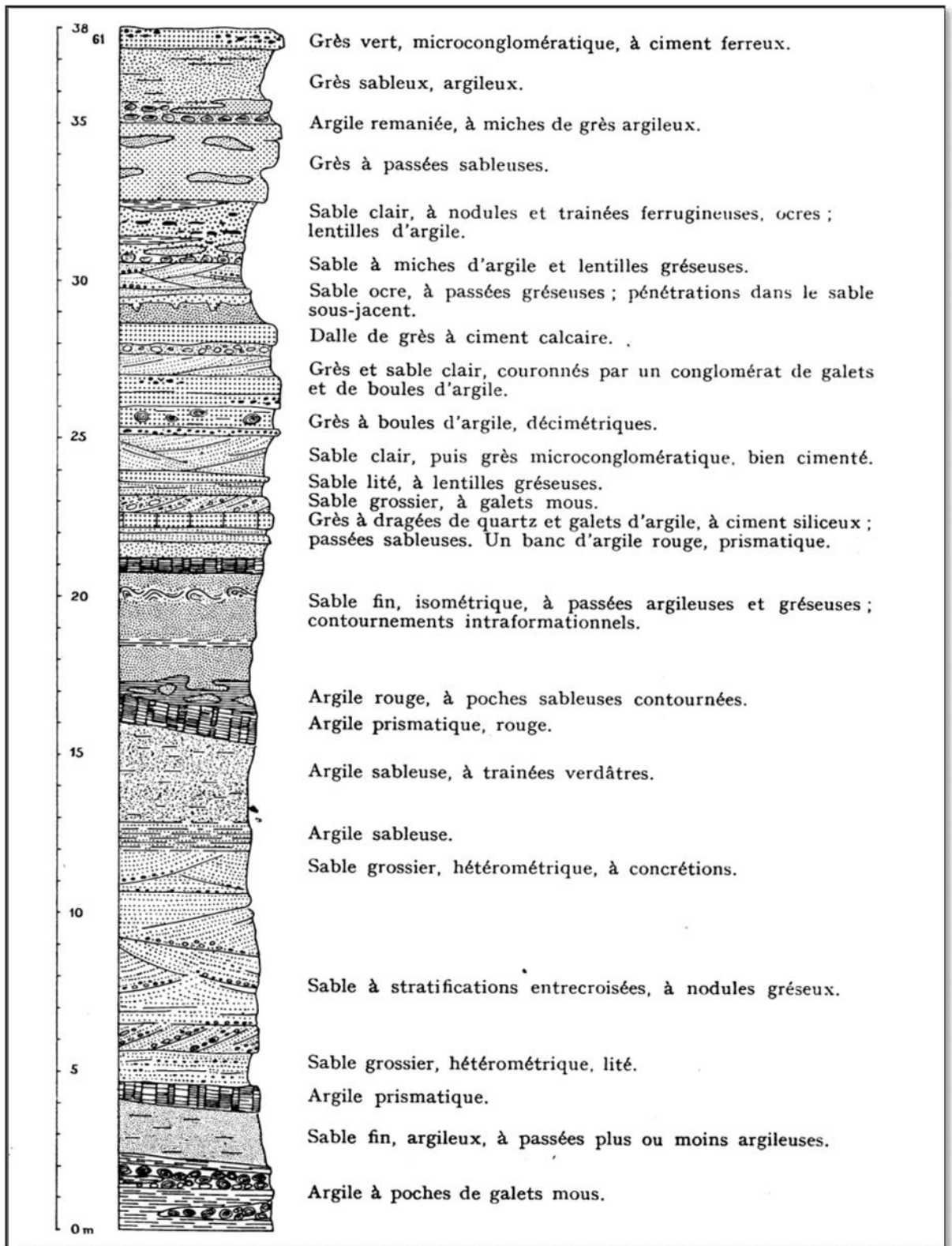


Figure I.18: Coupe de la falaise du Continental intercalaire à Reggane -Plateau [4]

**I.6.3.3.2 Le Crétacé supérieur (Crétacé marin) :**

Il représente les dernières grandes transgressions marines. Il est présenté par le plateau de Tademaït, constitué généralement par une double dalle calcaire dure surmontant des argiles et des Grès rouge, de calcaires plus ou moins dolomitiques parfois pétris de coquilles marines.

**I.6.3.4 Le Cénozoïque :****I.6.3.4.1 Néogène :**

Il est représenté dans la bordure orientale de l'Erg, la Hamada de Tiouririne, emboîtée dans le Continental Intercalaire, a une dalle semblable à celle de la Hamada Chammar, avec à la base une torbacalcaréo - dolomitique, argileuse, Gréseuse, coiffée par une dalle calcaire dolomitique massive et fortement silicifiés.

**I.6.3.4.2 Le Plio - Villafranchien:**

En suivant la piste Meya Tindouf, on atteint le pointement paléozoïque d'El-Ahmar, au Sud-Ouest duquel on retrouve le faciès également lacustre matérialisé par des argilites vertes, à Poissons (C'est entre Kalouche et Sali) et forme la base du Plio - Villafranchien. Des filonnets de gypse, vraisemblablement d'origine secondaire se trouvent dans ces argilites. Ces dernières sont très nettement emboîtées par rapport au Néogène, puisqu'elles sont à moins de 175 m d'altitude et cela témoigne de l'importance des recensements qui se sont produits dans cette région, après la sédimentation hamadienne.

**I.6.3.5 Le Quaternaire :****I.6.3.5.1 Villafranchien Supérieur (Quaternaire ancien):**

C'est au Villafranchien supérieur que s'organise dans son ensemble le grand réseau hydrographique du Sahara algérien. C'est à cette époque que les écoulements canalisés présentent leur intensité maximale, et que les réseaux fluviatiles endoréiques qui s'étaient individualisés au Plio - Villafranchien, ont la plus grande extension géographique.

Une petite hamada se développe aux environs de Baamer, au milieu de la dépression du Touat. Les dépôts sont très réduits, conglomératiques ; ce dernier caractère est dû à la proximité des affleurements précambriens de Baamer et de la Zaouïa-Sidi-Abdel- Kader. La petite hamada est constituée de 2 m de conglomérat à éléments de Grès arkosiques, mal roulés, pris dans un ciment argilo-Gréseux, surmontés par une dalle également conglomératique, à ciment calcaire, d'environ 2 m de puissance. Le Continental Intercalaire remonte en gradins, sur lesquels sont implantées les palmeraies, et ferme la dépression du Touat à l'Est. [12]

**I.6.3.5.2 Le Pléistocène moyen (Quaternaire moyen) :**

Le retour à des conditions climatiques subarides, pendant une longue période, a permis la réorganisation du réseau hydrographique ancien et le dépôt de sédiments fluviatiles et lacustres, qui sont dans l'ensemble modestes et plus étroitement localisés dans les vallées que par le passé.

Pendant cette période, s'est élaboré un glaciaire emboîté dans le glaciaire villafranchien ; des encroûtements calcaires ou des cuirassements ferrugineux, se sont formés sans atteindre l'ampleur de ceux du Villafranchien supérieur.

#### **I.6.3.5.3 L'Holocène (Quaternaire récent):**

La mise en évidence de cette période humide date des premières explorations sahariennes. L'abondance de l'outillage néolithique, celle des gravures rupestres, et les témoins d'anciens sols marécageux ont depuis longtemps attiré l'attention des voyageurs sur cette époque, géologiquement très proche.

#### **I.6.4 TECTONIQUE :**

Dans le Sahara occidental, les mouvements de l'orogénèse hercynienne sont les principaux responsables de la déformation et de la structuration.

Le bassin de Reggane est une vaste dépression du domaine cratonique, (stable). Cette synclise de la plate forme saharienne est fortement dissymétrique, orientée sensiblement Nord-Ouest, Sud-Est.

Ce bassin est caractérisé par des événements tectoniques qui se sont produits au Cambrien - Viséen et au Carbonifère terminal. Sur le socle Précambrien repose en discordance une puissante couverture sédimentaire de l'ordre de 6500 m. Les formations du Carbonifère affleurent au Nord de Reggane et Ain-Chebbi

Dans la région de Touat et à l'Est de la palmeraie de Bouali, un ensemble de tufs et de sols marécageux, datés de l'époque holocène indique le niveau d'émergence naturelle de la nappe du Continental intercalaire, pendant l'humide néolithique. [12]

### **I.7. HYDROGÉOLOGIE :**

#### **I.7.1. Introduction**

Le Sahara algérien est subdivisé en quatre ensembles hydrogéologiques (Fig. I.19) qui sont :

- L'ensemble de Saoura-Tindouf.
- L'ensemble du Chott Melrhir
- L'ensemble du Sahara septentrional
- L'ensemble du Hoggar-Tassili.





**Figure I.19 : Les unités hydrogéologiques du Sahara algérien (ABHS)  
Système aquifère du Sahara septentrional :**

Les besoins en eau sont en continuel augmentation afin d'assurer la survie et le développement des peuples ; par conséquent, l'eau devient avec le temps de plus en plus précieuse.

La prospection pétrolière au XX<sup>ème</sup> siècle est à l'origine de la découverte d'un gigantesque appareil hydraulique au Sahara qui est le système aquifère du Sahara septentrionale (SASS).

Ce système aquifère formé par les nappes aquifères du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal s'étend dans sa plus grande partie dans le territoire saharien algérien.

Le système aquifère du Sahara septentrional est partagé entre l'Algérie la Tunisie et la Libye.

Sa superficie telle qu'elle est déterminée par l'agence de bassin hydrographique Sahara ABHS, est de l'ordre de 1 million de Km<sup>2</sup>, répartie entre les trois pays comme suit :

- 650.000 km<sup>2</sup> en Algérie
- 250.000 km<sup>2</sup> en Tunisie
- 100.000 km<sup>2</sup> en Libye

Le volume total de ce système aquifère est évalué à 60.000 milliards de m<sup>3</sup>, Il correspond à un débit fictif de 100 m<sup>3</sup>/s pendant 2000 ans.

Cependant son exploitation pose un certain nombre de problèmes comme :

- Difficultés d'exploitation dans les milieux désertiques (Ergs, plateaux chotts et sebkhas, représentent plus de 300 000 km<sup>2</sup>.
- Profondeur élevée induit un coût élevé du forage.
- Une forte température de l'eau nécessite un équipement pour refroidir.
- Problèmes de la Corrosion et de l'entartrage du tubage. [14]

**I.7.2. LES DEUX SYSTEMES AQUIFERE DU SAHARA (CT ET LE CI) :****I.7.2.1. L'aquifère du Complexe Terminal (CT) :**

La nappe du Complexe Terminal (CT) se localise dans le Sahara occidental et s'étend sur une superficie de 350.000 Km<sup>2</sup> avec une profondeur oscillant entre 100 et 500 m. Cette nappe regroupe deux systèmes aquifères, qui sont appelés nappes des sables et nappes des calcaires.

Le Complexe Terminal est constitué, par des formations d'âge et de lithologie différents : à la base il y a le Sénono - Eocène carbonaté et au sommet on trouve le Mio-Pliocène sablo argileux. La nappe du Complexe Terminal est en charge sous les formations argileuses du Moi -Pliocène dans la partie Nord et libre dans la partie sud. Les calcaires et les dolomies du Turonien sont reliés hydrauliquement aux formations carbonatées précédentes par l'aquifère des sables du Moi - Pliocène.

L'écoulement général se fait vers les Chotts et vers le golfe de Gabès (Tunisie). Les eaux de cet aquifère se caractérisent par une température peu élevée ; l'eau est moins chargée en sels sur les bordures et relativement plus chargée au centre (plus de 5g/l)

La réalité d'une alimentation du réservoir a été établie :

- sur les bordures relativement arrosées du bassin, par infiltration directe sur les affleurements calcaires ou au travers des écoulements d'inféro - flux des oueds ;
- sur le Grand Erg occidental et le Grand Erg oriental, par infiltration des pluies exceptionnelles ;
- enfin d'une manière indirecte par drainage de l'aquifère des dolomies turoniennes, et des fuites du C.I par l'intermédiaire des failles d'Amguid EL Biod.

Au total, ces apports représentent une alimentation équivalente à 750 millions de m<sup>3</sup>/an. À l'est de la dorsale du M'Zab, autant que dans le Sud tunisien et en Libye, l'essentiel de l'écoulement converge vers la zone des Chotts.

Bénéficiant de cette structure, les eaux souterraines constituent plusieurs ensembles superposés : la puissante nappe artésienne du Continental Intercalaire gréseux, la nappe artésienne des calcaires marins du Sénonien et de l'Eocène, enfin des nappes phréatiques largement étalées dans les formations continentales superficielles. [14]

**I.7.2.2. Le Continental Intercalaire (CI):**

Le Continental Intercalaire occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'albien. Ce réservoir a un volume considérable du à la fois à son extension sur tout le Sahara Septentrional (600.000 Km<sup>2</sup>) et à son épaisseur, qui peut atteindre 1000 mètres au Nord Ouest du Sahara.

La nappe du Continental Intercalaire est un réservoir à eau douce ; la plus grande partie de l'eau de cette ressource a été remplie pendant les périodes pluvieuses du quaternaire. Les eaux du Continental Intercalaire sont caractérisées par :

- Une température qui dépasse les 60°C sauf aux endroits où l'aquifère est proche de la surface du sol.
- Une charge en H<sub>2</sub>S et CO<sub>2</sub> qui lui donne un caractère corrosif.

- La minéralisation de l'eau oscille entre 1 et 2g/l de résidu sec et peut atteindre les 5g/l (Gassi Touil).

- L'alimentation de la nappe, relativement faible, se fait par ruissellement à la périphérie du réservoir, tout au long et à l'extrémité des Oueds, qui descendent des monts de L'Atlas saharien, du Dahar tunisien, du plateau de Tademaït et Tinhert et par les pluies exceptionnelles sur les grands ergs.

- L'écoulement des eaux de cette nappe se fait dans la partie occidentale du Nord vers le Sud et dans sa partie orientale de l'Ouest vers l'Est (Tunisie) et du Sud vers le Nord

C'est une nappe qui est partagée entre trois pays maghrébins : l'Algérie, la Tunisie et la Libye. La partie algérienne du Continental Intercalaire couvre 600 000 Km<sup>2</sup> (fig.I.20). Elle stocke un volume d'eau considérable, estimé à 50 000 milliards m<sup>3</sup> environ.

Située à plus de 1400 m de profondeur dans la zone de Touggourt, cette nappe est plus connue sous la dénomination d' « Albien », nom de l'étage géologique qui renferme la couche aquifère supérieure du « Continental Intercalaire », qui est la plus exploitée. Le terme de Continental Intercalaire, par contre, désigne l'ensemble des couches détritiques qui se sont déposées au Mésozoïque inférieur au Sahara, entre deux cycles marin. [15]

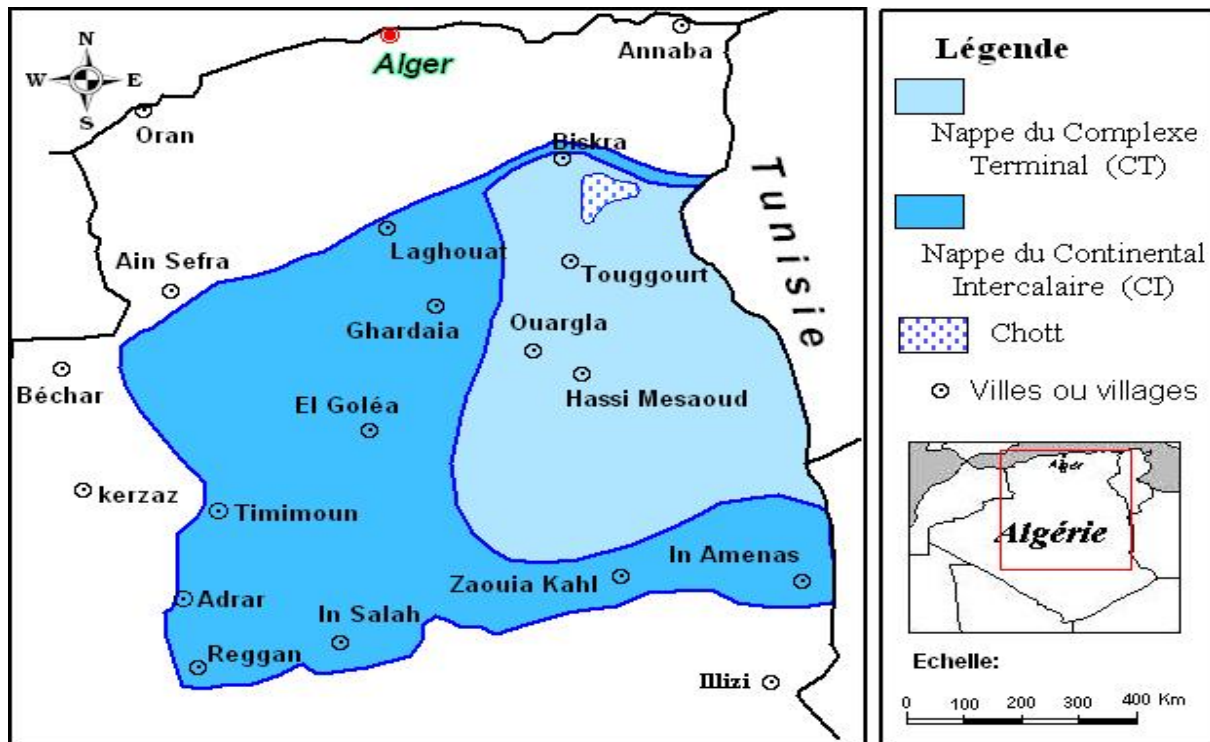


Figure I.20 : Carte des ressources en eau souterraines (continental intercalaire et complexe terminal)

I.7.2.3. Limites et morphologie du Continental Intercalaire :

Le continental intercalaire est limité au nord par l'Atlas saharien, à l'ouest par l'axe Béchar-Reggane et au sud par l'axe Reggane Ain Amenas ((fig.I.21) et (fig.I.22).

A l'est, il se prolonge au-delà des frontières Algéro -Libyenne et Algéro - Tunisienne.

Il est partagé par la dorsale M'zab en deux bassins:

- le bassin occidental oriental,
- le bassin oriental qui englobe le bas Sahara.

La transgression cénomaniennne, très générale au Sahara, donne au Continental Intercalaire une limite supérieure beaucoup plus uniforme que sa limite inférieure. Ainsi, sur la plus grande partie du Sahara algérien, les grés du Continental Intercalaire sont recouverts par une série argilo-gypseuse lagunaire d'âge probablement Céno-manien inférieur, tandis qu'une transgression du céno-manien supérieur est très générale. [16]

A la périphérie du Sahara, le Continental Intercalaire se termine évidemment en biseau sur les anciens reliefs hercyniens, mais il atteint très vite une grande puissance dans les anciennes cuvettes d'accumulation.

Au sens large, le Continental Intercalaire (CI) occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'Albien. La définition donnée par l'UNESCO dans "l'étude sur les ressources en eaux du Sahara Septentrional" [23] la limite aux formations clastiques (argilo gréseuses) véritablement continentales et susceptibles de constituer un ensemble aquifère homogène sur le plan lithologique.

Le CI ainsi défini peut occuper une position variable dans l'échelle stratigraphique: si le toit est défini comme la base du céno-manien argileux (sauf dans le nord-ouest), il n'en est pas de même pour le mur qui est situé, suivant les régions, entre la discordance hercynienne et le Barrémien.

Le CI n'est pas constitué uniquement d'horizons perméables. La composante argileuse peut représenter en proportion une place importante. Il a alors été effectué une distinction du réservoir utile. Ainsi, dans la lithologie du Continental Intercalaire, on distingue:

- Les grés, quand les couches renferment moins de 10% d'argiles,
- des grés argileux, s'il y a de 10 à 50% d'argiles,
- des argiles, quand il y a plus de 50% d'argiles.

De haut en bas, le CI débute presque toujours au toit de l'Albien (fig. I.22). Le mur du CI coïncide avec la discordance hercynienne sous les plateaux de Tademaït et du Tinhert.

La porosité moyenne de cette nappe se situe entre 22 et 29%.

Etendue	600 000km <sup>2</sup>
Epaisseur totale (m)	50 à 1 000
Profondeur (m)	60 à 2 400
Profondeur au toit (m)	20 à 2 000
Epaisseur de la couche utile productrice (m)	150 à 200
Débit (l/s)	50 à 400
Niveau statique par rapport au sol (m)	Artésien (25 bars)
Rabatement par rapport au N.S (m)	artésien

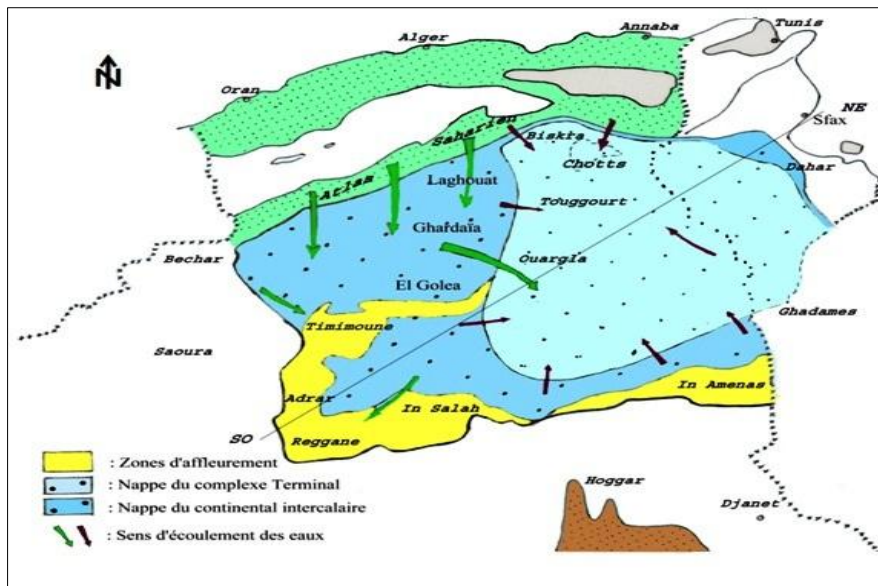
Transmissivité ( $10^{-3}$ m <sup>2</sup> /s)	10 à 30
Coefficient d'emmagasinement ( $10^{-4}$ )	6 à 1200
Alimentation moyenne (Hm <sup>3</sup> /an)	270
Réserve théorique calculée (m <sup>3</sup> )	50 000x 10 <sup>9</sup>
Température (°C)	25 à 70
Salinité des eaux	0.5 à 6 g/l

**Tableau I.10 : Données générales sur la nappe du continental intercalaire (albien)**

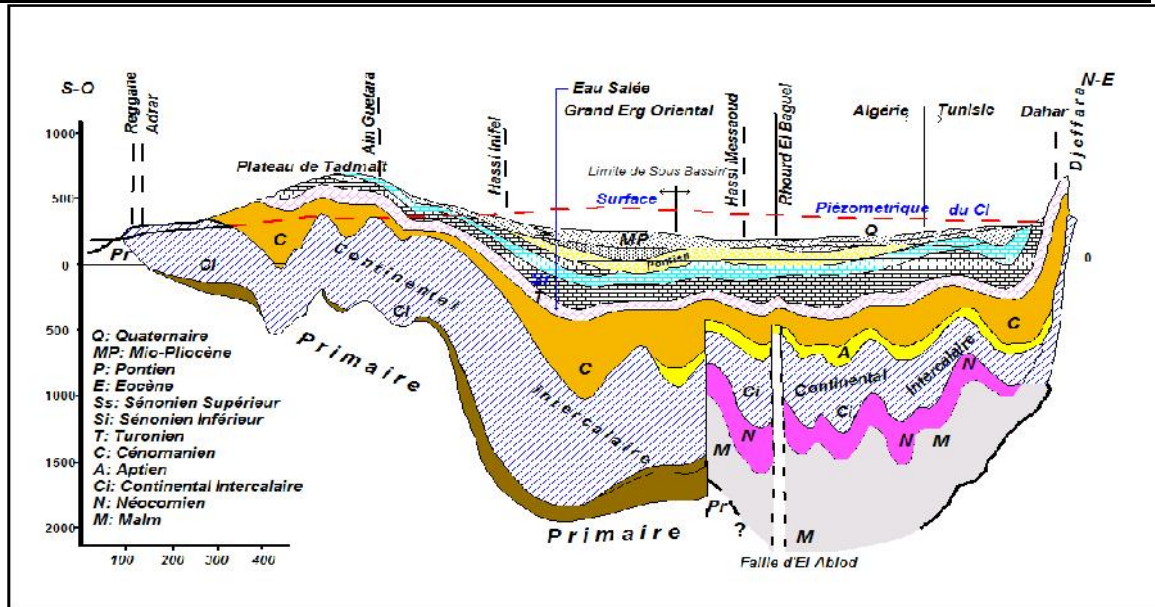
Le toit de cette nappe varie selon les régions : à l'ouest (Gourara, Touat), il est en surface et l'aquifère forme une nappe libre captée par les foggaras. A l'est, le toit plonge progressivement sous d'épais terrains, jusqu'à atteindre son maximum de profondeur dans la dépression de l'oued Righ. Une même morphologie du substratum est observée dans le sens méridien, qui atteint son maximum au Nord, en bordure de l'Atlas saharien. [23]

**I.7.2.4. Alimentation du Continental Intercalaire (CI) :**

Cette nappe s'est chargée au cours des périodes pluviales du Quaternaire. Actuellement, elle reçoit une faible recharge, surtout à partir du piémont de l'Atlas saharien : la quantité d'eau tombent annuellement sur les affleurements du crétacé inférieur continental est estimée à 2,5 milliards m<sup>3</sup>/an. Mais, il est difficile d'appliquer à ces formations un coefficient d'infiltration, les conditions climatiques (hauteur de pluies faibles et évaporation intense), étant très différentes de celles des régions où ces coefficients ont pu être expérimentés. Le volume d'eau emmagasiné dans le CI, évalué à 50 000 milliard m<sup>3</sup> correspondant, en théorie, à un débit fictif continu de 1000 m<sup>3</sup>/s pendant 2000 ans. [23]



**Figure I.21 : Les sens d'écoulement des eaux de deux Systèmes Aquifères du Sahara : Le CT et le CI**



**I.7.2.5. Les exutoires du Continental Intercalaire (CI):**

Ils sont constitués par:

- **Les foggaras:** longues galeries drainant, fonctionnent sous un faible rabattement et utilisant la topographie locale pour permettre l'écoulement libre de l'eau vers des points bas (cas du bassin occidental), plus fréquent dans la région d'étude, en va étudié par détaille dans sous chapitre a l'époque.
- **Les puits artésiens (bassin oriental),**
- **Les sebkhas:** vastes étendues humides et salines, surfaces évaporant dont le débit total n'est pas négligeable. [3]

**I.7.2.6. Qualité des eaux :**

Les eaux souterraines sont, en général, peu minéralisées sous le Grand Erg Occidental, zone d'alimentation du système aquifère, elles sont à prédominance chlorurées ; elles se chargent rapidement en sulfates sur les limites de la zone à surface libre, puis se concentrant à nouveau en chlore, aux exutoires et dans les zones à faible vitesse d'écoulement du Grand Erg Oriental. La minéralisation augmente en général, avec la profondeur et en relation avec la présence des niveaux argileux. Une large tendance de croissance dans le temps de la minéralisation et du rapport SO4/Cl en fonction de l'exploitation, à été observée aux certains forages de la région. [1]

***CHAPITRE II***  
***GENERALITES SUR LA***  
***GEOOTHERMIE***

**II.1 Introduction :**

La géothermie est la deuxième source de production d'électricité dans le monde, mais c'est aussi une source de production de chaleur utilisée pour le chauffage urbain, de serre et la pisciculture. La désintégration des éléments radioactifs et la dissipation de l'énergie primitive sont les deux phénomènes principaux à l'origine de la chaleur rencontrée dans la croûte terrestre. Il existe différents types de gisements géothermiques classés suivant leur énergie et répartis dans le monde entier. Les utilisations sont nombreuses et variées. La géothermie se caractérise par son développement relativement récent et par une technologie largement inspirée au départ de l'énergie pétrolière. [21]

La géothermie s'intéresse à l'étude des phénomènes thermiques de la terre qui sont liés à la formation et à la composition du globe [26]

La terre est chaude. La chaleur terrestre qui se propage à travers la croûte continentale (appelé flux de chaleur) n'est pas homogène; le flux de chaleur varie donc d'un endroit à un autre. En présence d'un flux de chaleur élevé les eaux souterraines se réchauffent et se transforment en eau thermale. Les eaux deviennent chaudes et remontent en surface sous différentes formes. Ces formes peuvent être :

- **Geysers** : Dans les pays volcaniques, l'eau bouillante jaillit à la surface sous forme de jets atteignant jusqu'à 50 m de haut.

Exemple : Les geysers d'Islande, de Nouvelle-Zélande ou de Californie ;

- **Fumerolles** : Ce sont des fentes à partir desquelles des gaz volcaniques, la plupart du temps vapeur d'eau, s'échappent vers l'atmosphère.

Exemple: Fumerolles en Italie à Larderello ;

- **Sources thermales** : Sont des émanations d'eau, de vapeur d'eau et d'anhydride carbonique à température élevée. Elles doivent leur origine à des émanations de vapeur d'eau provenant de zones profondes qui, lorsqu'elles atteignent les couches superficielles, se refroidissent et se condensent, donnant naissance à des eaux de températures très élevées. [25]

Exemple : Les sources thermales du Nord de l'Algérie.

L'exploration géothermique s'intéresse essentiellement à définir et à classer, la source de chaleur, le réservoir géothermique et le fluide géothermique. [18]

**II.2 Types de gisements géothermiques :**

Les gisements géothermiques peuvent être classés selon, leur topologie géologique, leur niveau de température, l'utilisation du fluide géothermal en surface. Cependant, température et utilisation sont très liées car le niveau de température du fluide extractible d'un gisement géothermal conditionnera le type d'utilisation possible.

A travers le monde, il existe trois catégories de gisements géothermiques :

- **Les gisements géothermiques des zones volcaniques récentes** : Ce type de gisement se caractérise par l'existence en profondeur d'une chambre magmatique très chaude (1300°C) [18] qui représente la source de chaleur naturelle. Cette chambre magmatique cède sa chaleur aux couches géologiques superficielles. Dans ce cas, les eaux sont très chaudes; elles sont plus adaptées à la production d'électricité.



Parmi les pays concernés par ce type de gisements, on peut nommer la Nouvelle-Zélande et l'Islande

- **Les gisements des zones de plate forme continentales stables, recouvertes de terrains sédimentaires :** Dans ce type de gisement il n'existe pas de source de chaleur particulière en profondeur, mais la chaleur est uniquement due au gradient géothermique. Dans ce cas les réserves sont généralement très profondes et leur exploitation nécessite la réalisation de forages. Ce type de gisements est rencontré en France (les bassins parisiens et aquitains) et en Algérie (le bassin du Sahara septentrional.) [5]
- **Les gisements géothermiques des zones continentales actives :** Dans ce troisième cas, les eaux résultent de la circulation d'eau thermique à travers les failles et les discontinuités géologiques et arrivent en surface sous forme de sources.

On retrouve ce type de gisement en Algérie, à travers les diverses sources thermales qui jaillissent au Nord.

Exemple : Hammam Bouhadjar

Suivant leurs thermalismes, ces gisements géothermiques sont classés en deux types de champs géothermiques :

- **Les champs hyperthermiques :** Concernent la première catégorie de gisements correspondants aux gisements géothermiques des zones volcaniques récentes.
- **Les champs semi - thermiques :** Concernent la deuxième et la troisième catégorie de gisements correspondant aux gisements des zones de plate forme continentales stables, recouvertes de terrains sédimentaires et aux gisements géothermiques des zones continentales actives.

### II.3 Types de géothermie :

L'exploitation de la géothermie dépend du type de gisements et du fluide géothermique existant, ainsi, se distingue trois types de géothermie dans le monde :

#### II.3.1 La géothermie haute énergie (température supérieure à 150°C :

La géothermie haute énergie, exploite les gisements de vapeur sèche ou humide (mélange eau et vapeur). Ces gisements se caractérisent par des températures supérieures à 150°C. [5]

On rencontre cette géothermie haute énergie dans les régions volcaniques (volcans) et sismiques (frontières de plaques) où le gradient géothermique est particulièrement élevé.

La géothermie haute énergie est destinée principalement à la production d'électricité. La vapeur, qui est puisée dans le réservoir géothermique, est déchargée dans une turbine, reliée à un alternateur pour la production d'électricité.

La vapeur sèche est directement utilisée alors que la vapeur humide qui est plus fréquente nécessite l'utilisation d'un séparateur.

Un exemple de ce type de géothermie est donné par la centrale de Bouillante en Guadeloupe - France.

### **II.3.2 La géothermie basse énergie :**

La géothermie basse énergie se caractérise par une température comprise entre 30°C et 150° C, elle est rencontrée à une profondeur moyenne de 1000 à 2500 m, dans les formations perméables remplies d'eau situées principalement dans les bassins sédimentaires de grandes dimensions.

Elle est destinée principalement au chauffage urbain et au chauffage de serres.

### **II.3.3 La géothermie très basse énergie**

La géothermie très basse énergie est rencontrée à de faibles profondeurs (nappes phréatiques) ou la température est de l'ordre de 10 à 30°C. Elle est utilisée entre autre pour la pisciculture, l'horticulture et le séchage de produits agricoles. [27]

### **II.3.4 Géothermie roche chaude sèche (HDR)**

D'autres techniques en géothermie ont été mises, c'est la géothermie roche chaude sèche ou Hot Dry Rock ou la géothermie HDR [24]

La technique consiste d'abord à prospector les sites géothermiques favorables qui sont les sites renfermant des roches sèches en profondeur (moins de 6 km), tels que les granites.

De l'eau froide sous forte pression est injectée par la suite en profondeur dans des puits ou forages d'injection. L'eau élargit les fissures dans les massifs rocheux. Elle acquiert ainsi une forte quantité de chaleur, puis elle remonte en surface par un forage production.

Avant de re-injecter cette eau dans le forage, ses calories sont récupérées et exploitées au niveau d'une centrale géothermique.

Le circuit ainsi formé peut produire une importante quantité d'énergie géothermique.

Depuis vingt cinq ans, plusieurs projets de recherches sont menés dans ce domaine surtout aux Etats-Uni, au Japon et en Europe. Parmi ces projets, celui de l'union européenne, il est destiné à la création d'une centrale géothermique à Soultz-sous-forêts (Alsace –France).

Cependant d'autres progrès dans l'exploitation restent à accomplir pour maîtriser ce type de gisement qui peut représenter l'essentiel du potentiel géothermique dans le monde compte tenu du fait de la grande répartition de roches chaudes en profondeur.

## **II.4 Forage géothermique :**

L'exploitation de la géothermie nécessite l'existence en profondeur de la terre de deux paramètres importants la chaleur et l'eau. En effet c'est l'eau qui permet de véhiculer cette chaleur profonde en surface. L'eau contenue dans les réservoirs géothermiques est remontée à la surface grâce à un forage ; le plus fréquent est le forage Rotary. [5]

Si la pression dans le gisement est insuffisante pour que le forage soit artésien, la production peut s'établir par l'intermédiaire d'une pompe. Une fois l'eau géothermale utilisée, elle est soit rejetée dans l'environnement si l'eau n'est pas salée. Dans le cas contraire, elle est réinjectée dans la nappe d'origine à l'aide d'un puits de ré-injection.

Le forage rotary nécessite l'emploi d'un fluide de forage préparé sur le chantier. Dans le cas de la circulation directe, le fluide est injecté en continu sous pression dans les tiges creuses de la ligne de sonde, il sort par les événements de l'outil et remonte à la surface dans l'espace annulaire (entre les tiges et les parois du trou). [18]

**II.5 La géothermie dans le monde :**

**II.5.1 Les applications :**

La plus ancienne application des sources thermales est la balnéothérapie. Elle fut utilisée par les grecs, les turques, les romains...etc.

La plus importante exploitation de la géothermie est dans le domaine de la production d'électricité. En 1904, le prince Piero Ginori Conti promut cette industrie pour la première fois dans le monde à Larderello en Italie.

C'est donc grâce à l'Italie qu'un élan considérable dans le domaine de l'exploitation de l'énergie géothermique a été accompli.

Après un demi-siècle, la nouvelle Zélande commença alors la production de l'énergie géothermique; suivie par la suite, par les Etats-Unis en Californie notamment et à San Francisco en particulier.

Depuis, bien d'autres pays ont à leurs tours investis dans ce domaine, c'est le cas du Japon, du Mexique, du Salvador, de l'Islande et de la Turquie.

Les utilisations de la géothermie dans le monde sont nombreuses. Les Principales utilisations de la géothermie en fonction de la température (d'après B. Lindal)

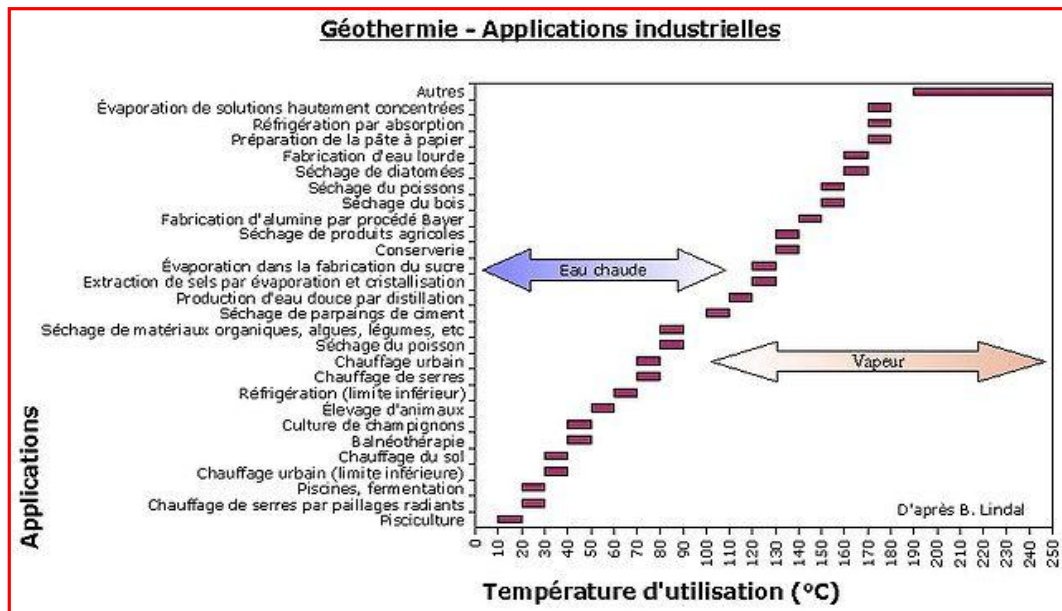


Figure II.1 : Diagramme de LINDAL

### II.5.2 La capacité énergétique :

La géothermie est une source d'énergie renouvelable qui produit deux types d'énergies, l'énergie électrique et l'énergie calorifique. Sur le plan exploitation, elle est classée troisième dans le monde après la biomasse et l'hydraulique. Aujourd'hui, elle représente 3 % de la production énergétique mondiale dont 0.4 % dans l'énergie électrique.

L'énergie géothermique est aujourd'hui utilisée dans plus de soixante pays, mais cependant elle est particulièrement développée dans certains pays seulement comme les Etats-Unis, le Japon, l'Islande, la Nouvelle-Zélande, les Antilles françaises et la Suisse. L'Islande étant un pays volcanique, il est par conséquent très riche en eau thermale.

Aujourd'hui ce pays satisfait pratiquement la totalité de ces besoins en chaleur et en électricité à partir de l'énergie géothermique. Un très bon exemple est donné aussi par les philippines qui produit 21.5% de son énergie électrique à partir de la géothermie.

Afin de rentabiliser ce type de gisements il faut surtout une bonne étude d'intérêt économique qui concerne tous les aspects, tels que, le coût des installations géothermiques, quantité de calorie fournie, transformation des calories en énergie...etc. [26]

<b>Pays</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2002</b>
<b>Amérique du Nord</b>	<b>3570</b>	<b>2983</b>	<b>2971</b>
<b>Amérique du Sud</b>	<b>231</b>	<b>407</b>	<b>416</b>
<b>Total Amérique</b>	<b>3801</b>	<b>3390</b>	<b>3387</b>
<b>Asie</b>	<b>1979</b>	<b>3075</b>	<b>3220</b>
<b>Union Européen</b>	<b>641</b>	<b>805</b>	<b>883</b>
<b>Autres Pays d'Europe</b>	<b>81</b>	<b>213</b>	<b>297</b>
<b>Total Europe</b>	<b>722</b>	<b>1018</b>	<b>1180</b>
<b>Océanie</b>	<b>286</b>	<b>437</b>	<b>441</b>
<b>Afrique</b>	<b>49</b>	<b>54</b>	<b>128</b>
<b>Total Monde</b>	<b>6837</b>	<b>7974</b>	<b>8536</b>

**Tableau II.1 : Evolution de la capacité géothermique installée dans le monde pour la production d'électricité en MW**

### II.5.3 La géothermie en Algérie :

En Algérie, mis à part les utilisations balnéothérapies pratiquées d'ailleurs depuis les temps anciens, peu d'applications ont vu le jour. La recherche géothermique rentre dans le cadre des activités du Centre de Développement des Energies Renouvelables C.D.E.R. de Bouzaréah.

#### a) L'exploration :

En Algérie, Les études en géothermie ont été menées principalement sur le Nord algérien ; parmi ces études on peu citer [8]

Ces études montrent que le Nord de l'Algérie compte un nombre important de sources thermales. Près de 200 sources ont été inventoriées, elles sont réparties à travers tout le territoire nord algérien, majoritaires au Nord-Est (voir Tableau II.2). Parmi les plus importantes, nous pouvons citer Hammam Meskoutine (98°C) à Guelma ; Hammam Boutaleb (52°C) à Setif et Hammam Bouhanifia (66°C) à Mascara. Ces nombreuses sources thermales émergent principalement à partir des calcaires jurassiques du Nord de l'Algérie. Trois zones à fort gradient géothermique sont mises en évidence ; au Nord-Ouest, au Nord- Est et au Centre-Nord de l'Algérie, plus particulièrement dans les régions d'Oran, de la Kabylie et de Constantine.

En plus des nombreuses sources thermales dans le Nord du pays, il existe dans le Sud algérien et plus exactement dans le Sahara septentrional une importante réserve en eau thermale qui est la nappe du Continental Intercalaire.

Sources thermales	Région	Faciès Chimiques	Résidus Secs (mg/l)	Température (°C)
H.Chellala	Guelma	Sulfaté magnésien	1600	98
H.Bouhdjar	Ain-Timouchent	Chloruré sodique	3210	66.5
H.Bouhanifia	Mascara	Bicarbonaté sodique	1400	66
H.Boutaleb	Setif	Chloruré sodique	3416	52
H. Essalihine	Khenchela	Chloruré sodique	2082	70
H. Salhine	Skikda	Sulfaté	2046	55

		magnésien		
H. Sidi Bou Abdellah	Relizane	Chloruré sodique	1194	51
H. Delaa	M'sila	Sulfaté sodique	1980	42
H. Rabi	Saida	Chloruré sodique	1524	47
H. Sillal	Bejaia	Chloruré sodique	2221	46
H. Ben Haroun	Constantine	Chloruré sodique	3762	42

**Tableau II.2 :** Principales Caractéristiques physico-chimiques de quelques sources thermales du Nord de l'Algérie. [20]

#### b) L'exploitation :

En Algérie, depuis fortes longtemps les eaux thermales ont été utilisées pour leurs bienfaits thérapeutiques. Les sculptures découvertes dans les régions des hammams indiquent que bien avant l'époque romaine des établissements balnéaires existaient à ces endroits.

Mais ce sont surtout les romains qui ont le mieux développé les techniques de captation et de canalisation des eaux thermales. Très souvent, ils ont construit leurs villes à proximité des établissements thermaux afin de tirer le meilleur parti de ces sources thermales.

Aujourd'hui, bien que le potentiel géothermique soit très important dans notre pays, le domaine de l'exploitation reste limité et se restreint principalement à la balnéothérapie et aux utilisations domestiques.

Depuis 1990, une récente application de l'énergie géothermique a commencé dans le Sahara algérien. C'est dans la région de Touggourt qu'une première installation d'équipements destinés aux chauffages des serres est assurée par l'équipe du laboratoire Thermique du C.D.E.R.

Bien que cette application ait donné de bons résultats, elle ne s'est pas encore généralisée et reste très modeste en rapport avec le potentiel géothermique du Sud algérien. Il reste cependant à noter que l'exploitation de l'énergie géothermique peut être facilitée considérablement au Sud de l'Algérie grâce aux nombreux forages pétroliers qui traversent le sous sol saharien. [19]

**II.5.4 L'expérience tunisienne :**

La Tunisie qui exploite la même nappe du Continental Intercalaire que l'Algérie est très avancée dans le domaine du chauffage de serres. En effet au Sud de la Tunisie plus exactement dans la région de Kebili, plus de 104 ha de serres agricoles sont chauffées par la chaleur d'origine géothermique. Des bénéfices importants sont réalisés à travers cette exploitation qui permet de cultiver hors saison toutes sortes de fruits et légumes qui sont principalement destinés à l'exportation.

***CHAPITRE III***  
***GENERALITES SUR L'ARCGIS***



### III. Introduction

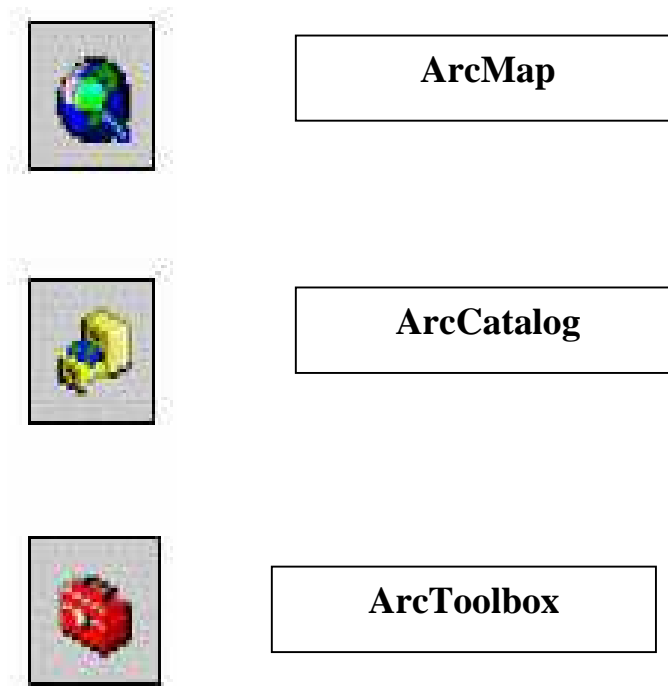
**ArcGis** est un système d'information géographique développé par la société **ESRI** (Environmental Systems Research Institute). Est un logiciel permettant d'exploiter un Système d'Information Géographique (SIG).

Un logiciel SIG permet l'acquisition, le stockage, la mise à jour, la manipulation, et le traitement de données géographiques. De plus, il permet de faire de la cartographie et de l'analyse spatiale de façon précise en fonction de l'échelle désirée.

**ArcGis** se décline en trois licences aux fonctionnalités croissantes : **ArcView**, **ArcEditor** et **ArcInfo**. [11]

#### III.1 Composantes d'ArcGis

**III.1.1 Les applications** : ArcGis comprend une suite d'applications intégrées :



**Figure III. 1 : Les applications d'ArcGis**

A l'aide de ces trois applications, vous pouvez effectuer toutes les tâches SIG, de la plus simple à la plus avancée, y compris la cartographie, la gestion des données, l'analyse géographique, la mise à jour des données et le géotraitement...etc.

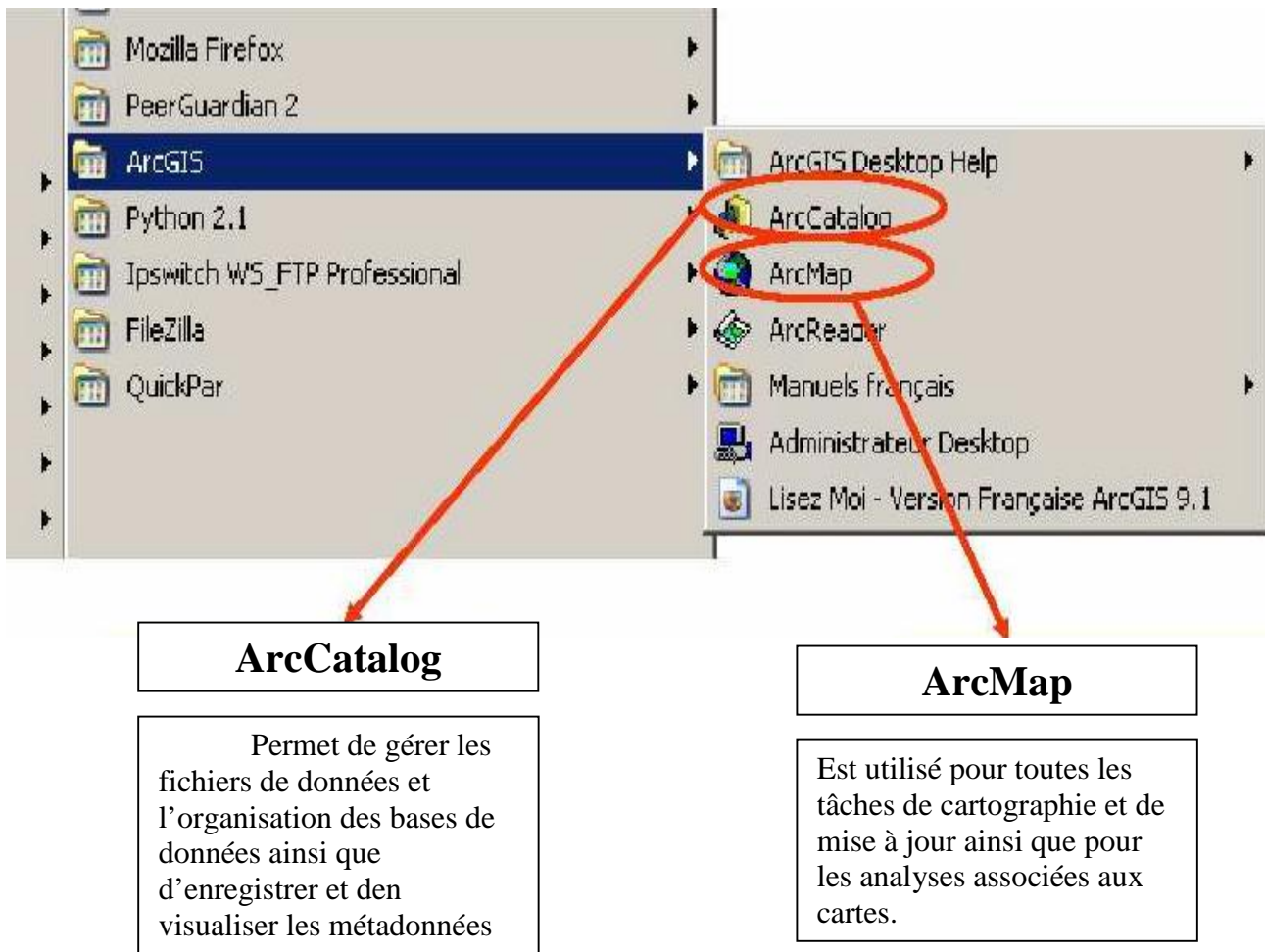
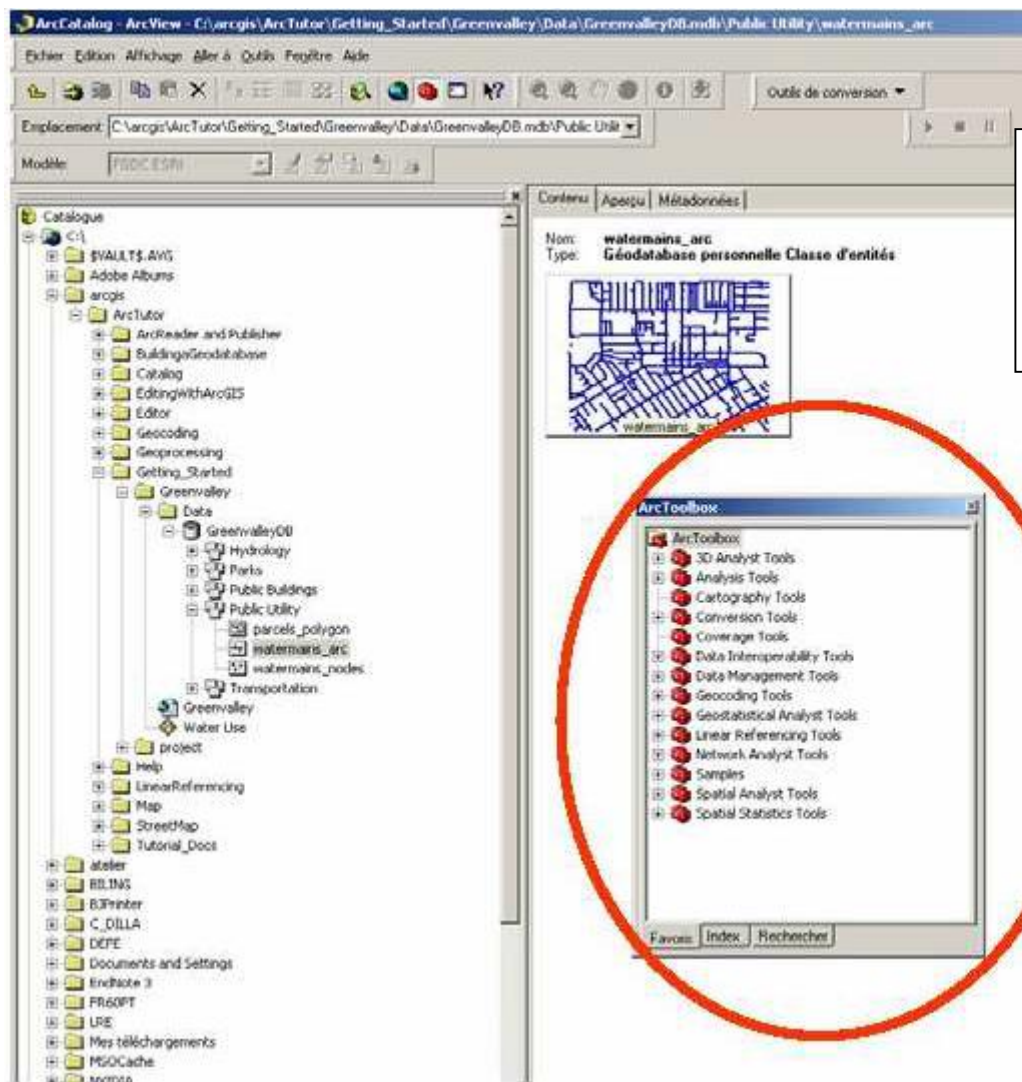


Figure III.2 : Les applications d’ArcGis



**ArcToolbox :**  
Est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions et de transferts de format et aussi de projection.

Figure III. 3 : Les applications d'ArcGis

**III.2 L’outil de navigation :**

Outil permet d’effectuer certaines opérations :

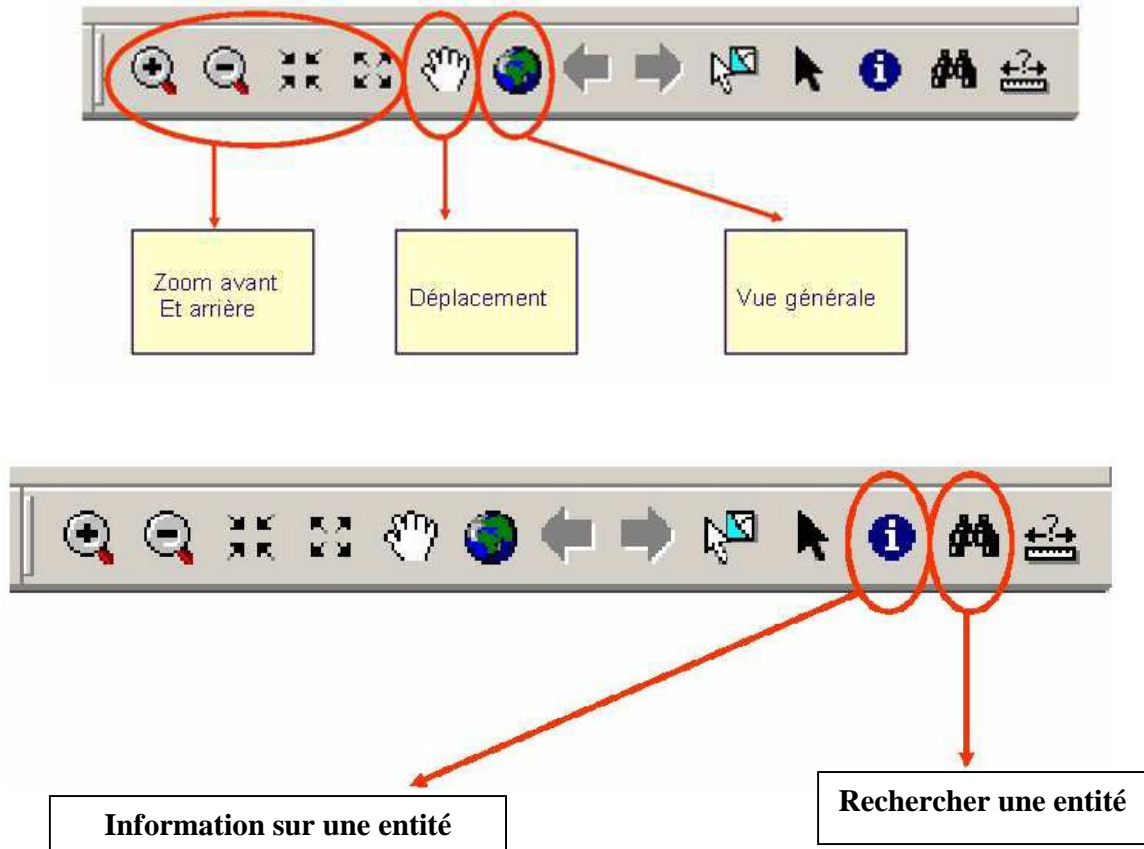



Figure III. 4 : Les outils d’ArcGis

**III. 3 Présentation de l’interface : ArcMap :**

ArcMap  montre, questionne, édite, crée ou analyse des données, sous forme de tables ou de cartes. ArcMap facilite la disposition des cartes lors de la mise en page pour l’impression, l’intégration dans d’autres documents et l’édition de documents électroniques. L’interface du logiciel est présentée ci-dessous : [11]

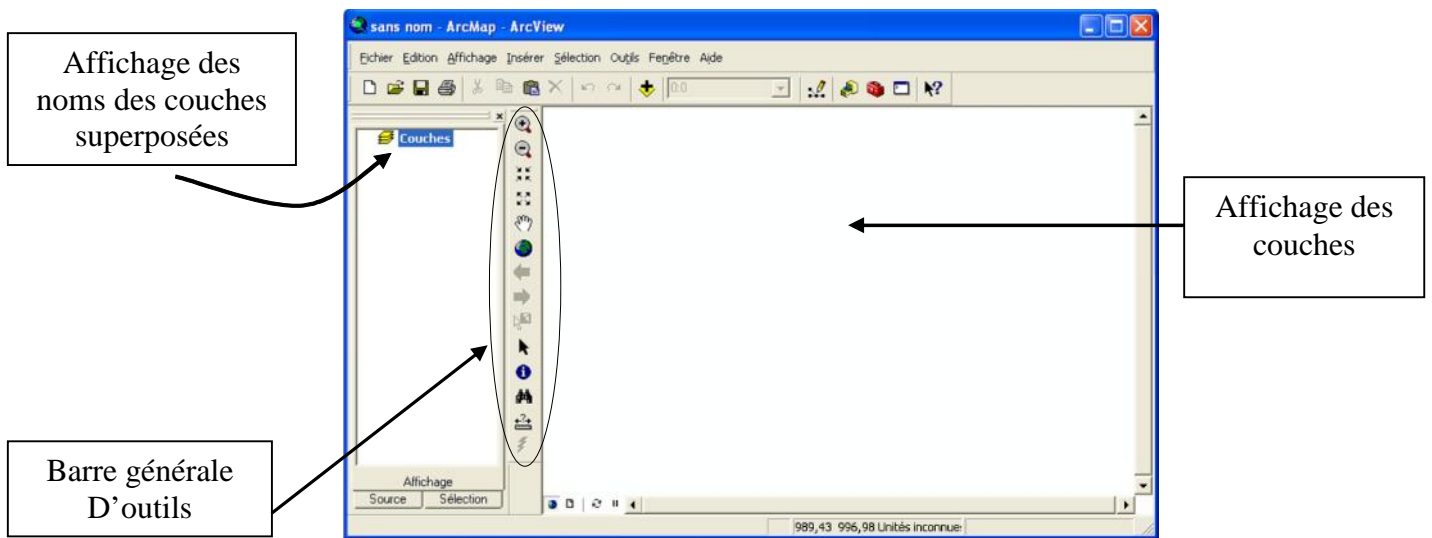


Figure III. 5 : L’interface d’ArcGis

La barre générale d’outils se décline comme suit :

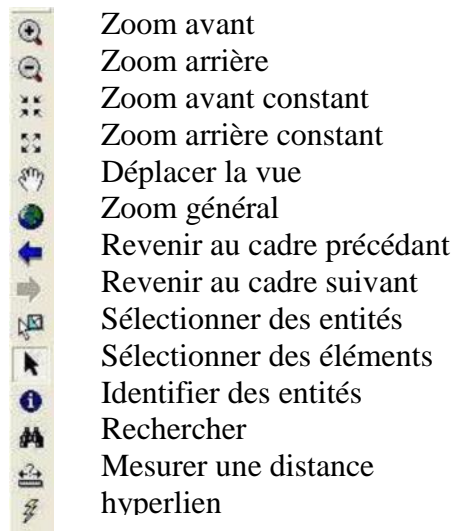

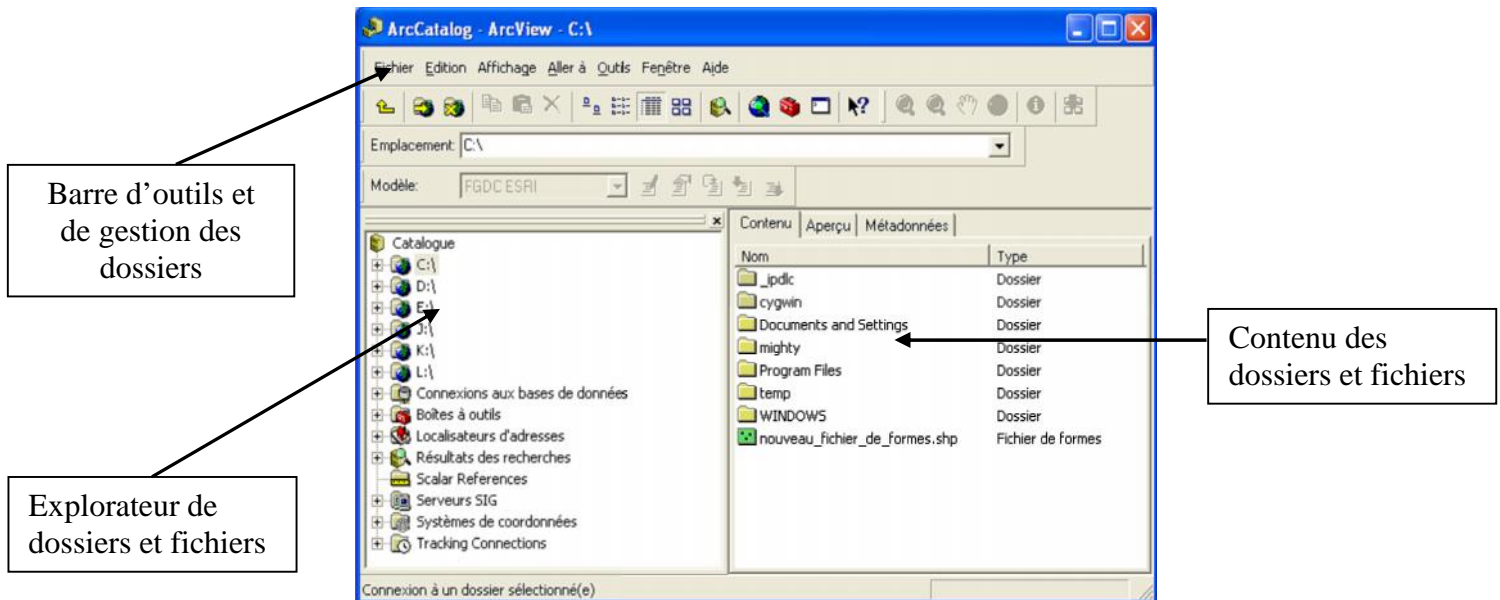


Figure III.6 : La barre d’outils d’ArcGis

La barre d’outils renferme les outils de navigation sur les données graphiques des couches, ainsi que les outils d’affichage rapide de données sémantiques (attributaires) liées aux entités graphiques. [28]

### III.4 Présentation de l'interface : ArcCatalog

**ArcCatalog**  vous permet de passer en revue, organiser, distribuer et modifier les éléments de propriétés des données géographiques. L'interface permet d'employer des méthodes graphiques ou textuelles pour passer en revue, contrôler ou modifier l'ensemble des données.



**Figure III.7 : L'interface d'ArcCatalog**

C'est idéalement dans cette interface que l'on exécutera les actions les plus courantes listées ci-dessous :

- créer des nouvelles données (couches ou shapefiles, géodatabases...)
- attribuer un système de coordonnées lorsqu'il n'est pas reconnu par le logiciel, ou non attribué
- supprimer une couche (soit l'ensemble des fichiers correspondants au shapefile) définitivement de l'ordinateur

### III.5 Présentation de l'interface : ArcToolBox :

#### ArcToolbox

ArcToolbox est le module dans ArcGis 9.x (ou l'application dans ArcGis 8.x) qui permet d'accéder à toutes les fonctionnalités puissantes de traitement et d'analyse. La boîte à outils fournit un ensemble très riche de fonctions de géotraitement. Il convertit aussi les formats de données pour l'importation ou l'exportation de fichiers, ainsi que les changements de projection. [28]



**Figure III.8 : L'interface d'ArcToolbox**

L'ensemble des outils présents dans chaque boîte à outil n'est pas obligatoirement accessible. Certains nécessitent l'achat d'extensions supplémentaires.

Généralement, en cliquant sur un outil, une fenêtre correspondant à l'outil s'ouvre, permettant de paramétrer ce dernier. Il est possible de créer ses propres scripts, que ce soit au travers de python (livré avec le logiciel) ou en transformant un ModelBuilder.

### **Le Document MXD**

La mise en forme des fenêtres, la mise en page, le choix des styles pour les objets cartographiques, le positionnement des étiquettes, etc. Sont autant d'opérations qu'il est intéressant de sauvegarder pour ne pas avoir à les reproduire à chaque ouverture d'ArcMap. Le document de travail (\*.mxd) vous permet de sauvegarder une session de travail. Pour enregistrer l'état d'avancement de votre travail dans un document, allez dans le menu


Fichier >Enregistrer sous...


## **III.6 Gestion des couches :**


La gestion des couches est essentielle pour bien travailler avec le logiciel. Bien comprendre comment s'organisent les couches les unes par rapport aux autres et comment s'organise l'articulation entre la donnée géographique et la table attributaire qui lui est associée, est la base de la compréhension des logiciels SIG.

### **III.6.1 Ouverture et fermeture d'une couche :**

**Depuis ArcMap.** A l'ouverture du logiciel, une boîte de dialogue apparaît, soyez sûr de travailler sur un **nouveau document vide** .


**Ajouter des données :** Cliquez simplement sur Ajouter des Données  (add data). L'opération réalisée ici a pour objectif de monter l'interactivité entre ArcCatalog et ArcMap.

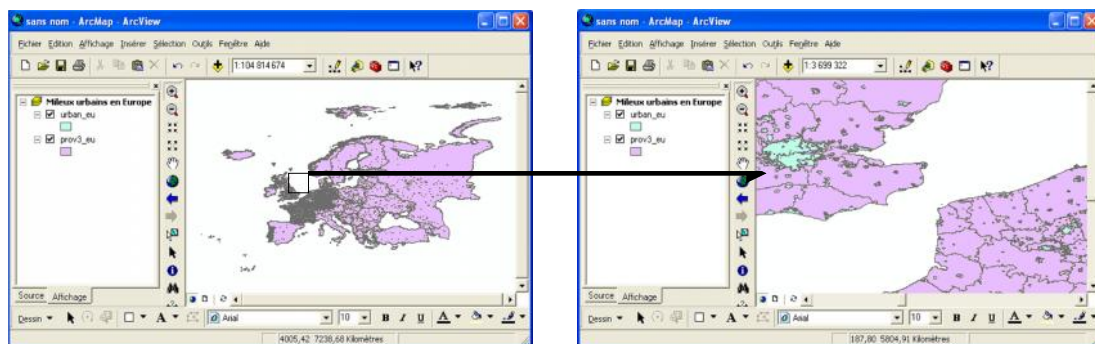
**Connecter un dossier** : Cliquez sur le bouton  situé dans la barre des tâches du haut de l'écran pour connecter un dossier de travail.

**Propriétés** : Changez le nom de votre vue de données.  Dans le menu affichage (view), sélectionnez les **propriétés du bloc de données** (data frame properties).

Sous l'onglet application (général), changez le nom des données pour reconnaître votre travail.

Changez le menu déroulant afficher (display) des unités selon vos besoins (kilomètres par exemple), puis cliquez sur ok .


**Zoomer** : Dans la barre d'outils, cliquez sur l'outil de zoom  (zoom in) pour une meilleure vue de votre carte, en pressant simplement le bouton de la souris ou en maintenant le bouton enfoncé pour définir un cadre de zoom.



**Figure III.9 : Zoomer une zone de carte**

**Fermer des données** : Pour fermer une couche dans ArcMap, faites un clic - droit sur son nom et sélectionnez Supprimer (remove). Cette opération supprime la couche du logiciel, mais pas de l'ordinateur.

### Depuis ArcCatalog

Si le lecteur de travail où vous stockez vos données n'est pas disponible dans l'arborescence des fichiers, cliquez sur le bouton connecter un dossier  (connect to folder) pour ajouter le dossier ou lecteur désiré.

Pour ajouter une couche, sélectionnez les fichiers '\*.shp' que vous voulez ouvrir dans l'arborescence de ArcCatalog et faites-les glisser jusque sous la couche (layers) de ArcMap.

## III.6.2 Exploration des couches : ArcMap

### III.6.2.1 Affichage des couches

Cliquer sur le nom d'une couche la rend active. Maintenez le clic et faite glisser la couche au dessus ou en dessous d'une autre couche pour modifier l'ordre d'affichage. L'encoche à gauche du nom permet de rendre visible ou invisible la couche.


Notez qu'au bas de l'arborescence des couches (table des matières), il y a trois onglets **affichage** (display), **source** et **sélection** .

La sélection vous permet d'éliminer des fichiers de forme lorsque vous sélectionnez, tout en laissant la couche affichée. L'affichage met en avant l'ordre de superposition des couches les unes par rapport aux autres. Le nom le plus haut correspond à la couche la plus au-dessus des autres. La source est le chemin d'accès à la couche. Les fichiers ne possédant pas



d'objets graphiques (les tables attributaires telles que les \*.DBF) n'apparaîtront que dans cet onglet. [11]

### III.6.2.2 Identification d'une entité

Sélectionnez le bouton identification  (identify). Une fenêtre nommée résultats d'identification apparaît.

### III.6.2.3 Choix du répertoire de travail de géotraitement


Ouvrez ArcToolbox et faites un clic droit dessus pour choisir environnements, ou cliquez sur le bouton Environnement de l'onglet Géotraitement, dans le menu Outils> Options. Dans la boîte de dialogue de l'environnement, cliquez sur paramètres généraux (general settings).

Parcourez le chemin d'accès pour définir votre espace de travail en sortie par défaut. Fermez l'environnement en cliquant sur OK.

### III.6.3 Affichage d'une barre d'outils/ Activation d'une extension

Dans ArcMap ou ArcCatalog, allez dans le menu affichage, et sélectionnez barre d'outils, puis choisissez l'outil désiré. Vous pouvez aussi faire un simple clic droit sur le contour gris du logiciel et choisir directement l'outil.

### III.6.4 Exploration des couches : ArcCatalog

Ouvrez ArcCatalog . Il offre une autre façon d'explorer vos données. ArcCatalog est présenté comme l'explorer Windows. Dans l'arborescence gauche du logiciel, allez dans le dossier où est rangé le shapefile (ou la couche) que vous voulez observer et sélectionnez le fichier en cliquant sur son nom.


La représentation graphique apparaît dans la fenêtre de droite.

Explorez le fichier en sélectionnant le **contenu**, l'**aperçu** de la **table** de données ou de la **géographie** et les **métadonnées** en haut à gauche de la fenêtre principale.

Dans l'onglet **aperçu**, vous pouvez avoir un aperçu de la **table** de données ou de la **géographie** de votre couche.

L'aperçu géographique est un petit visualisateur où vous retrouver les outils de navigation de la barre d'outils de ArcMap.

### III.6.5 Affichage des données attributaires à l'écran

Faites un clic droit sur le nom de la couche et sélectionnez **ouvrir la table attributaire** (open attribute table). Observez les données puis fermez la table  lorsque vous avez fini.

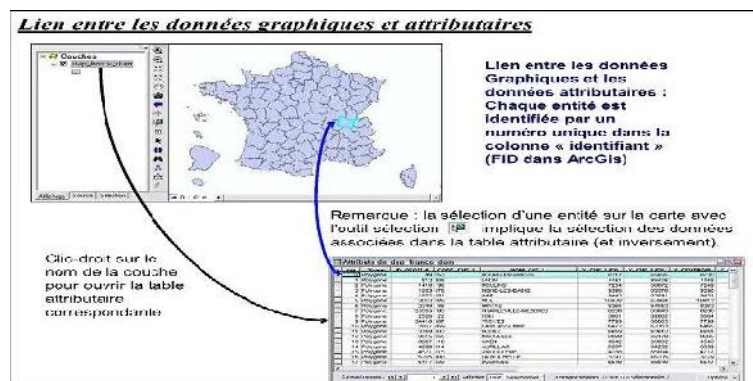




Figure III.10 : Affichage des données attributaires

Une entité correspond à une ligne dans la table attributaire. Lorsque l'on sélectionne une entité sur la carte à l'aide de l'outil sélection 

Dans les tables attributaires, les attributs en caractères (texte) sont justifiés à gauche, les attributs numériques (flottant, entier, virgule fixe..) sont justifiés à droite.

### III.6.6 Connaître et modifier la projection d'une couche :

Pour connaître le système de projection de la vue (ArcMap). Dans les propriétés du bloc de données  du menu affichage, allez sous l'onglet système de coordonnées (coordinate system).

### III.6.7 Attribuer une projection (ArcCatalog)

Si vous observez que le système de projection est « inconnu » dans ArcMap (cf. « connaître le système de projection de la vue ») et que votre couche ne se superpose pas aux autres couches, cela peut arriver dans deux cas :

- le logiciel ne possède la projection de la couche dans ses références (ou pas exactement) ;
- votre couche (ou image) ne possède pas de projection

### III.6.8 Attribuer une projection lorsqu'elle n'est pas reconnue

Pour indiquer au logiciel le système de projection de la couche, vous devez aller sous

ArcCatalog et avec un clic - droit sur le nom de la couche, ouvrir les propriétés. Sous l'onglet champs, cliquez sur le nom du champ correspondant à la géométrie ; il s'agit ici de 'shape'.

Ceci affiche dans la partie du bas, les propriétés du champ. Cliquez sur la référence spatiale (Définie en 'Unknow') pour ensuite importer la référence spatiale d'une autre couche, ou spécifier une référence prédéfinie.

La couche dont on modifie la projection doit être fermée dans ArcMap pour que les modifications prennent effet.

### III.6.9 Création d'une couche (ArcCatalog)

Ouvrez ArcCatalog. Allez dans le dossier où vous voulez créer le nouveau fichier de forme.

Par un simple clic droit sur le dossier, allez dans > nouveau > fichier de formes (ou autre pour un autre type de fichier).

Nommez votre fichier et renseignez le **type d'entités** que vous voulez créer. N'oubliez pas de modifier le système de coordonnées du fichier de formes. Si vous êtes sur un travail en cours, faites importer le système d'une couche que vous utilisez. Cliquez sur **OK**.

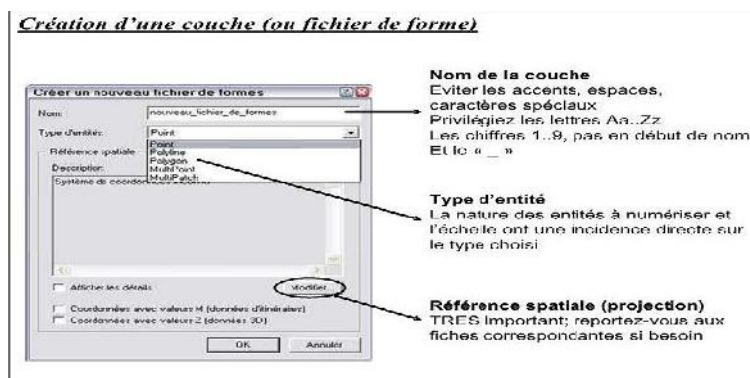


Figure III.11 : Création d'une couche

### III.6.10 Création de champs attributaires

Pour ajouter un champ (ArcMap). Ouvrez la table Attributaire de la couche.

Pour ajouter un champ à la table, allez dans le menu **options** de la table, puis ajouter un champ (add field). Entrez le **nom** et le **type**, puis cliquez sur **OK**.

Pour supprimer un champ, faites un clic droit sur l’entête du champ à supprimer puis cliquez sur **supprimer un champ** (delete field).

### III.6.11 Ajouter plusieurs champs (ArcCatalog)

Allez dans les **propriétés** du **fichier de forme** (couche), à partir d’un clic - droit sur son nom. Sous l’onglet **champ** (field), tapez le nom des champs (sans espaces ni caractères spéciaux dans le mesure du possible) le **type du champ**, et les **propriétés** (longueur de chaîne, nombre de décimales...).

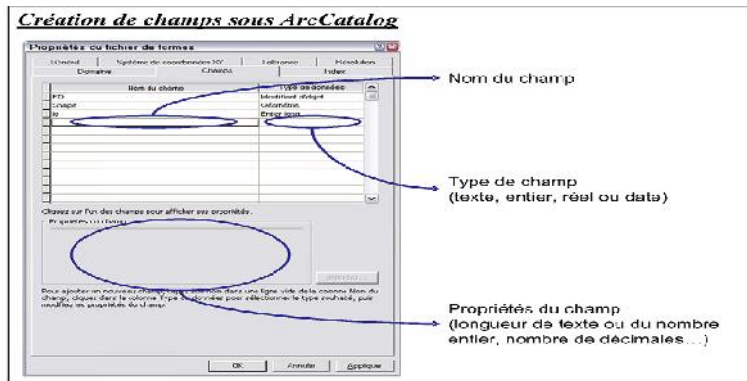



Figure III.12 : Création de champ ArcCatalog

#### III.6.11.1 Sélection par attributs (requête attributaire)

A partir du menu **sélection** choisissez **sélectionner par attributs**  (select by attributes).

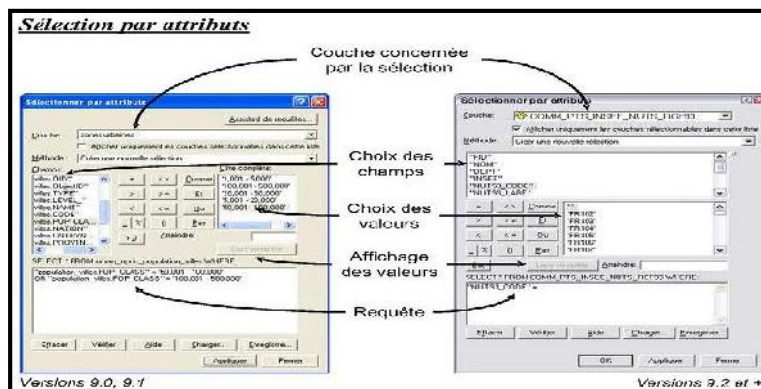


Figure III. 13 : Sélection des requêtes

Si la vérification indique que la syntaxe est correcte, appliquez la sélection, et fermez la fenêtre de dialogue pour voir les sélections sur - brillantes en bleu ciel.

#### III.6.11.2 Jointure attributaire/ Jointure spatiale

Faites un clic droit sur le nom de la couche géographique de départ et sélectionnez **jointures et relations** (joins and relates) puis **joindre**.

La boîte de dialogue suivante apparaît :

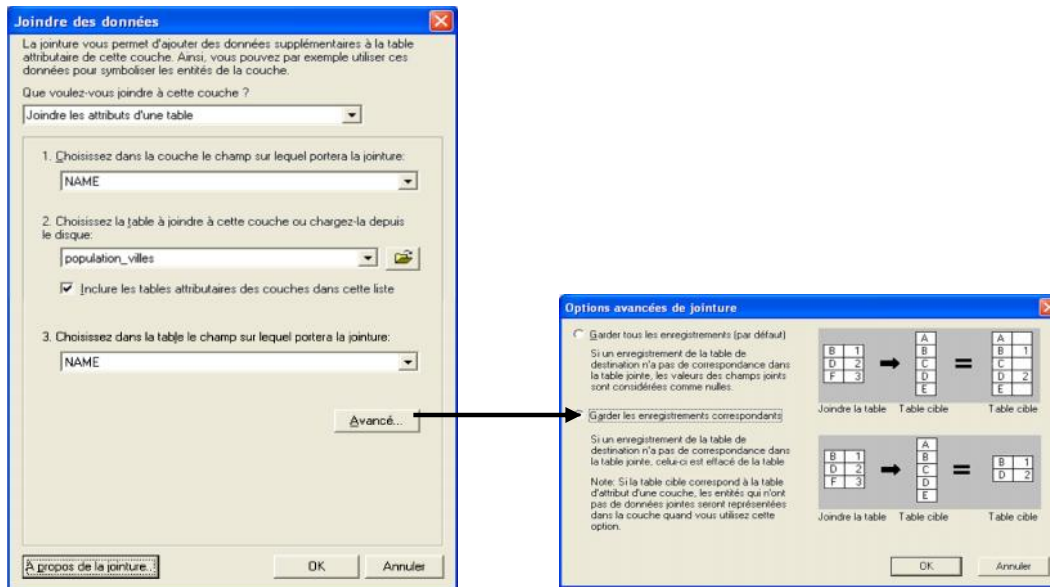


Figure III. 14 : Jointure des données

### III.7 Outils d'analyse

Dans ArcView 9.x, les outils d'analyses sont dans ArcToolbox 

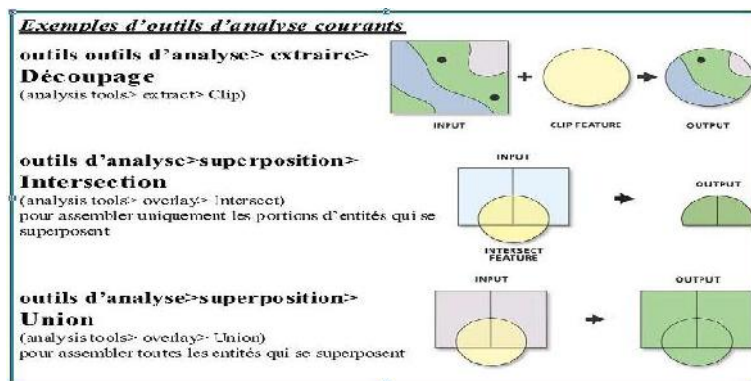


Figure III. 15 : Les outils d'analyse

#### III.7.1 Analyse thématique/Sémiologie/ Symbologie

L'analyse thématique met en évidence un ou plusieurs phénomènes de la carte et participe grandement au rendu final d'une carte. Elle joue un rôle dans la perception de la carte par vos interlocuteurs. Il est donc indispensable de prendre du recul pour voir si le rendu de l'information est fidèle à ce que vous vouliez mettre en avant. Il est aussi indispensable que votre information soit claire et non noyée dans une masse d'informations inutiles.

#### III.7.2 Symbologie/ Affichage simple des entités

Pour modifier toutes les entités d'une couche. Double-cliquez sur la couche ou faites un clic - droit pour afficher les propriétés de la couche (layer properties). Puis sélectionnez l'onglet Symbologie (symbology).

Cliquez sur le rectangle coloré du symbole pour appeler la fenêtre de sélection du symbole (symbol selector).

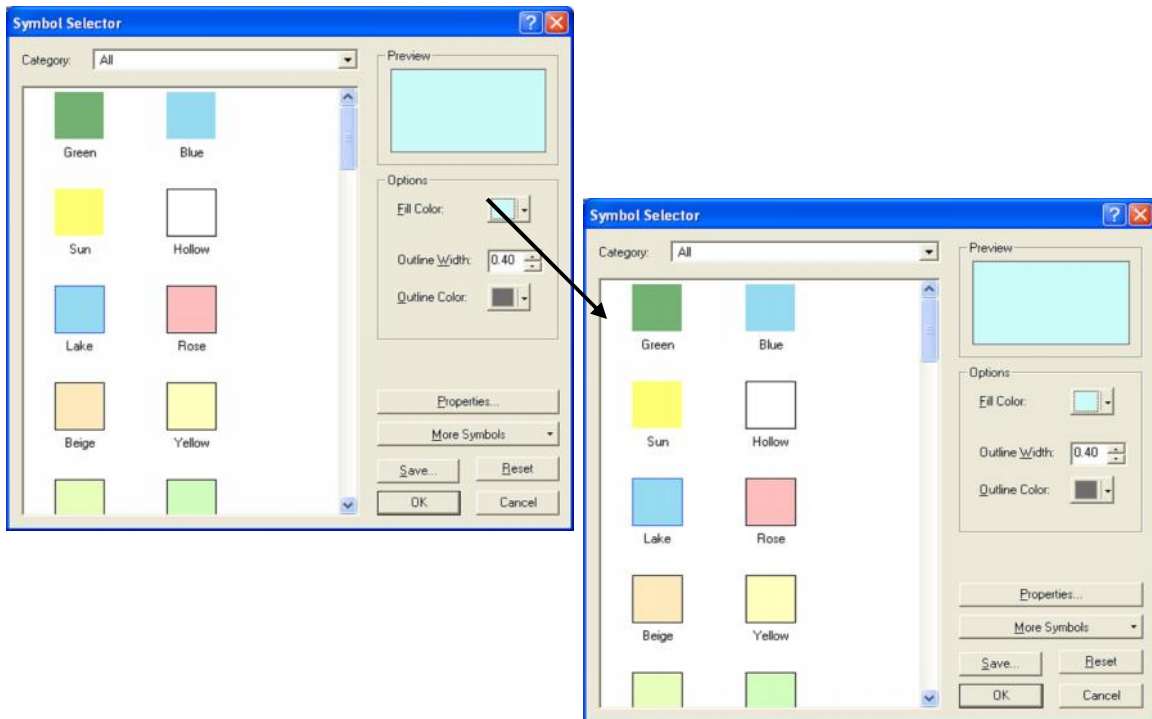


Figure III.16 : Sélection de Symbologie

Si besoin, changez la couleur de remplissage, la couleur du bord (outline) et la largeur de bord (width).

Le bouton Propriétés... (Properties...) permet de changer plus d'options dans l'affichage des entités de la couche.

### III.7.3 Analyse thématique/ Affichage avancé des entités

L'analyse thématique a pour objectif principal de mettre en forme les données que vous voulez faire ressortir de la carte. L'analyse thématique répond aux règles principales de la sémiologie graphique.

Par un clic-droit de la couche, sélectionnez l'onglet symbologie (symbology) des propriétés (layer properties) de la couche. Dans la partie afficher (show), à gauche de la boîte de dialogue, sélectionnez l'analyse thématique la plus appropriée à l'affichage de vos données puis OK.

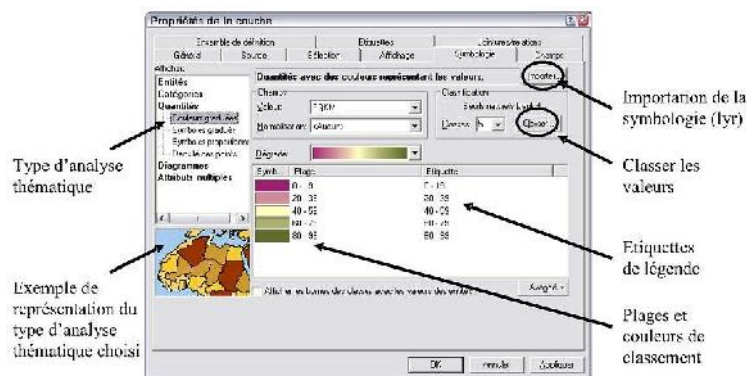


Figure III. 17 : Propriétés de l'analyse thématique

### III.8 Etiquetage des entités

Double-cliquez sur le nom de la couche et sélectionnez l’onglet étiquettes (labels). Assurez-vous que l’étiquetage des entités dans cette couche est actif (label features in this layer), et que le champ de l’étiquette (label field) est bien celui qui contient les noms que vous voulez voir afficher ! Cliquez sur l’option de placement des étiquettes (placement properties) pour choisir les caractéristiques de l’étiquetage.

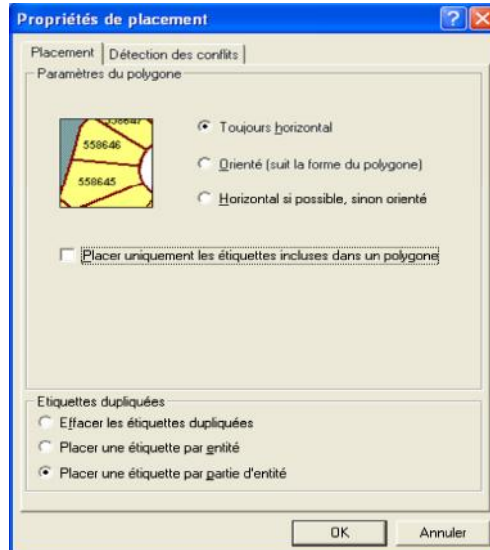


Figure III.18 : Propriétés de l’emplacement

### III.9 Mise en page

La mise en page est l’étape finale du travail. Elle consiste à mettre tous les éléments indispensables à une carte. La carte doit contenir impérativement : Une légende, un titre, l’orientation, l’échelle, les sources, le nom et la date de réalisation. Sélectionnez la mise en page dans le **menu affichage> mode mise en page** . Avec un clic droit sur la page, choisissez **mise en page** (page and print setup), ou dans le menu **fichier> mise en page** et changez la mise en page de **portrait** vers **paysage** (landscape). Cliquez ensuite sur **OK**. Pour ajouter les éléments indispensables à votre carte comme le titre , la flèche nord , l’échelle , la légende ou une image , allez dans le menu **insérer** et sélectionnez l’item désiré. [11]

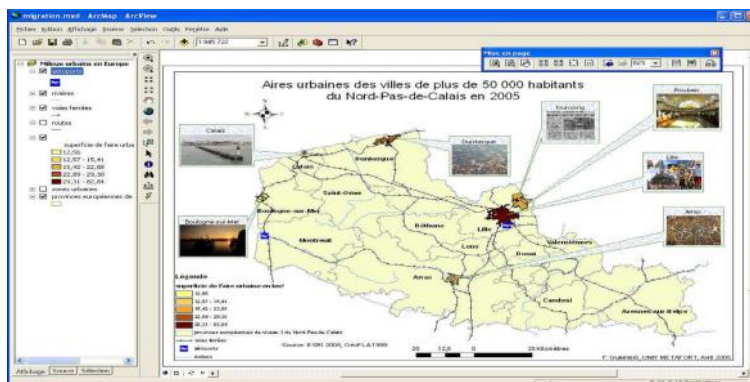


Figure III. 19 : Fenêtre de la mise en page

Lorsque la carte est terminée, allez dans le menu **fichier**, pour **exporter la carte**. Choisissez le format d'exportation, le nom de la carte, et cliquez sur **enregistrer**.

### III.10 Création d'une légende

Une commande spécifique existe pour créer une légende décrivant toutes les informations contenues dans la carte. **Menu Insérer> Légende...** . Pour cela, il faut bien évidemment se trouver sur **l'Affichage> Mode mise en page**.

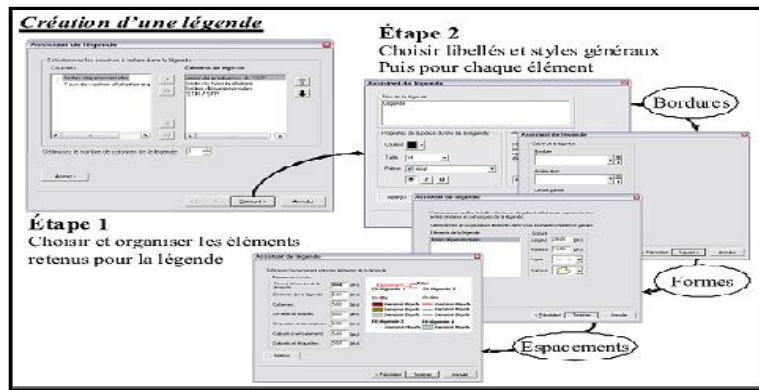


Figure III. 20 : Création d'une légende


La première fenêtre permet de sélectionner les couches qui seront intégrées dans la légende et de faire varier l'ordre d'apparition (organisation). La seconde fenêtre permet de faire varier le titre de la légende alors que la troisième, organise l'aspect général (contour, fond...). L'intérêt

de la quatrième fenêtre est la possibilité de faire apparaître des entités autrement que par défaut (par exemple, un polygone par un rectangle). La dernière fenêtre modifie l'espace entre les éléments de la légende.

Lorsque vous avez terminé, une nouvelle fenêtre Légende apparaît.

### III.11 Géoréférencement de données rasters

Le géoréférencement d'une image de carte (souvent des cartes anciennes ou des relevés de terrain) permet de localiser géographiquement le lieu pour ensuite faire des analyses spatiales.

Ouvrez l'image  dans ArcMap. Le logiciel vous indique qu'elle ne possède pas de référence spatiale connue.

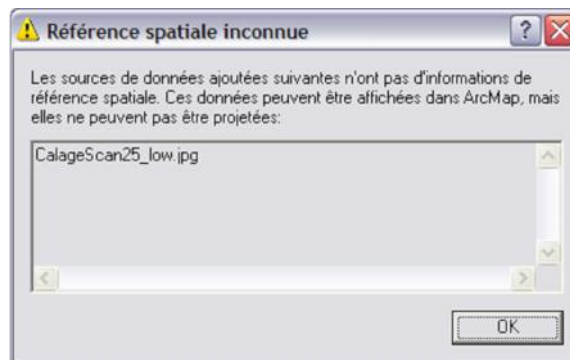




Figure III. 21 : Référence spatial

Cliquez sur OK si cette fenêtre s'affiche, puis choisissez de faire une Vue Générale  si d'autres couches sont aussi ouvertes. La vue générale est à très petite échelle (très éloignée), car le logiciel a, par défaut, calé l'image aux coordonnées X=0 et Y=0 de la projection courante. Observez la référence spatiale du fichier dans les **propriétés** de la couche raster.

A l'aide de ArcCatalog, affectez le système de projection adéquat. Il est indispensable avant de commencer le géoréférencement.

Ouvrez la barre d'outils **Géoréférencement** et cliquez sur le bouton **Visualiser la table des liens**  de la barre d'outils. Pour afficher la bar d'outils de géoréférencement, allez dans le menu **affichage> barres d'outils> géoréférencement** (tools> toolbars> georeferencing).

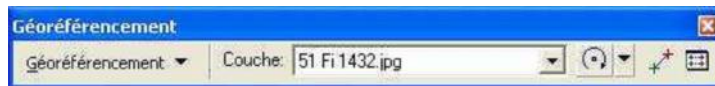


Figure III. 22: géoréférencement

Il existe deux méthodes de référencement. Soit vous connaissez les coordonnées géographiques de certains points de votre carte, soit vous avez une carte de référence qui possède des points repérables sur la carte à référencer.

Une fois les 4 points positionnés ArcView vous donne une appréciation de votre calage pour chaque point en pixel. Si cette erreur vous paraît acceptable vous pouvez valider le calage en cliquant sur OK.



***CHAPITRE IV***  
***DEVELOPPEMENT D'UN SIG***  
***GEOOTHERMIQUE POUR ADRAR***

IV.1 Introduction

La conception et la réalisation d'un système d'information géographique 'SIG' intégrant les informations sur les potentialités géothermiques (les forages et les réservoirs géothermiques) peut répondre aux besoins des gestionnaires, des investisseurs privés et des professionnels travaillant dans le domaine des ressources en eaux et/ou d'énergie.

Le 'SIG' est formé principalement d'un système de gestion de base de données géographiques et d'un outil d'analyse spatial. La représentation des données se fait en mode vectoriel et en mode raster

Le mode vectoriel, correspond au format le plus utilisé pour les objets définis par une paire de coordonnées X et Y. Dans ce cas, les objets sont localisés avec précision; et ils sont représentés, par des points (forage, point d'eau). Ou bien par des surfaces (formation géologique, wilaya, communes). Ce mode donne une représentation très conforme à la réalité.

Par contre, le mode image ou raster est moins précis; il correspond à une partition régulière de l'espace sous forme de pixels affectée d'une valeur numérique.

IV.2 Données géothermiques d'entrée utilisées pour le SIG d'Adrar

Les données géothermiques sont caractérisées par deux attributs: attributs descriptifs ou alphanumériques tabulaire, regroupant les informations sur la température, la profondeur, caractéristique physico – chimiques et la géologie des points d'eau et les forages, les attributs spatiales relatifs à la géométrie des aquifères et à la position spatiale des forages et des ressources.

Les données dont nous disposons proviennent de sources diverses. Elles ont été collectées auprès ANRH, numérisées (Tableau). Ces données se rapportent à la composition chimique des eaux, cartes topographiques, géologiques et satellites.

IV.3 Création de la base de données

Pour valoriser l'information collectée, dans un premiers temps, les données ont été saisies dans un tableau Microsoft Excel. Cette base de donnée tabulaire est organisée dans un tableau qui regroupe les informations sur les points d'eaux, à savoir: les coordonnées, la localité, la composition chimique, et la date de prélèvement.

No	No Cuvrage	Wilaya	Daira	Commune	Lieu dit	ID	Profondeur Total	Temperature
1	0001-00015	ADRAR	TIMINGHIL	EL OUISSAID	EL OUISSAID	NHINEL	100	26,5
2	0005-00017	ADRAR	ADULEF	ADULEF	EL OUISSAID	ADULEF	100	26
3	0005-00026	ADRAR	ADULEF	ADULEF	ADULEF	ADULEF	100	26,5
4	0001-00017	ADRAR	ADRANIT	ADRANIT	ADRANIT	ADRANIT	100	26
5	1006-00099	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	22,5
6	0005-00050	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	26
7	0001-00130	ADRAR	ADRANIT	ADRANIT	ADRANIT	ADRANIT	100	26,5
8	0004-00257	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	26
9	0004-00061	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	26
10	0004-00106	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	26
11	0004-00102	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	26
12	0005-00014	ADRAR	ADULEF	ADULEF	ADULEF	ADULEF	100	26,5
13	0001-00384	ADRAR	TIMINGHIL	TIMINGHIL	TIMINGHIL	TIMINGHIL	100	26,5
14	0001-00081	ADRAR	TIMINGHIL	TIMINGHIL	TIMINGHIL	TIMINGHIL	100	26,5
15	0001-00081	ADRAR	TIMINGHIL	TIMINGHIL	TIMINGHIL	TIMINGHIL	100	26,5
16	0004-00451	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	26,8
17	0004-00481	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	26
18	0001-00081	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	26,5
19	0004-00080	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	26,5
20	0004-00438	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	26,5
21	0004-00400	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	26
22	0004-00010	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	26
23	0005-00025	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	26
24	0001-00111	ADRAR	TIMINGHIL	TIMINGHIL	TIMINGHIL	TIMINGHIL	100	26
25	0001-00080	ADRAR	TIMINGHIL	TIMINGHIL	TIMINGHIL	TIMINGHIL	100	26
26	0004-00080	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	26
27	0004-00080	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	26
28	0004-00080	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	26
29	0004-00080	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	26
30	0004-00080	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	26
31	0004-00080	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	26
32	0004-00080	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	26,8
33	0004-00080	ADRAR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	TINERKOUR	100	26,8

Figure VI.1 : Base des données crée pour le SIG

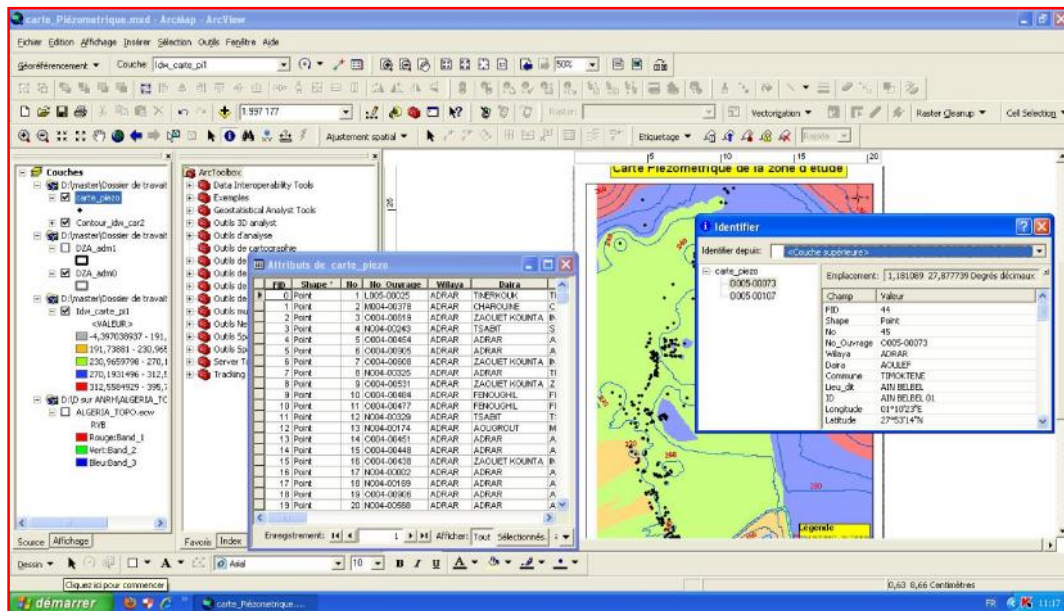
Les données d'entrées utilisées pour la création du SIG regroupes plusieurs thématiques sont les suivants :

Thème	Type spatial	Mode Acquisition	Origine
Satellite	Polygone	Numérisation	Carte satellite
Topologie	Polygone	Numérisation	Carte Topologique
Géologie	Polygone	Numérisation	Carte géologique
Points d'eau	Point	Numérisation	ANRH
Lithologie	Image	Raster	Coupes techniques et lithologiques
Limites administratives	Polygones	Numérisation	Internet
Carte thermique	Arc et point	Numérisation	ANRH

**Tableau VI.1 : Composantes thématiques de la base de données**

**IV.4 Affichage des données et édition des cartes**

Le logiciel utilisé pour afficher les données est ArcGis 9.2. Ce logiciel de SIG permet de combiner différentes couches, de digitaliser des images raster et de visualiser les cartes. Pour réaliser des cartes d'édition, les données d'ArcGis sont exportées en format PDF soit en format jpeg.



**Figure VI.2 : Présentation des données avec ArcGis**

**IV.5 Gestion et manipulation du SIG**

Après la collecte des données sous forme d'un tableau Excelle, lancer le logiciel ArcGis, depuis l'ArcMap a l'ouverture du logiciel, une boite de dialogue apparait, soyer sur de travail avec un nouveau document vide, votre table à partir de **Outils ajouter données XY**, Les données sont automatiquement ajoutées à un bloc de données :

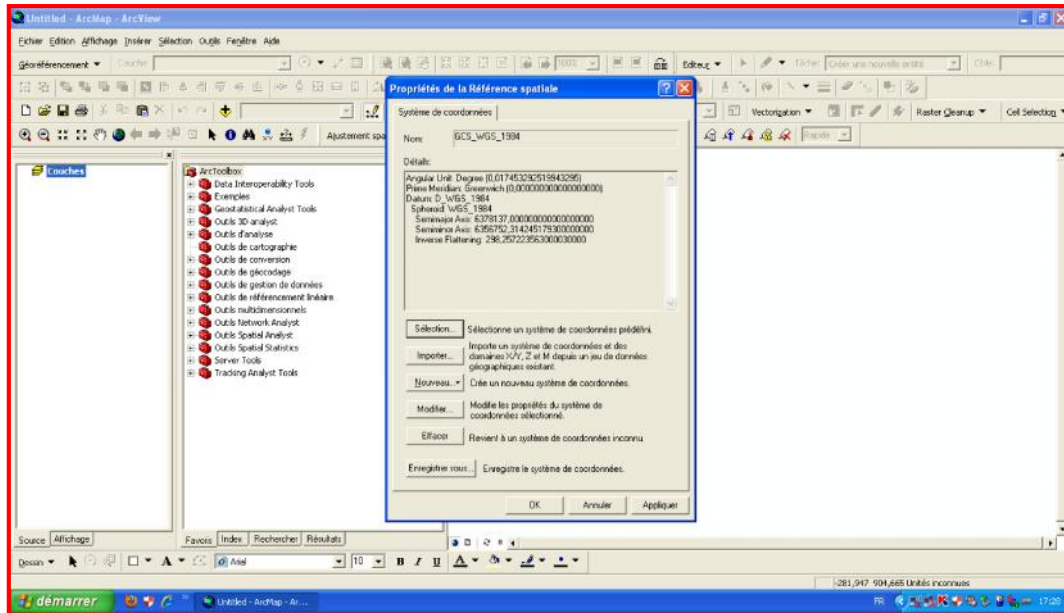


Figure VI.3 : Ajouter des données en ArcGis

Après la définition du système de coordonnées GWS 84 puis cliquer sur appliquer, la table données est transformée automatiquement à une carte spatiale géoréférencées :

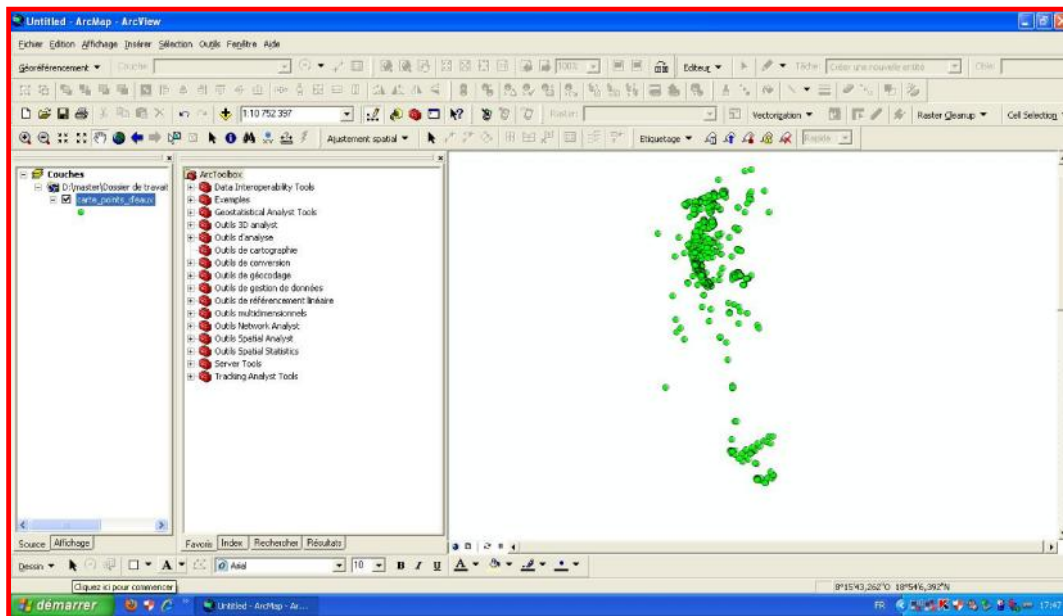


Figure VI.4: Transformation des données en carte spatiale

Donc notre base donnée est constituée maintenant. A partir de cette table on peut faire les tâches suivantes :

- Afficher les informations de n'importe qu'elles points géothermiques (profondeur, température, RS, caractéristiques physico-chimiques).
- Rappeler la carte sous forme raster (carte topo, carte géologique, carte satellites) et on l'utilise comme support.

- Edition des cartes (température, profondeur, piézométrique, RS et tout paramètre nécessaire à notre travail). Exemple : carte de température des sites géothermiques.

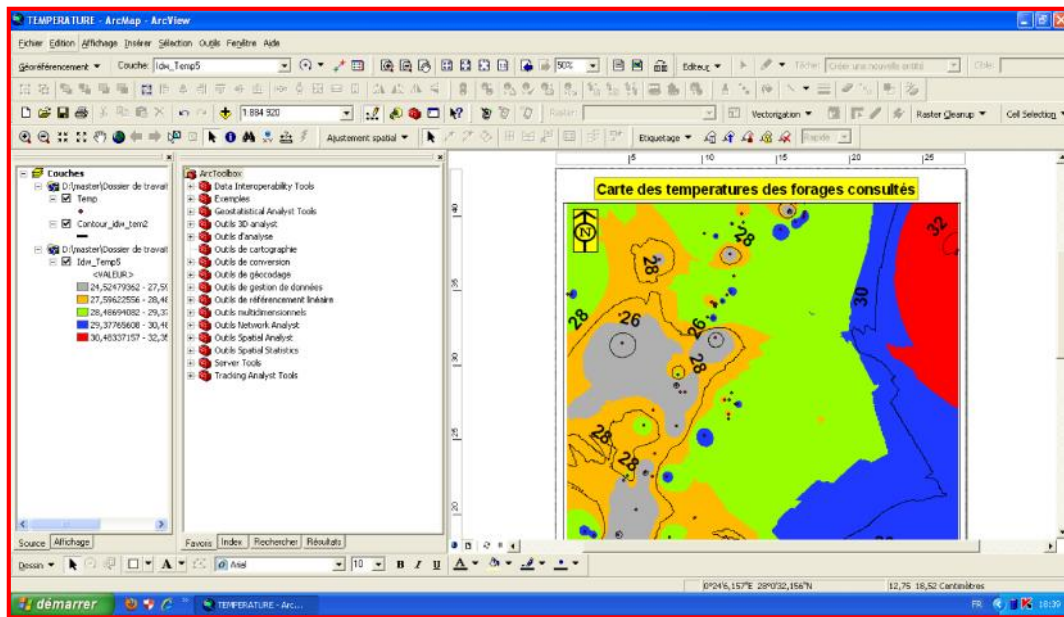


Figure VI.5 : Exploration de carte de température a l’ArcGis

**IV.5 .1 Identification d’une entité :**

Sélectionner le bouton identification. Une fenêtre nommée résultats d’identification apparait, cliquer dessus afin d’observer les informations des couches. Dans le menu déroulement couches de la fenêtre résultats d’identification, vous pouvez choisir les couches pour lesquelles les informations doivent apparaitre fermer la fenêtre d’information lorsque vous avez fini.

Exemple : affichage des informations géothermiques (T°, PH, Cond, et les autres paramètres) d’une source dans la région de Timimoun

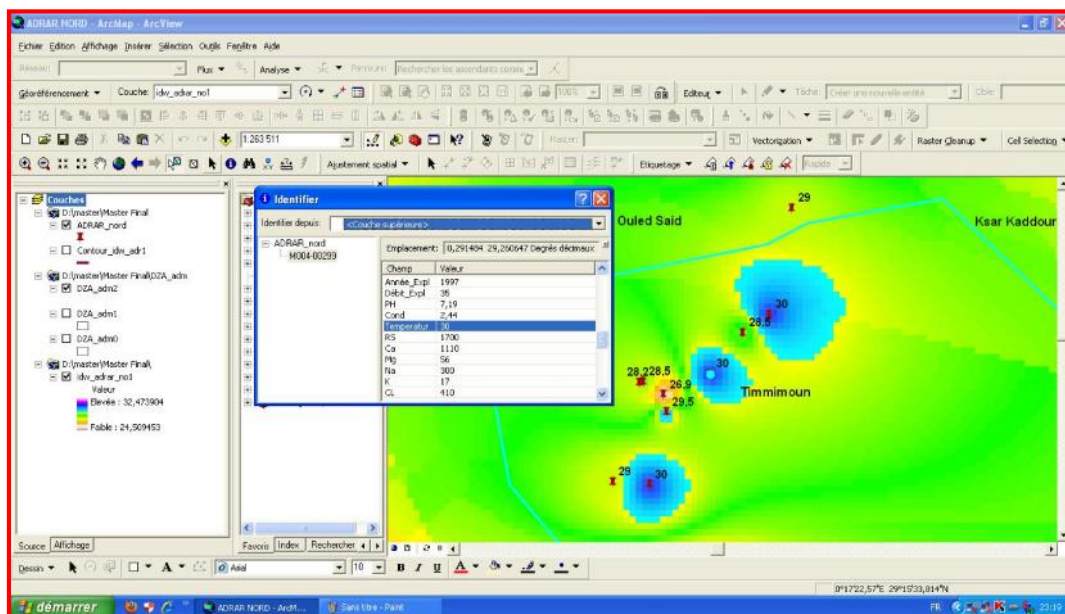


Figure VI.6 : Information géothermique

**IV.5.2 Affichage des données attributaires à l'écran :**

Faites un clic droit sur le nom de la couche et sélectionnez ouvrir la table attributaire puis observez les données puis fermez la table.

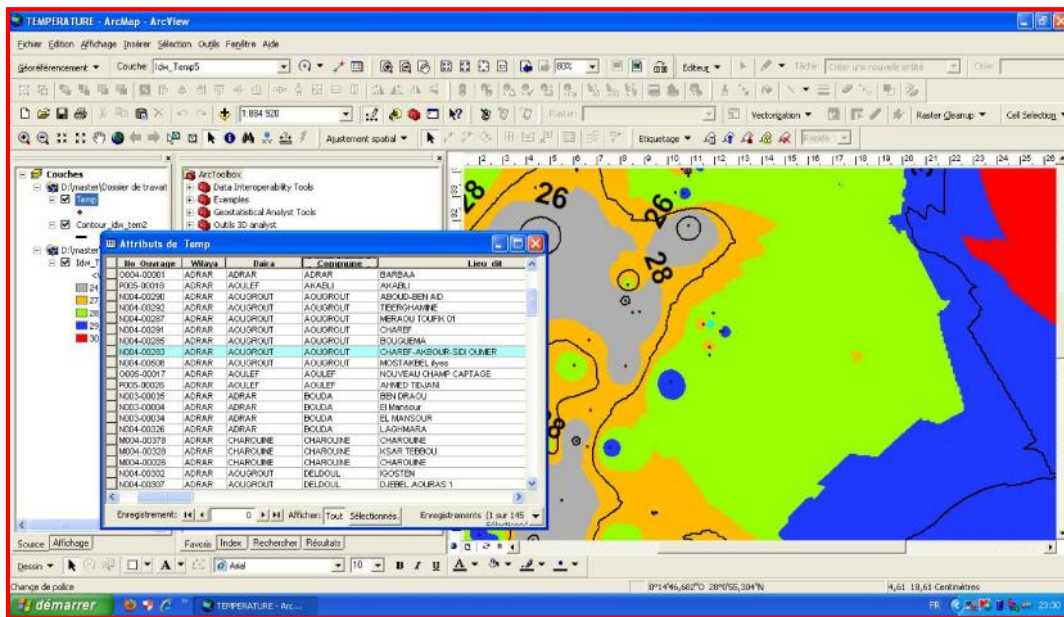


Figure VI.7 : Affichage des données attributaire a l’ArcGis

**IV.5.3 Analyse spatiale :**

L’analyse spatiale participe au traitement même des données à partir de requêtes spatiales bien définies ou d’actions qui permettent de répondre à un questionnaire précis. Une requête est une opération qui consiste à interroger une partie deb la table de données (ou table attributaire).

Les requêtes peuvent porter aussi bien sur des données attributaires que sur des objets géographiques.

**IV.5.4 Sélection par attributs :**

La sélection par attributs se fait sur une seule couche et sur un ou plusieurs attributs de cette couche.

A partir du menu sélection choisissez sélectionner par attributs et définir le critère de recherche.

Exemple : Sélectionner toutes les zones géothermiques dont la température supérieure à 30°C, la partie sélectionnée apparait sur la table

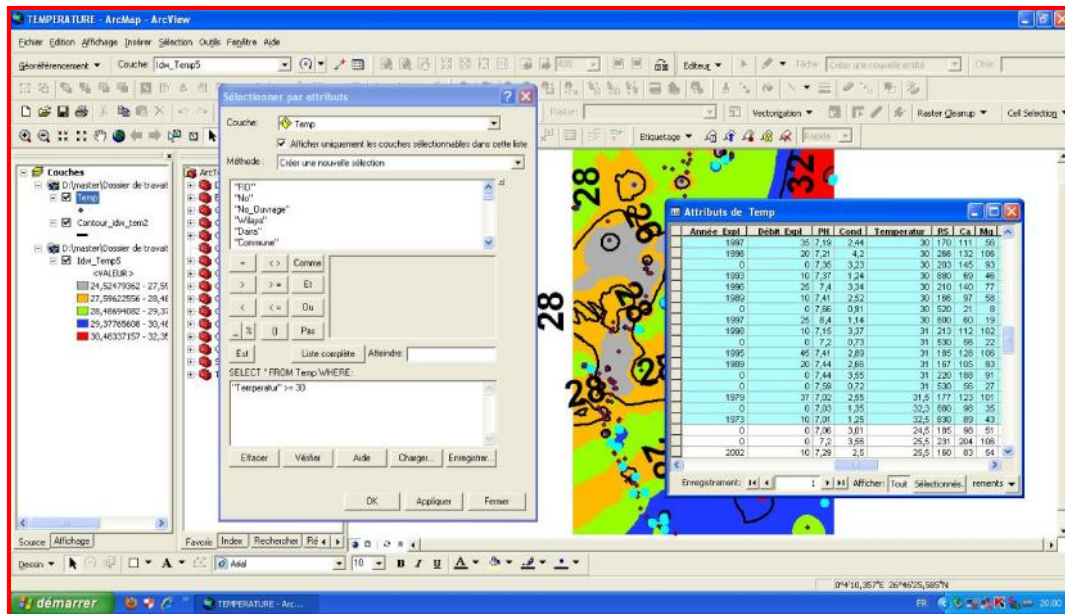


Figure VI.8 : Sélection par attributs

#### IV.5.4.1 Exporter la sélection

Par un clic droit sur le nom de la couche sur laquelle vous venez de réaliser la sélection, puis données ensuite exporter des données, dans la boîte de dialogue, modifiez, le nom de la couche de sortie.

Exemple : on peut afficher seulement les sources géothermiques dont la température supérieure à 30°C comme suite :

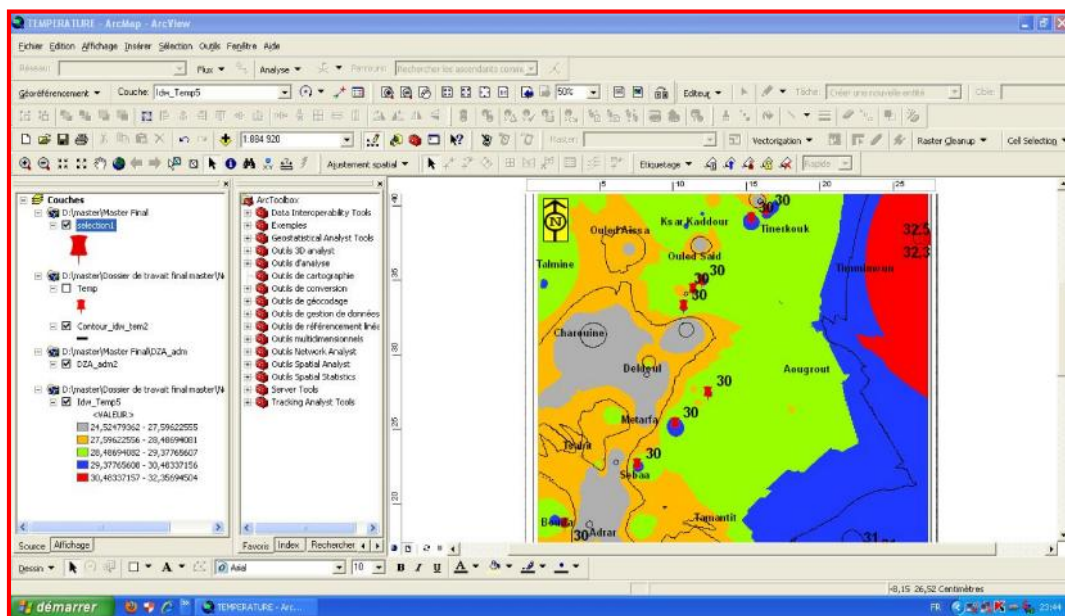


Figure VI.9 : Affichage des zones dont la température supérieure à 30°C Zones les plus favorables pour la géothermie

IV.5.5 Jointure attributaire

La jointure de tables est généralement utilisée pour adjoindre des attributs supplémentaires à la table d'une couche géographique. Pour joindre deux tables, le type des données du champ joint doit être identique entre les tables. Faites un clic droit sur le nom de la couche géographique de départ et sélectionnez **jointures et relations** puis joindre, la boîte de dialogue suivante apparaît :

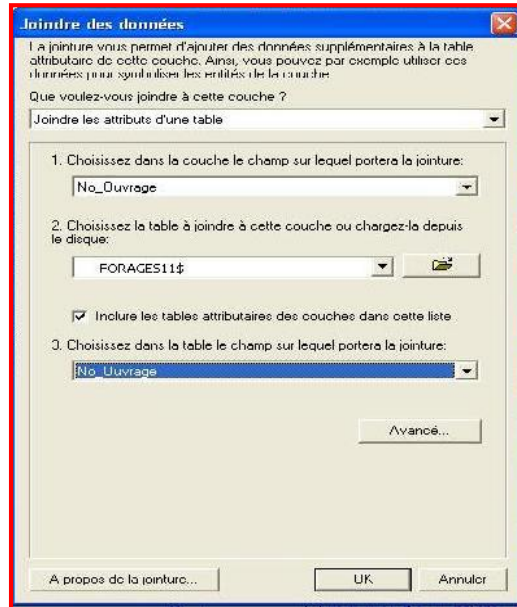


Figure IV.10 : Jointure des données géothermiques à une base de données

Renseignez la table à joindre et champs à joindre pour les deux tables, faites un clic droit sur le nom de la couche géographique de base et ouvrez la table attributaire, pour voir si la jointure a réussi. Observez pour cela les entêtes des champs.

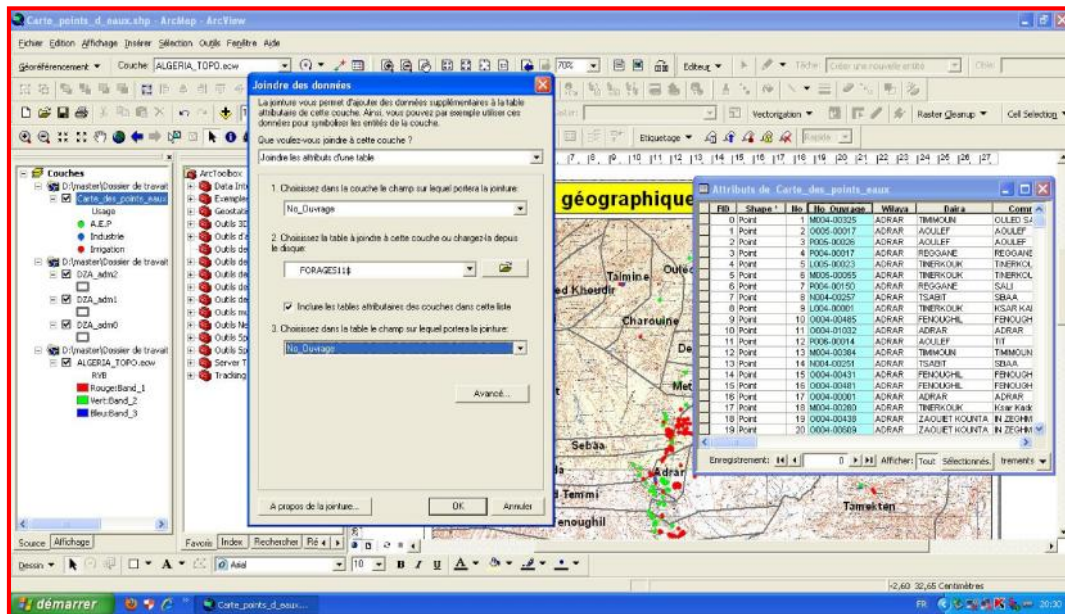


Figure IV.11 : Jointure des données



### IV.5.6 Symbologie et affichage des entités

Cette étape est très importante lors de la manipulation des données, car elle gère le rendu visuel la superposition des couches. C'est dans ces propriétés que vous rendez l'intérieur des entités d'une couche transparent pour voir les couches du dessous.

### IV.5.7 Analyse thématique

L'analyse thématique a pour objectif principal de mettre en forme les données que vous voulez faire ressortir de la carte. L'analyse thématique répond aux règles principales de la sémiologie graphique.

Par un clic droit de la couche, sélectionnez l'onglet Symbologie des propriétés de la couche.

Dans la partie afficher, à gauche de la boîte de dialogue, sélectionnez l'analyse thématique la plus appropriée à l'affichage de vos données.

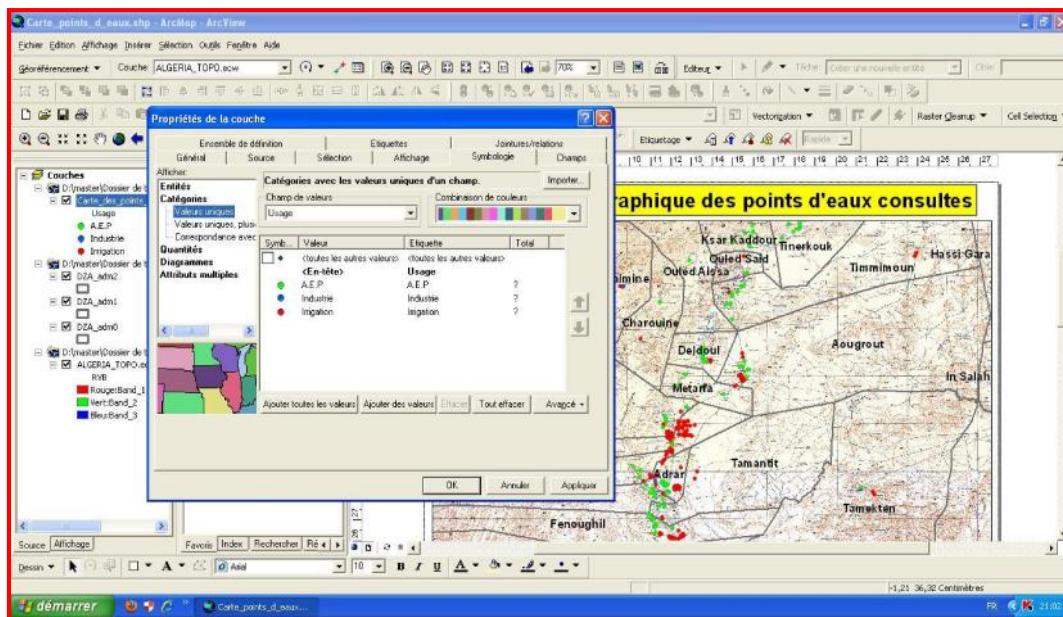


Figure IV.12 : Analyse thématique pour la création de la carte des points d'eaux consultés

### IV.5.8 Création d'un hyperlien

L'affichage des données par un hyperlien permet de lier des données raster à votre carte et facilite l'accès direct aux images rasters talque les photos ; coupes techniques et lithologiques du forage. Pour réaliser cette opération. Par un clic droit de la couche, sélectionnez l'onglet **Affichage** des propriétés de la couche, activer gestion des hyperliens avec champs, choisissez le champ dans lequel vous avez défini le chemin d'accès dans la table attributaire, puis appliqué.

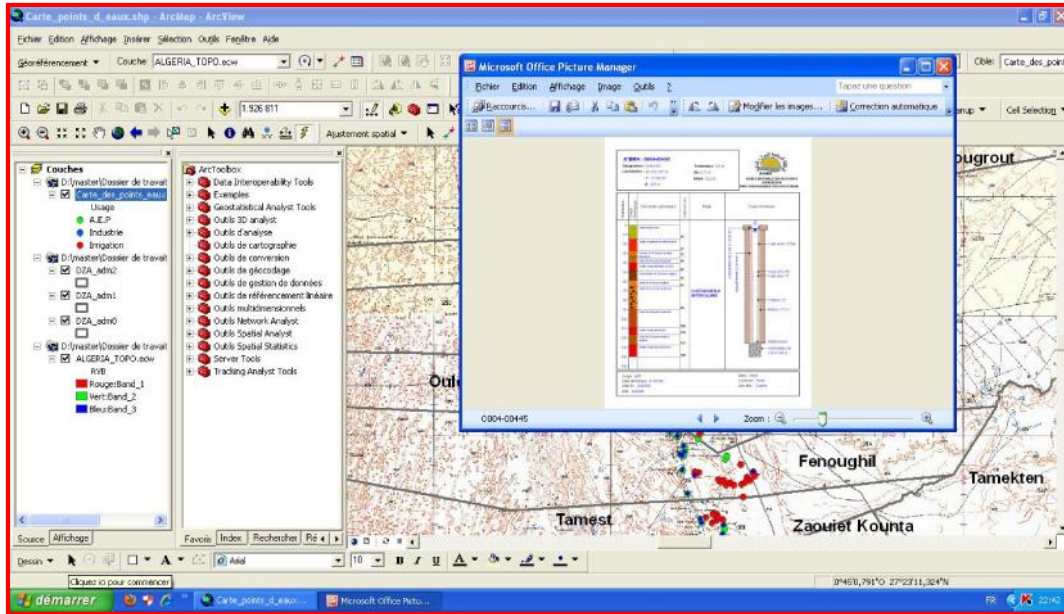


Figure IV.13 : Affichage hyperlien d'une coupe technique et lithologique d'un forage

#### IV.5.9 Création d'une mise en page

La création d'une mise en page permet d'éditer une carte complète pour l'imprimer ou l'exporter dans un format image standard (jpg, bmp, png...).

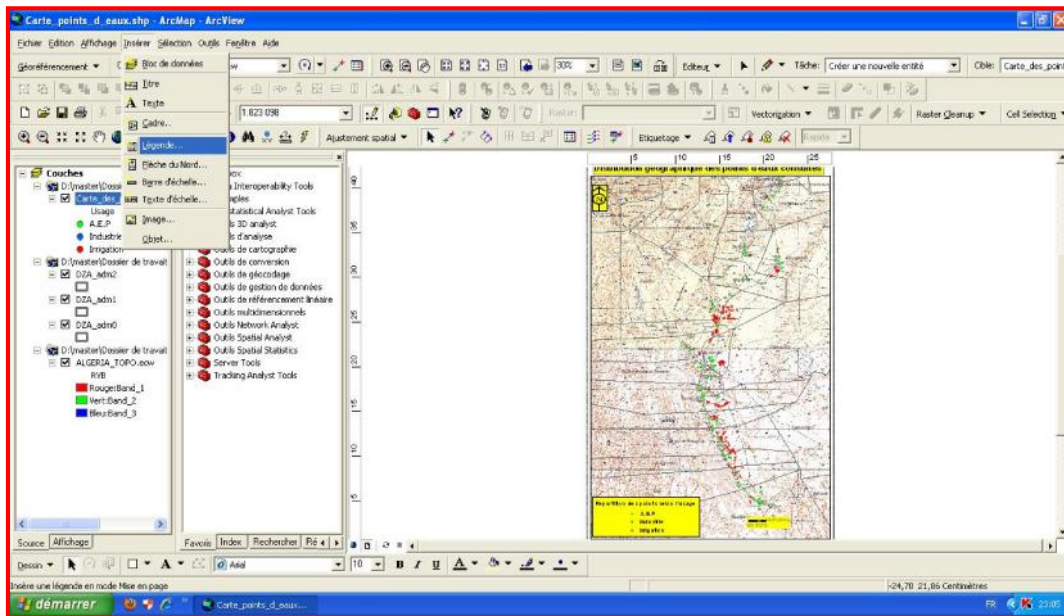


Figure IV.14 : Mise en page d'une carte en ArcGis

**Conclusion**

Le 'SIG' est formé principalement d'un système de gestion de base de données géographiques et d'un outil d'analyse spatial (ArcGis). La représentation des données se fait en mode vectoriel et en mode raster.

Les données géothermiques utilisées dans la base de données regroupant les informations sur la température, la profondeur, caractéristique physico – chimiques les coordonnées géographiques pour la localisation et la géologie et sur les points d'eau et les forages.

Le logiciel utilisé pour afficher les données est ArcGis 9.2. Ce logiciel de SIG permet de combiner différentes couches telle que les cartes (Topo, Géologie, Satellite) et peut réaliser les cartes de température, de profondeur, du résidu sec et la carte piézométrique.

La base de données nous permette d'effectuer les tâches suivantes :

- Afficher les informations de n'importe qu'elles points géothermiques (profondeur, température, RS, caractéristiques physico-chimiques).
- Rappeler la carte sous forme raster (carte topo, carte géologique, carte satellites) et on l'utilise comme support.
- Edition des cartes (température, profondeur, piézométrique, RS et tout paramètre nécessaire à notre travail). Exp. : carte de température des sites géothermiques (zones les plus favorables).

***CHAPITRE V***  
***CARACTERISTIQUES***  
***GEOOTHERMIQUES DU RESERVOIRE***

**V.1 Introduction**

Dans cette partie on s'intéresse essentiellement à l'évaluation du potentiel géothermique du réservoir de la région d'Adrar. La nappe du continental intercalaire est la seule formation dans la région d'Adrar, constitue un vaste réservoir géothermique qui s'étant sur plusieurs milliers de km<sup>2</sup>. Ce réservoir, appelé communément nappe albienne est exploité à travers des forages à plus de 20 m<sup>3</sup>/s. L'eau de cette nappe se trouve à une température moyenne de 29°C

**V.2 Analyse et traitements de données géothermiques**

Cette première phase est la plus importante dans l'élaboration des différentes cartes, elle concerne la collecte et de classement de données géothermiques telle que (Température, Résidu sec, PH, Conductivité, Profondeur et coordonnées géographiques).

**V.2.1 Données géothermiques disponibles pour la région d'Adrar.**

Les données géothermiques pour la région d'Adrar sont des données recueillies au niveau des points d'eau de la nappe du continental intercalaire qui sont exploités par les méthodes de captage traditionnelles (Foggaras, Puits traditionnel) avec un débit de 2 à 35 l/s et des forages avec un débit de 3 à 60 l/s.

Désignation	Forage A.E.P	Forage Irrigation	Forage Industrie	Forage Pétrolier	Forage Minier	Puits traditionnel	Foggara
<b>Totaux</b>	<b>277</b>	<b>539</b>	<b>37</b>	<b>46</b>	<b>21</b>	<b>3355</b>	<b>1400</b>

Tableau V.1: Données géothermiques de la wilaya d'Adrar

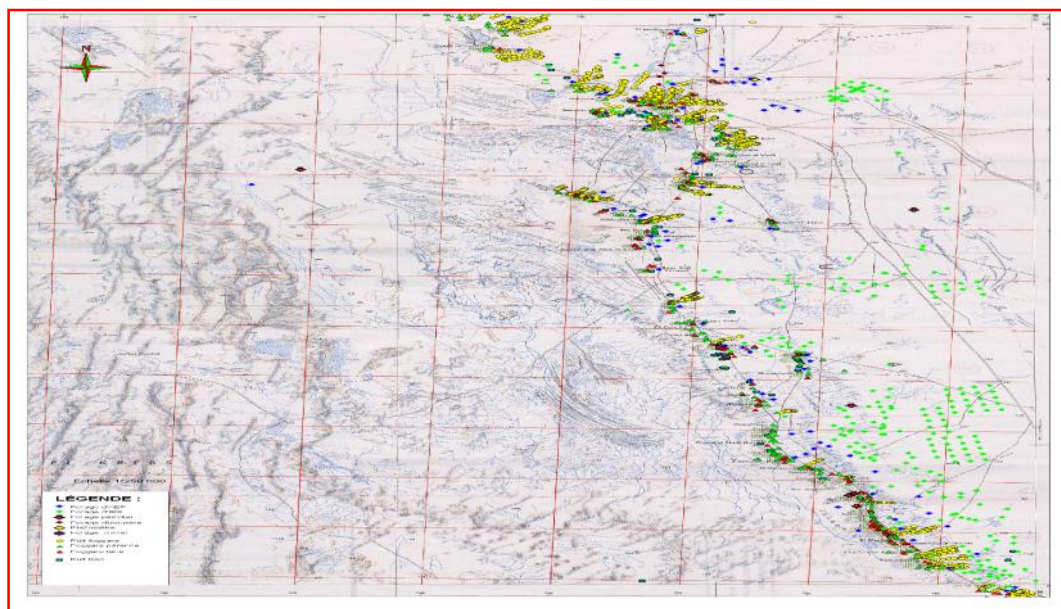


Figure V.1 : Carte des données géothermiques de la wilaya d'Adrar

### V.2.2 Cartographie des points géothermiques d'Adrar

Nous avons procédé à la cartographie des points géothermiques existant dans la région d'étude grâce aux logiciels (ArcGis 9.2) selon le type de carte désirée. La représentation géographique des points d'eaux de la région d'études est montrée dans la figure suivante.

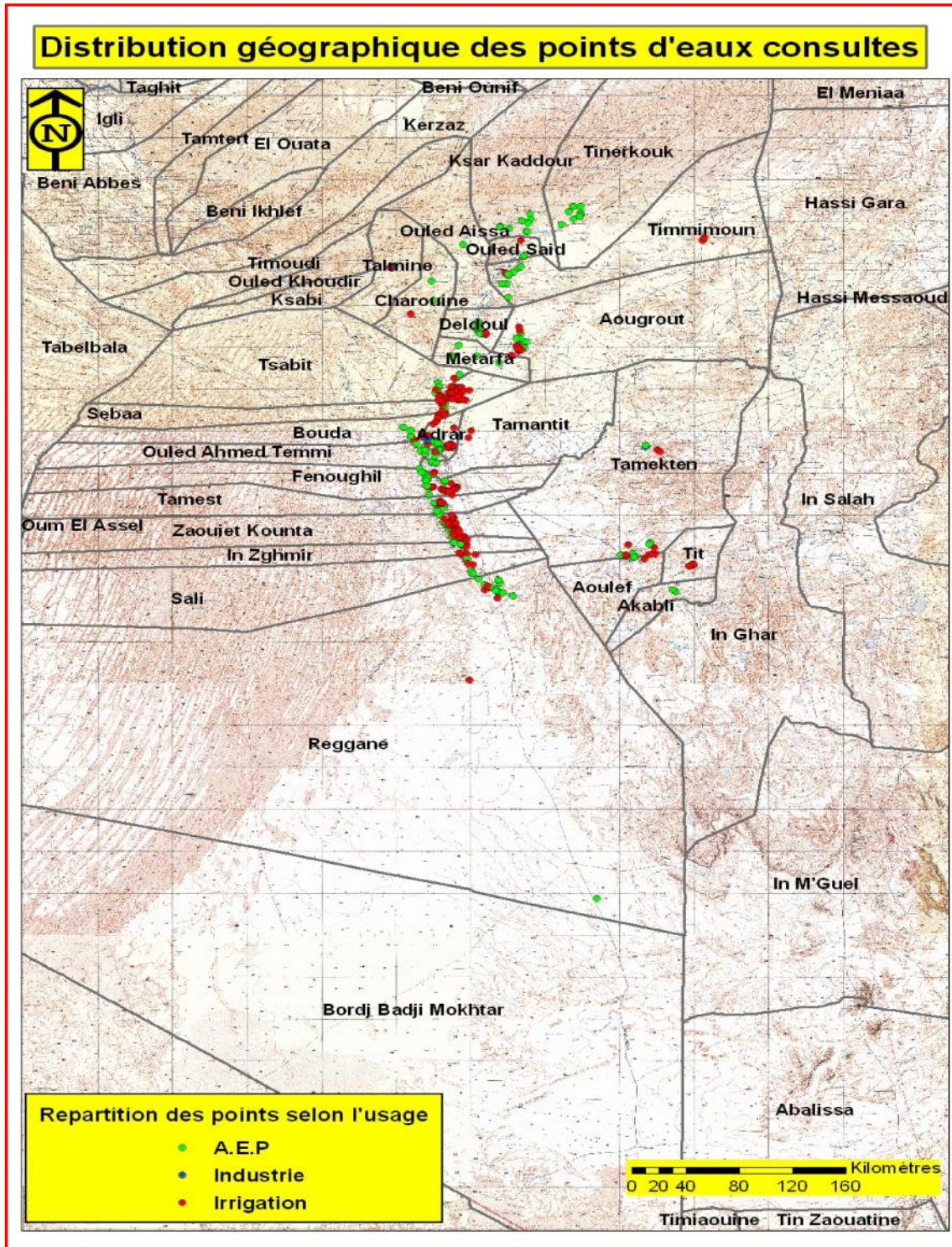


Figure V.2: Distribution géographique des points d'eaux consultés servant comme données géothermiques

### V.2.3 Données géothermiques du réservoir

Toutes les données utilisées sont ceux collectes au niveau des forages hydrauliques de l'ANRH Adrar. La carte de distribution géographique (figure V.2) montre une bonne répartition des points d'eaux à travers tout le territoire de la wilaya.

Le nombre total des forages hydrauliques consultés est de 342, ils ont été réalisés pendant la période allant de 1958 à 2009. Les profondeurs traversées vont de 20 m à 220 m, la profondeur maximale est de 220, atteinte par le forage PK 300 BBM, réalisé en 2009 dans la région de Tanezrouft

ID	Profondeur Total m	Niveau Statique m	PH	Conductivité ms/cm	Température° C
TIT 11	86.5	-4.5	7	1,76	30
M'GUIDEN 01	92	25.66	7,01	1,25	32,5
M'GUIDEN 02	82	24.93	7,03	1,35	32,3
TILILANE I	150	6.93	7,71	2,59	27,1
M'GUIDEN 05	100	28.9	7,02	2,55	31,5
FENOUGHIL CENTRE	0	0	7,31	3,55	28.3
TINERKOUK 01	150	22.04	7,37	1,28	29.5
TAMENTIT I	150	9.72	7,35	2,4	29.8
AOULEF CHORFA	80	18	7,04	2,65	29.4
IN ZEGHMIR 01	166	31.18	7,07	2,1	29
OULED MAHMOUD 01	152	10.89	7,69	1,27	27
AIN BELBEL 01	153	36.5	7,44	0,72	29
TIOURIRINE	150	15.76	7,45	2,37	29.1
SALI 01	150	19.11	7,12	2,99	28.8
TILILANE II	175	8.72	7,05	1,23	28,9
TILILANE III	175	7.8	7,16	1,2	27,2
TSABIT II	150	12.12	7,33	1,6	28.5
TAOURSIT	150	18.85	7,16	4,43	29
TINOURT 1	150	27.94	7,27	2,57	29.1
TITAOUINE CHORFA	175	26.35	7,04	2,35	28.3
OU DGHA 01	150	13.58	6,9	4,34	26.8
KSAR KADOUR	150	6.48	7,21	1,63	29
OUFRAÑE	150	8.6	7,37	1,24	30
TIT 01	198	4.5	6,83	1,87	29.1
DELDOUL II	150	5.63	7,35	1,97	27.7
TIMADANINE 02	150	33	7,04	3,37	28
FENOUGHIL II	132	7.65	6,99	2,31	26.9
GHARMIANOU	140	11.95	7,41	2,52	30
IN ZEGLOUF 01	135	25	7,6	2,65	29.4
TINOULEF	140	35	7,2	3,62	29
TINHENOU	150	19.5	5,56	4,8	26.5
TILLOULINE 03	150	15.7	6,93	4,81	27,2

Tableau V.2 : Données géothermiques des forages consultés (ANRH Adrar)

**V.3 Caractéristiques géométriques du réservoir**

Dans la région d'étude, l'aquifère du continental intercalaire constitue la plus grande réserve d'eau souterraine. Cette nappe représente la source unique dans cette région est contenue dans les horizons sablo gréseux, du Continental intercalaire. Ce dernier est formé par des sédiments post-paléozoïques qui vont du Trias à l'Albien et représenté par une alternance de couches grésos - sableuse et argileuses où les niveaux perméables sont prédominants.

Le substratum de la nappe est constitué de formations argileuses, argilo sableuses ou carbonatées. Au Sud et Sud-Ouest, ce sont en discordance avec les terrains du Paléozoïque (Dévonien).

La couverture de l'aquifère du Continental intercalaire est constituée essentiellement par les formations argileuses avec des évaporites du Cénomaniens et les sables des ergs. A l'Ouest et au Sud, le Continental intercalaire affleure largement dans le Touat, le Gourara et le Tidikelt.

Les caractéristiques hydrodynamiques du réservoir sont bonnes. La porosité moyenne est de 26% et les transmissivités varient de 1 à  $6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , où le rabattement est de quelques mètres à des dizaines de mètres

Dans le Touat et le Tidikelt occidental, la nappe du Continental intercalaire est drainée par des lignes de dépression qui cernent les affleurements du réservoir. L'exutoire naturel de la nappe est les foggaras dont une partie des débits non captés s'évapore au niveau des sebkhas, l'autre partie s'échappe vers le bassin de Taoudeni. [2]

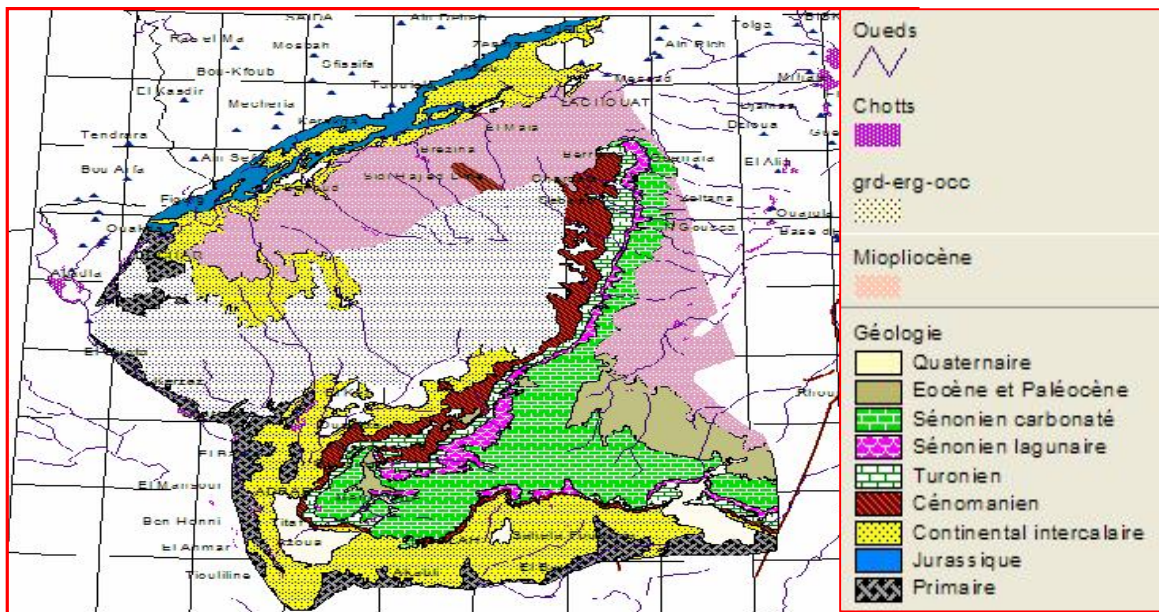


Figure V.3 : Carte des affleurements géologiques du bassin

**V.3.1 Limites géographiques du réservoir**

La wilaya d'Adrar est située dans le bassin sédimentaire du Sahara septentrional, qui s'étend sur une superficie de 600 000 km<sup>2</sup> (Algérie - Tunisie). Il est limité à l'ouest par la vallée de la Saoura, au Sud par les bordures des plateaux du Tihert et Tademaït, à l'Est par la Hamda El Hamra, au Nord-Est par le djebel Dahra et le golfe de Gabes, au Nord par l'Atlas saharien. Il forme deux grandes cuvettes topographiques dont les altitudes décroissent du Nord (700m) à 40m (Sud) dans la cuvette orientale. On distingue aussi deux bassins



hydrogéologiques : A l'Ouest, le bassin de Timimoun ou bassin occidental, d'une superficie de 280 000 km<sup>2</sup>, recouvert par les sables du Grand Erg occidental, à l'Est le bassin de la Mya ou bassin oriental, d'une superficie de 500 000 km<sup>2</sup> recouvert de sable du grands Erg oriental.

Les deux bassins hydrogéologiques sont séparés suivant l'axe Ghardaïa-In Salah par la dorsale sub-méridienne du M'zab, ligne de partage des eaux, confirmée par les études isotopiques. [2]

**V.3.2 Estimation du réservoir**

Les études hydrogéologiques montrent que le Sahara renferme d'énormes réserves d'eaux souterraines. Dans une approximation grossière, adoptant le chiffre de 600 m pour l'épaisseur moyenne du CI, dont la moitié, environ, constituée par des grès de porosité 25%, le bassin considéré ayant 600 000 km<sup>2</sup> (en Algérie et en Tunisie essentiellement), la réserve aquifère du CI a été estimée à 50000 ×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> par CORNET (1961 et 1964). Pour ce même bassin, l'étude UNESCO (1972) évalue approximativement le volume d'eau moyen de l'ensemble des aquifères du CI et du CT à 60000 ×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>. Sans détail précis sur la méthode de calcul, fait état de 40000 ×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> de réserves aquifères du CI. [17]

**V.3.3 Epaisseurs du réservoir**

La carte des épaisseurs du CI résulte de la soustraction des cotes du mur à celles du toit du CI. Celle-ci montre des épaisseurs variables. Sur la limite Nord-Ouest du bassin, nous pouvons noter des variations brutales d'épaisseurs dues à la flexure sudatlasique [17]

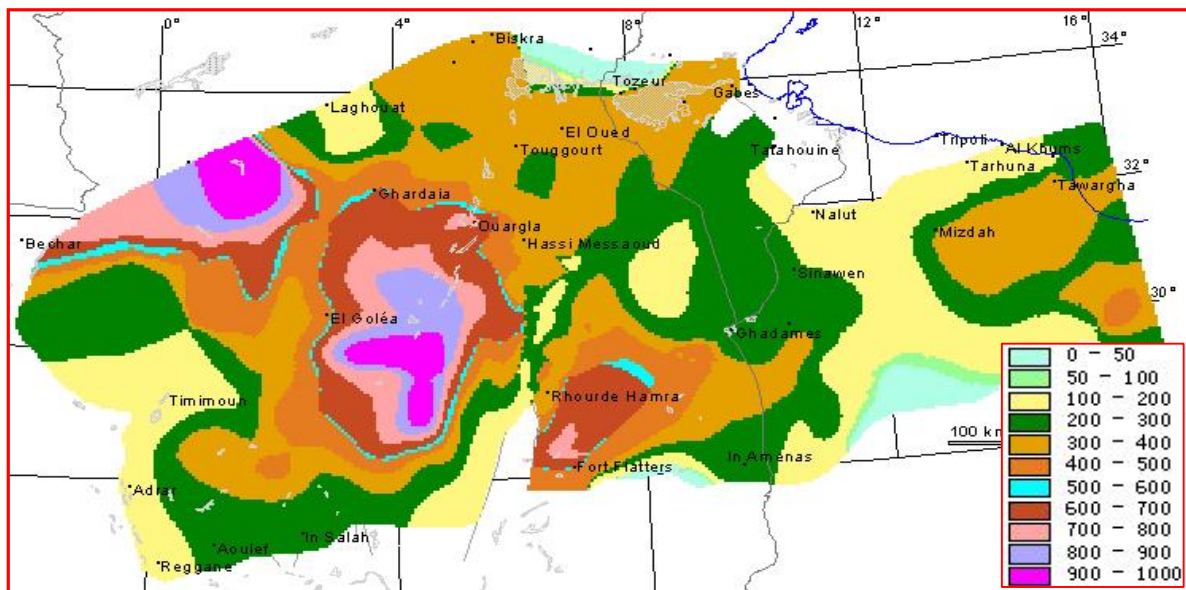


Figure V.4 : Carte des épaisseurs du CI [17]

**V.3.4 Profondeur du réservoir dans la région d'Adrar**

L'analyse de près de 342 forages hydrauliques a permis de dresser une carte de la profondeur du réservoir de la zone d'étude. Ces profondeurs sont par rapport au niveau de la mer.

A partir de cette carte il apparait que la nappe est libre dans tout la zone d'étude, on peut constater que la profondeur maximale atteinte est de l'ordre de 220 m. la partie centrale de la zone est caractérisée par des profondeurs varie entre 100 et 150 m donc c'est la partie intéressante du point de vue géothermique puisque elle est assez profonde pour procurer la chaleur aux eaux.

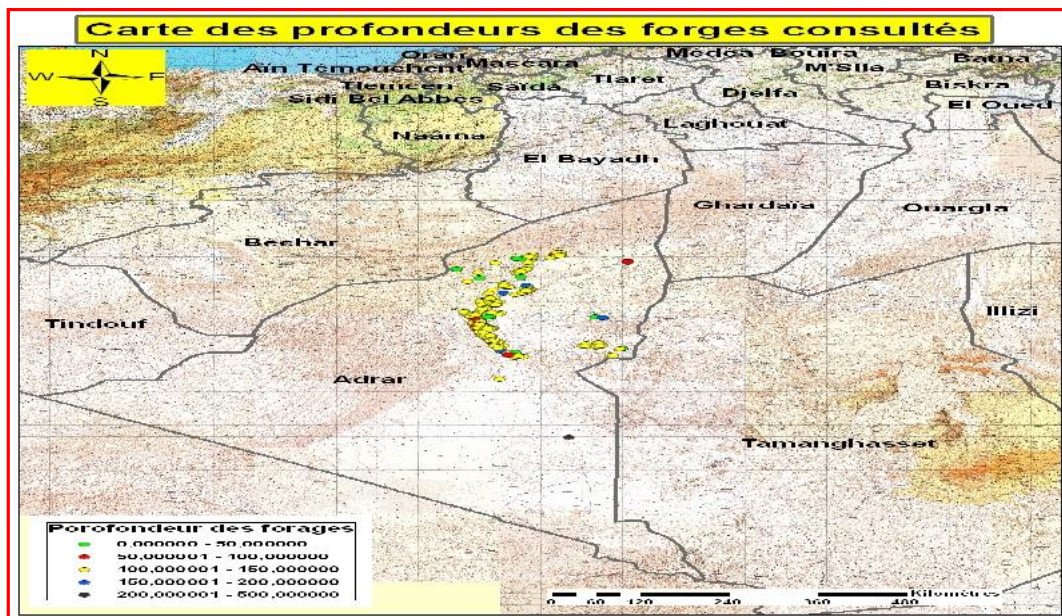


Figure V.5 : Carte des profondeurs des forages consultés

### V.3.5 Niveau piézométrique de la nappe

La carte piézométrique de la nappe CI montre que dans la région d'Adrar le niveau piézométrique est faible et varie entre 350 m et 225 m et montre aussi le sens d'écoulement est NS et EW vers les affleurements de la nappe.

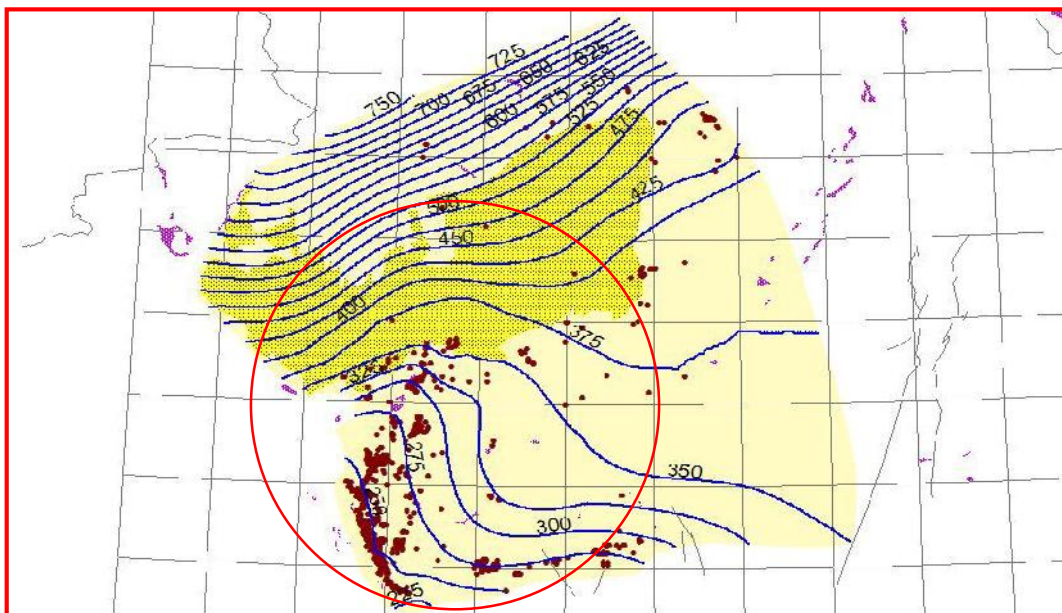
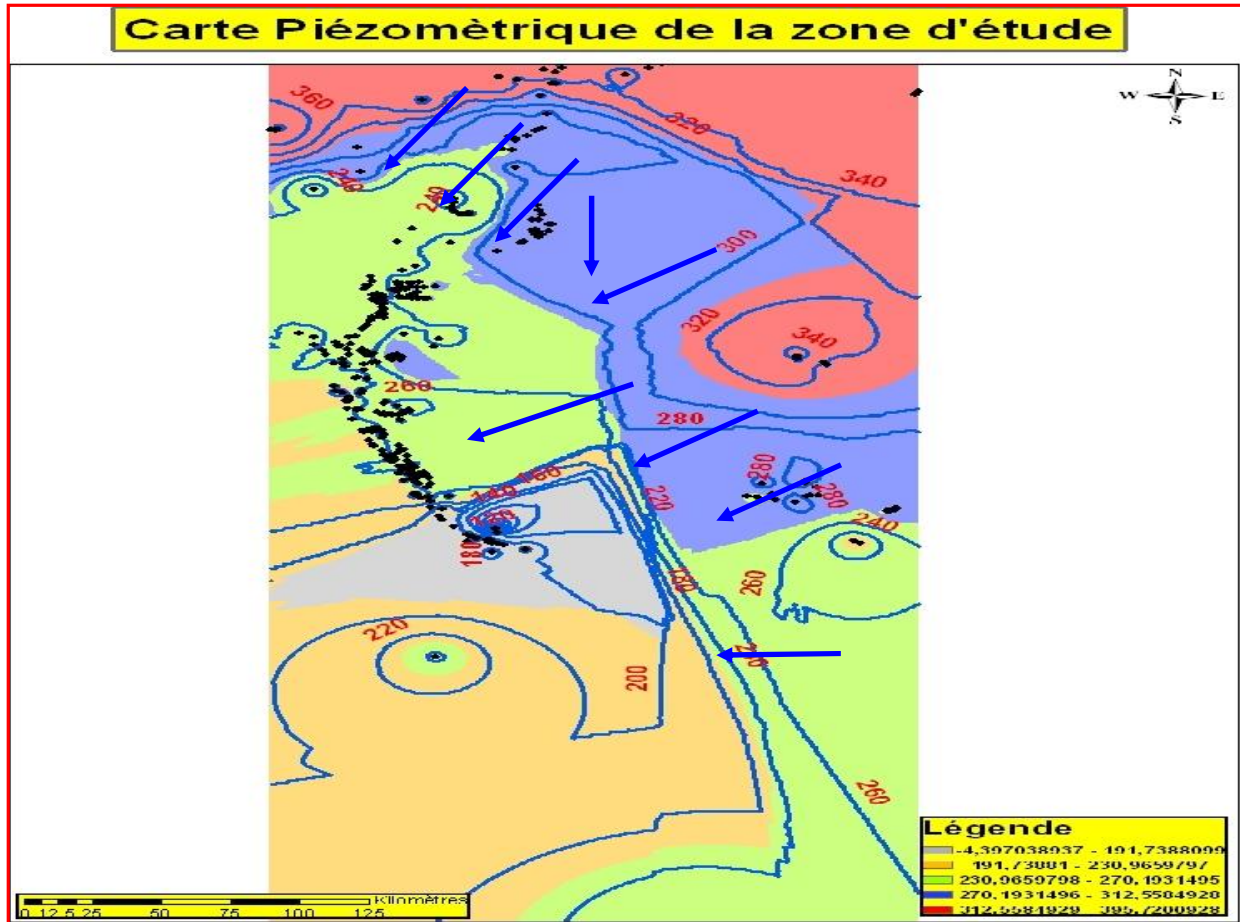


Figure V.6 : Carte piézométrique du CI dans le Bassin occidental [3]



**Figure V.7 : carte piézométrique de région d'étude**

A partir de cette carte, nous remarquons qu'il existe Trois sens d'écoulement dans la région d'étude :

Le premier c'écoule dans le sens NE-SE a partir de plateau de Tademaït vert la le centre de la zone d'étude du niveau piézométrique 340 à 240 m

La deuxième c'écoule dans la sens NE-SO a partir de plateau de Tademaït vert la dépression de Touat et erg Chech du niveau piézométrique 340 à 220 m

Le troisième c'écoule dans le sens NE-NO à partir de plateau de Tademaït vert la région de ville d'Adrar du niveau piézométrique 280 à 160 m.

#### **V.4 Caractéristiques physico-chimiques du fluide géothermique**

La connaissance des caractéristiques physico-chimiques du fluide géothermique est une mesure préventive essentielle pour la connaissance du potentiel géothermique dans une région et les types des applications géothermiques possibles dans ces lieux. En effet, à titre d'exemple ; des salinités trop élevées sont à l'origine de la corrosion du tubage.

##### **V.4.1 Résidus secs du fluide géothermique**

Il représente la totalité des sels dissous contenue dans l'eau après évaporation à 110°C, il renseigne sur la minéralisation globale de l'eau.

##### **Classification des eaux souterraines suivant**

##### **Les concentrations en résidus secs :**

- Eau très peu minéralisée (résidus secs inférieur à 250mg/l) : utile pour la fabrication de la vapeur, mais ne pouvant convenir à la distribution public sans un apport de sels dissous.

- Eau peu minéralisée (résidus secs entre 250-500mg/l) : utilisable pour l'industrie et pouvant servir à la distribution public d'eau potable.
- Eau normalement minéralisé (résidus secs entre 500– 1000mg/l) : correspond aux normes d'eau potables.
- Eau non conforme aux normes de potabilité (résidus secs entre 1000-1500mg/l) : mais pouvant être utilisée pour l'irrigation et abreuver les animaux.
- Eau très salée (résidus secs supérieur 1500 mg/l) : impropre en dehors d'un usage balnéaire.

● **Echantillonnage et analyse**

La prise des échantillons a été faite directement sur des points en activité.

Après la mesure de piézométrie, conductivité, la température, PH, et conductivité sur site les échantillons sont placés dans des flacons de 150 ml en polyéthylène

Les analyses chimiques des éléments majeurs (Na+, Ca++, Mg++, K+, Cl-, SO4=, HCO3-, NO3-) ont été effectuées au Laboratoire de l'ANRH DRSO Adrar

● **Résultats et discussion :**

Les résultats obtenus montrent que la salinité des eaux de la région d'Adrar varie entre 400 et 5200 mg/l.

- 44% des eaux sont faiblement minéralisées.
- 41% des eaux sont minéralisées.
- 15% des eaux sont fortement minéralisées.

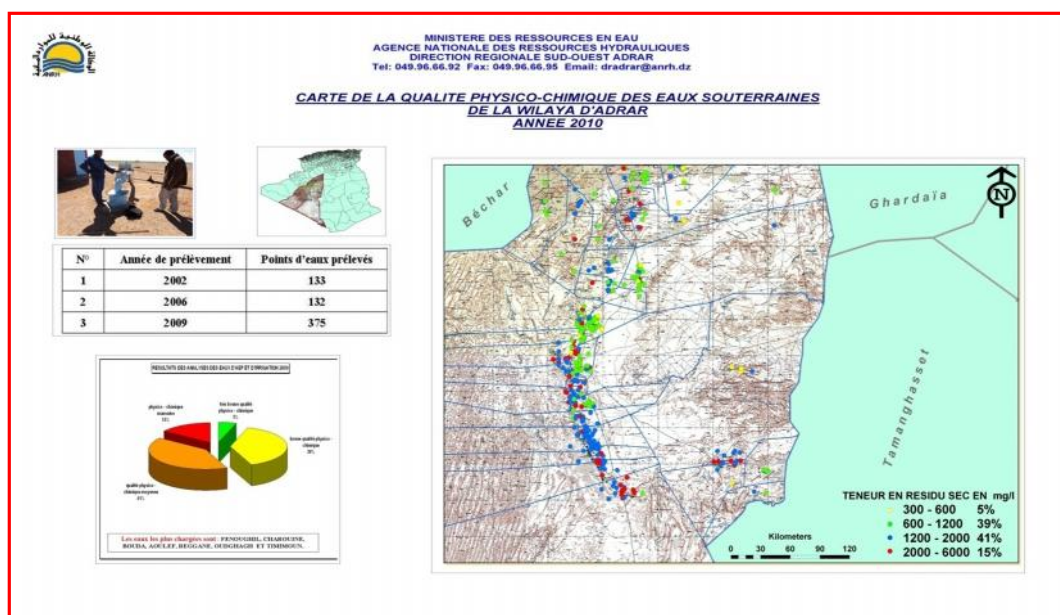


Figure V.8 : Carte de la qualité physico-chimique des eaux de la wilaya d'Adrar

**V.4.1.1 Evolution du résidu Sec du fluide géothermique de la wilaya d'Adrar**

Pour étudier l'évolution du RS du fluide géothermique dans la région d'Adrar Trois campagnes d'échantillonnage ont été réalisées:

- 133 échantillons en 2003
- 132 échantillons en 2006
- 375 échantillons en 2009/2010

Les deux premiers ont été réalisés sur les forages d'AEP et la treizième sur les eaux d'AEP et d'irrigation.

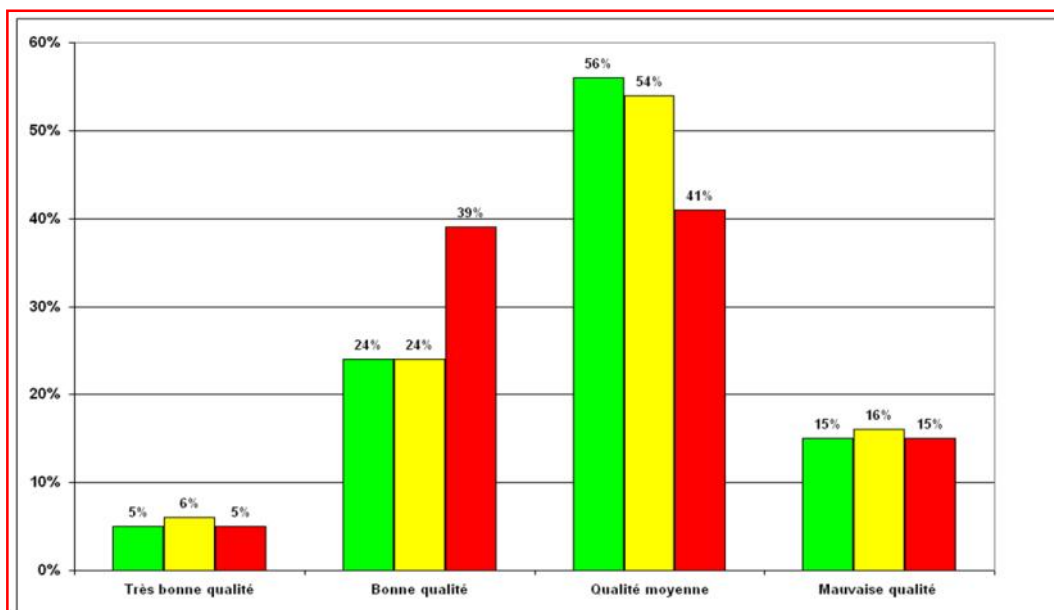


Figure V.9 : Représentation graphique de l'évolution du Résidu sec des eaux

Eau de 374 échantillons	Normes algériennes VG	Normes algériennes CMA
Minéralisation des eaux	66% > 1g	15% > 2g
Dureté totale TH	83% > 15°F	48% > 50°F
Teneur en fluorures	88% > 0,5 mg /l	12% > 2 mg/l

Tableau V.3 : Caractéristiques chimiques du fluide géothermique de la wilaya d'Adrar :

- On peut conclure de ces résultats que la minéralisation des eaux de cette région est relativement élevée et peut atteindre 5.2 g/l.
- Les eaux de cette région sont caractérisées par une dureté totale élevée qui dépasse parfois 50 °F.

Les eaux de cette région présentent un léger dépassement en ion fluor qui peut atteindre une teneur de 2.12 mg/l.

#### V.4.2 Température du fluide géothermique de la région d'Adrar

La température d'une eau souterraine est celle du lieu où elle s'est infiltrée elle augmente de 1° C par 30 mètres lorsque le gradient géothermique est normal. [18]

Les températures utilisées pour l'établissement de la carte des températures sont celles mesurées au niveau des points d'eau dans la région d'étude. Pour mesurer la température du fluide géothermique nous avons utilisé une sonde qui donne la profondeur et la température en même temps, d'autres points en été mesurés par un conductimètre.

### V.4.2.1 Carte des Températures du fluide géothermique de la région d'Adrar

Les données collectées des forages sont représentées sur la carte (Figure V.10). On remarque à travers la carte des températures que la température varie avec la profondeur, les eaux les plus profondes qui sont influencées par le gradient géothermique sont les plus chaudes. Les températures sont croissantes de l'Ouest vers l'Est de la nappe

Le minimum de la température se trouve à la périphérie Ouest qui correspond aux régions d'affleurements de la nappe, ou la température est en dessous de 28°C.

Le nombre de forages appartenant à la région d'étude et présentant des mesures de températures est de 145 forages. La valeur maximale atteinte est de 32,5°C dans la région de Meguiden, La valeur minimale mesurée est de 24.5°C dans la région de Charouine.

Les températures mesurées sont classés comme suit :

- 115 forages dont les eaux sont mésothermales  $24^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$ .
- 30 forages dont les eaux sont orthothermales  $30^{\circ}\text{C} < T < 40^{\circ}\text{C}$ .

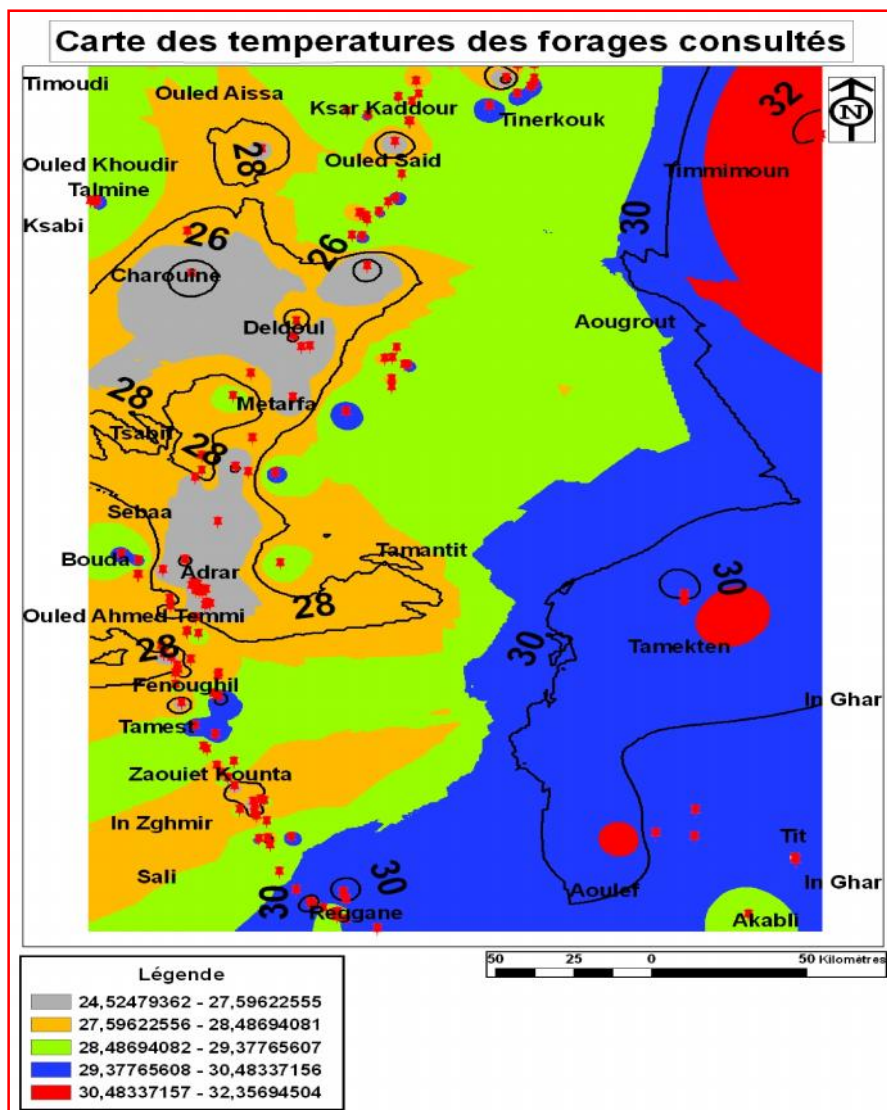


Figure V.10 : Carte des températures des points géothermiques

### V.4.2.2 Variation de la Température du fluide géothermique avec la profondeur

Le graphe ci-dessous représente la variation de la température avec la profondeur. A travers ce graphe il apparaît bien que la loi de variation de la température des eaux de la région d'Adrar par rapport à la profondeur est une loi linéaire de la forme :

$$T = 0,034 p + 26,4$$

- 26.4 désigne la température moyenne de l'eau
- 0.034 désigne le gradient de température des eaux de la nappe qui est presque constant à travers toute la profondeur pour chaque mètre.

Cette loi nous permettra de réaliser une interpolation à travers tout le territoire de la nappe et ainsi retrouver la valeur de la température de la nappe dans des points où il n'y a pas de mesures de température.

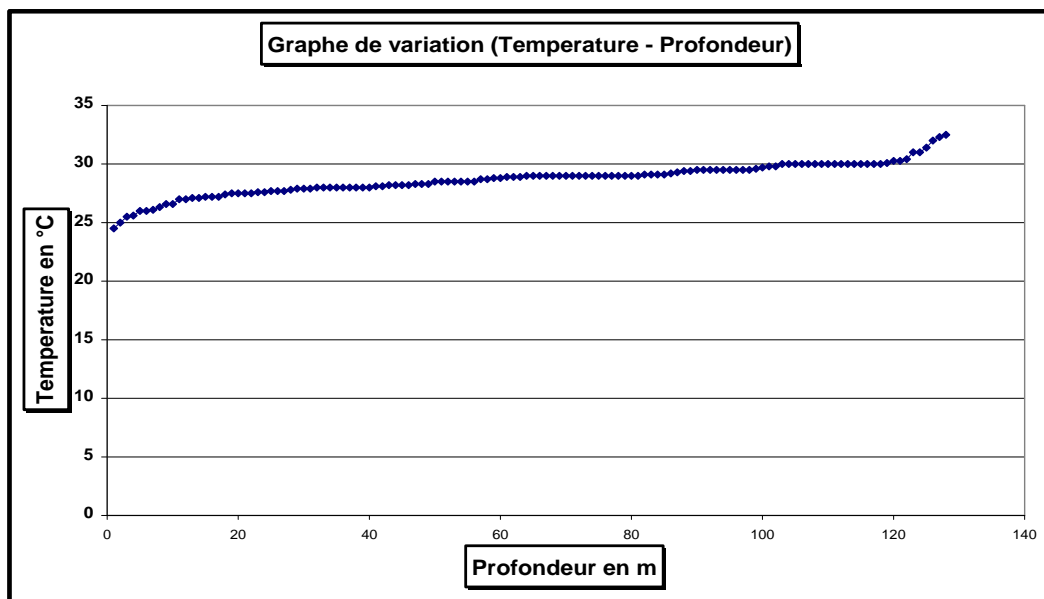


Figure V.11 : Variation de la température avec la profondeur

### V.5 Faciès chimique du fluide géothermique

Représente les minéraux (Anions et Cations) les plus abondants dans l'eau. Donc il renseigne sur la tendance minéralogique.

Le faciès chimique des eaux de la région d'étude est chlorure sodique à sulfaté sodique sur presque l'ensemble de la nappe. [2]

### V.6 PH du fluide géothermique

C'est le cologarithme de la concentration en hydrogène c a d le pH d'une solution, il varie en fonction de la concentration en H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>.

Les mesures de pH obtenues sur le terrain du fluide géothermique présente une variation de 7 à 9. Le PH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. Il intervient dans ces phénomènes complexes avec d'autres paramètres comme la dureté, l'anhydride carbonique, l'alcalinité et la température. Un PH inférieure à 7 peut conduire à l'agressivité des équipements et un PH supérieure à 9 peut donner à l'eau un caractère incrustant.

**Conclusion :**

Dans la région d'étude, l'aquifère du continental intercalaire constitue la plus grande réserve d'eau souterraine. Cette nappe constitue la source unique dans cette région est contenue dans les horizons sablo gréseux.

Les caractéristiques hydrodynamiques du réservoir sont bonnes. La porosité moyenne est de 26% et les transmissivités varient de 1 à  $6 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s, où le rabattement est de quelques mètres à des dizaines de mètres.

La carte des profondeurs montre que la nappe est libre dans toute la zone d'étude, on peut constater que la profondeur maximale atteinte est de l'ordre de 220 m. La partie centrale de la zone est caractérisée par des profondeurs qui varient entre 100 et 150 m donc c'est la partie intéressante du point de vue géothermique puisque elle est assez profonde pour procurer la chaleur aux eaux.

La carte piézométrique montre qu'il existe trois sens d'écoulement dans la région d'étude :

Le premier s'écoule dans le sens NE-SE à partir du plateau de Tademaït vers le centre de la zone d'étude. .

La deuxième s'écoule dans le sens NE-SO à partir du plateau de Tademaït vers la dépression de Touat et erg Chèche.

La troisième s'écoule dans le sens NE-NO à partir du plateau de Tademaït vers la région de ville d'Adrar.

Les résultats des analyses du Résidu sec montrent que la salinité du fluide géothermique dans la région d'Adrar varie entre 400 et 5200 mg/l. et que 15% des eaux sont fortement minéralisées.

La carte de température montre que la température du fluide géothermique varie avec la profondeur, les eaux les plus profondes sont les plus chaudes.

On constate aussi que les températures sont croissantes de l'Ouest vers l'Est de la nappe.

Le minimum de la température se trouve à la périphérie Ouest qui correspond aux régions d'affleurements de la nappe, où la température est en dessous de 28°C.

La valeur maximale atteinte est de 32,5°C dans la région de Meguiden, La valeur minimale mesurée est de 24,5°C dans la région de Charouine.

Les températures mesurées sont classées comme suit :

- 115 forages dont les eaux sont mésothermales  $24^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$ .

- 30 forages dont les eaux sont orthothermales  $30^{\circ}\text{C} < T < 40^{\circ}\text{C}$ .

Le fluide géothermique dans la région d'Adrar a un caractère neutre avec un PH qui varie entre 7 à 9 et un faciès géochimique chlorure sodique à sulfaté sodique



***CHAPITRE VI***  
***GRADIENT GEOTHERMIQUE ET FLUX***  
***DE CHALEUR***

## VI.1 Introduction

Une ressource géothermale étant destinée à être utilisée comme source d'énergie pour produire de la chaleur ou de l'électricité, cette dernière partie se focalise sur la chaleur du sous-sol continental.

Dans ce chapitre de notre étude on s'intéresse à la détermination du gradient géothermique et du flux de chaleur des sources géothermales dans la région d'Adrar.

La température des roches augmente avec la profondeur, c'est ce qu'on appelle le gradient géothermique. Il varie selon les couches traversées.

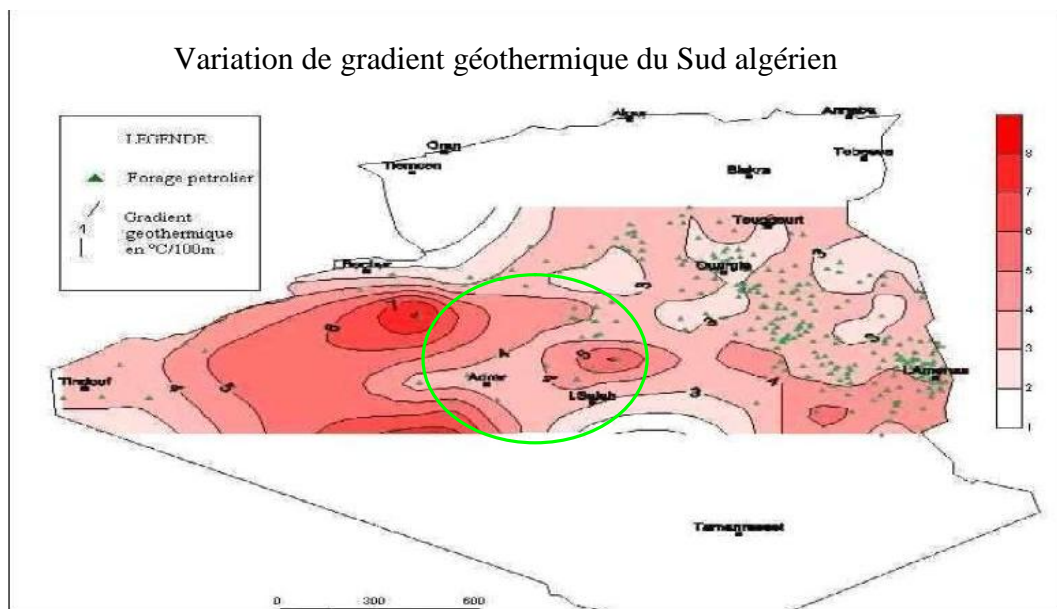
Les valeurs moyennes sont respectivement pour la croûte continentale de 3°C/100 m et pour le manteau de 1°C/100 m

Le gradient géothermique observé dans la croûte continentale varie largement d'un endroit à un autre, bien que la valeur normale soit de l'ordre de 3°C/100 m, néanmoins certaines régions enregistrent plus de 100°C/100m comme à Larderello en Italie ; alors que d'autres ne dépassent pas 1°C/100 m comme à Padoue en Italie. [18]

## VI.2 Carte de gradient géothermique

Le gradient géothermique se mesure le plus souvent dans les forages pétroliers ou miniers à l'aide d'une sonde thermique et qui donne en même temps la profondeur du forage, dont la précision est meilleure, mais dans notre cas on ne dispose pas des données pour les forages pétroliers pour Adrar.

L'étude menée par S. OUALI et ALL. (2006), pour l'évaluation du potentiel géothermique dans le Sud de l'Algérie et sur la nappe du continentale intercalaire illustre bien le gradient géothermique et le flux de chaleur dans cette région. Les forages pétroliers étant les plus profonds, ils rendent le mieux compte du gradient géothermique. De nombreux forages pétroliers couvrent le Sahara algérien d'Est en Ouest, comme le montre la carte de gradient (Fig.VI.1). La majorité de ces forages sont localisés principalement dans la partie septentrionale du Sahara algérien, car cette région saharienne est par contre l'une des plus intéressantes du point de vue ressources fossiles (pétrole, gaz). [19]



**Figure VI.1: Carte de gradient géothermique**

Le gradient géothermique est estimé pour chaque forage pétrolier en utilisant la formule suivante.

$$G = DT/DZ \text{ (}^\circ\text{C/100m)}. \dots \text{ (VI.1)}$$

T : Température (°C)

Z : Profondeur (m)

Cette carte illustre bien la variation du gradient géothermique dans le Sud Algérien, ou on remarque que le gradient géothermique dans la zone à étudier varie entre 5 et 4 °C/100m

### VI.2.2 Carte de gradient géothermique d'Adrar

La carte de gradient géothermique est une étape importante en géothermie. Elle montre la variation de la température en fonction de la profondeur des différents points d'eaux.

Pour tracer la carte d'isocourbes du gradient géothermique pour Adrar, nous avons utilisées seulement les données des forages d'eaux de cette région, la formule (VI.1) est utilisée pour estimer le géotherme dans la région d'Adrar.

Les données utilisées pour l'établissement de la carte de gradient et du flux de chaleur sont les données de forages d'eaux collectés de l'ANRH Adrar. On a réalisé cette carte à l'aide du logiciel ArcGIS 9.2 dans la quelle on' a tracer les isolignes du gradient géothermiques avec des couleurs différents suivant DT du Nord au Sud et de Est au West, avec tous les points d'eau disponible pour la wilaya d'Adrar.

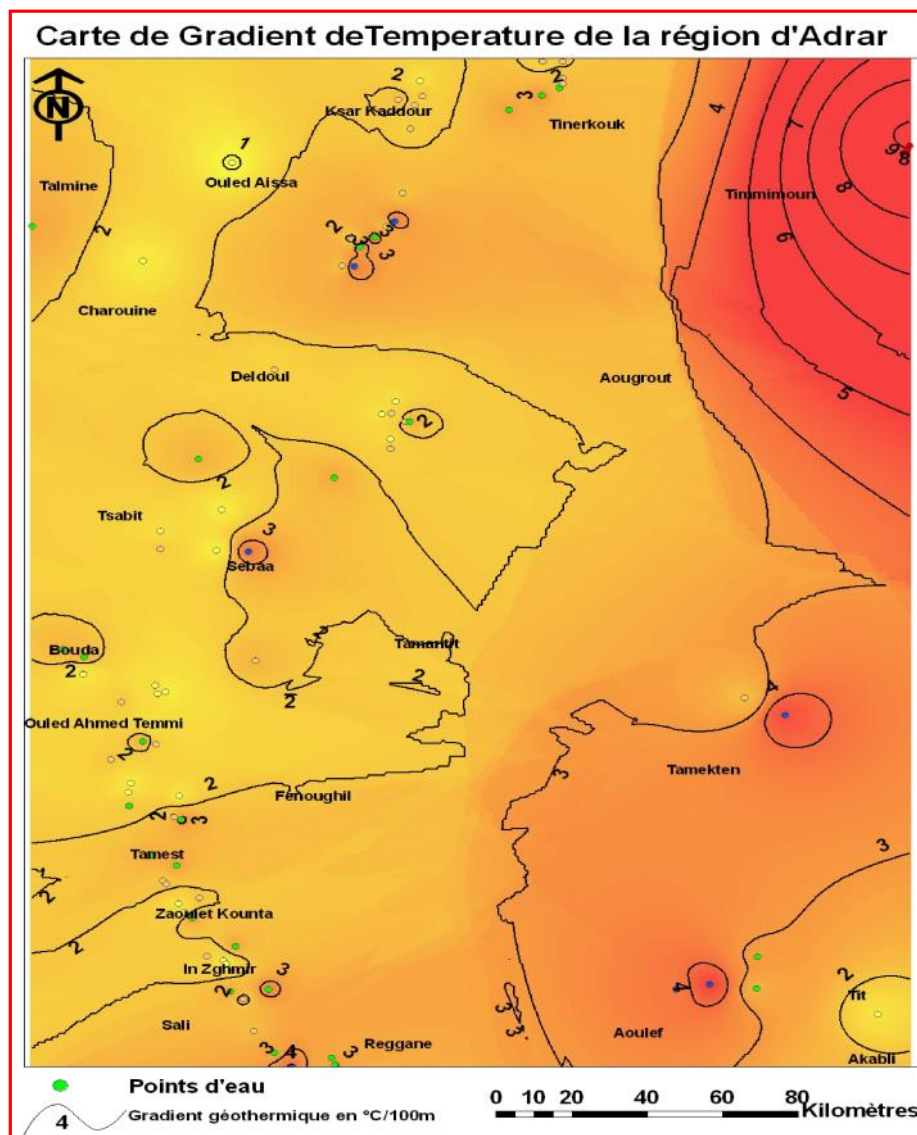


Figure VI.2: Carte de gradient géothermique d'Adrar

### VI.2.3 Résultats et interprétation de la carte de gradient géothermique

La région d'Adrar présente dans son ensemble un gradient géothermique moyenne de l'ordre de 3°C/100 m.

Dans la partie centrale de la région, le gradient géothermique moyenne est de 2°C/100 m. Ce dernier semble être du à l'effet de la profondeur.

Une forte anomalie géothermique est bien mise en évidence dans la partie Nord – Est des régions de Timimoun et Meguiden. Le gradient qui y est de 8°C/100m à 9°C/100m, il est probablement due à la tectonique intense qu'a connu cette partie de plate forme saharienne, ou à la profondeur important da la nappe, car la profondeur de la nappe commence à devenir plus important.

Du point de vue pétrolier, la prospection pétrolière révèle que la région d'Adrar est pauvre en hydrocarbures liquide et ce, malgré que la condition majeure de leurs l'existence soit réunie en profondeur.

Le gradient géothermique élevé dans la région d'étude pourrait être l'un des facteurs responsables de cette pauvreté en hydrocarbures liquide dans cette région.

En effet le pétrole atteint le degré de maturité dans des conditions de température et de pression bien défini. Au delà il perd sa maturité, soit il passe à la phase gazeuse, ou bien, dans des conditions extrêmes, il brûle carrément, on parle alors de « pétrole cramé ».

Les résultats obtenus à partir de la carte géothermique seraient donc en concordance avec les résultats de la prospection pétrolière. [18]

Le plus faible gradient 1°C/100m a été enregistré dans les zones de Charouine jusqu'au Sali, dans la partie Ouest de la nappe, ce qui est clairement marqué par les affleurements de la nappe (faible profondeur).

Les résultats obtenus à partir de la carte géothermique (fig VI.2) seraient donc aussi en concordance avec les résultats de la carte du gradient géothermique du Sud (fig.VI.1).

### VI.3 Flux de chaleur géothermique

La terre est chaude, la chaleur terrestre qui se propage à travers la croûte continentale (appelé flux de chaleur) n'est pas homogène. Le flux de chaleur varie donc d'un endroit à un autre.

En présence d'un flux de chaleur élevé, les eaux souterraines se réchauffent et se transforment en eau thermale. Le flux de chaleur est défini comme étant la quantité de chaleur qui s'écoule par unité de temps, et il traduit la vitesse avec laquelle la terre perd sa chaleur.

La densité de flux est le flux de chaleur par unité de surface ( $Wm^{-2}$ ). En général, le flux de chaleur est assimilé à la densité de flux. L'unité de mesure du flux de chaleur est le watt (W).

Le flux moyen mondial est de 60 mW/m<sup>2</sup>. Il varie avec:

- l'épaisseur de la plaque : quand la plaque est mince le flux augmente.
- l'âge de la lithosphère: plus la lithosphère est jeune, plus le flux sera élevé.
- la production de chaleur dans la croûte: le flux augmente avec la concentration en radioéléments. [18]

#### VI.3.1 Carte de flux de chaleur géothermique

Lorsqu'il y a un gradient de température, le flux de chaleur se propage par conduction. C'est le produit du gradient géothermique et de la conductivité thermique selon la loi de Fourier

$$Q = -\lambda \text{ grad } T \dots \dots \text{ (VI.2)}$$

Q : Flux de chaleur exprimé en (M W/ m<sup>2</sup>)

$\lambda$  : Conductivité thermique du milieu, l'unité est  $W m^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$ .

grad T : Gradient de température ( $^{\circ}\text{C m}^{-1}$ )

Pour connaître le flux de chaleur qui s'évacue à la surface de la terre, il faut mesurer la variation de la température en fonction de la profondeur, c'est-à-dire le gradient géothermique, exprimé en  $^{\circ}\text{C/m}$ , et la conductivité thermique, exprimé en  $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ . Le produit de deux valeurs donne le flux d'énergie par unité de surface en  $\text{mW/m}^2$ .

### VI.3.2 Détermination de la conductivité thermique

La conductivité thermique est l'un des paramètres le plus important à définir pour le calcul du flux de chaleur. Il caractérise l'aptitude d'une roche à conduire de la chaleur. La conductivité thermique d'une roche est variable de 1 à 10  $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ , et elle est de 100 à 1000 parfois plus faible que celle des métaux.

D'après les études expérimentales, il apparaît que la conductivité thermique d'une roche dépend essentiellement de la composition minéralogique du fluide constituant la roche, de la porosité de cette dernière et enfin de la température. [18]

Constituants	Conductivité $\text{Wm}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
Quartz	7.7 +-1.2
Calcite	3.4+-0.3
Argile	2.7+-0.7
Dolomie	5.5+-0.5
Anhydrite	6.0+-0.4
Sel (halite)	6.6+-0.6
Gypse	3.0+-0.1
Eau	0.6
Air	0.03

**Tableau VI.1 : Conductivités thermiques des principaux constituants [ $\text{Wm}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ]**

La conductivité thermique des roches dans les forages d'eaux dépend de la lithologie et la minéralogie des roches constituant les formations, et en absence des données géologiques de chaque forage d'eaux ; ainsi que la proportion volumique des constituants de la roche. On a assimilé le flux d'énergie au flux d'énergie du fluide géothermique en utilisant seulement la conductivité thermique de l'eau.

Pour l'établissement de la carte du flux de chaleur dans la région d'Adrar, nous procédés au calcul à l'aide de la formule (VI.2).

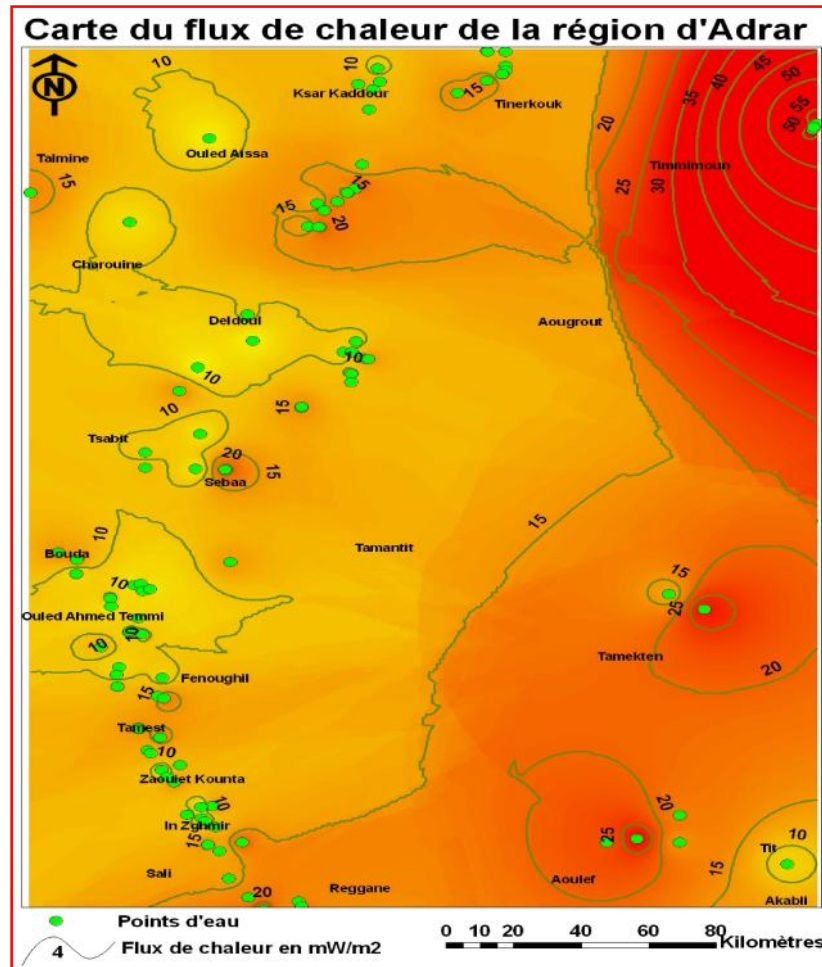


Figure VI.3: Carte du flux de chaleur géothermique d'Adrar

### VI.3.3 Résultats et Interprétation de la carte de flux de chaleur

Il découle de cette carte que les valeurs de flux de chaleur varient entre (10 mW/m<sup>2</sup> et 55 mW/m<sup>2</sup>). Donc le flux de chaleur enregistré dans la région d'Adrar est très proche à la moyenne mondiale qui est de 60 mW/m<sup>2</sup>.

Le flux de chaleur moyen est de 25 mW/m<sup>2</sup>. L'axe de Timimoun – Meguiden est caractérisé par un flux de chaleur élevé de 55 à 25 mW/m<sup>2</sup>. D'une part et d'autre part de cet axe, les valeurs décroissent graduellement de l'Est à l'Ouest.

La carte de flux de chaleur met en évidence deux zones d'anomalies distinctes:

- la zone Est qui présente un flux légèrement élevé de 55 mW/m<sup>2</sup> à 25 mW/m<sup>2</sup>.
- la zone Ouest qui présente un flux moyen de 10 mW/m<sup>2</sup> à 15 mW/m<sup>2</sup>.

Les valeurs les plus faibles ont été enregistrées dans la partie Ouest de la région est de 10 mW/m<sup>2</sup>. Ce la correspond aux zones de faible gradient géothermique dans les zones d'affleurement.

Il est constaté:

Une concordance entre la carte de flux et la topographie de la région. En effet, on retrouve les dépressions Ouest bien définies à travers les zones d'anomalies faibles. Les

La partie Est est un bassin crétacé récent qui est doté d'aquifères en profondeur, et la structure de l'aquifère est en concordance avec l'anomalie forte mise en évidence dans cette région.

**Conclusion :**

La région d'Adrar présente un gradient géothermique moyenne de 3°C/100m. Deux parties distinctes sont bien mises en évidence à travers la carte de gradient géothermique. L'une dans la partie Ouest de la région, dont le gradient géothermique est de l'ordre de 2 à 1 °C/100m. L'autre dans la partie Est, qui présente un fort gradient géothermique qui atteint parfois 9 °C/100 m, plus particulièrement dans les régions de Timimoun et Meguiden.

Quand au flux de chaleur la carte de flux de chaleur nous a permis d'estimer de la chaleur en place dans chaque point du territoire de la région. La région d'Adrar présente un flux moyen, compris entre 25 à 20 mW/m<sup>2</sup>, on remarque sur la carte quelques anomalies. La partie Est présente un flux élevé varie entre 55 et 25 mW/m<sup>2</sup>. La région d'Adrar renferme les deux conditions majeures pour l'existence d'un réservoir géothermique, un gradient géothermique et une nappe aquifère en profondeur.

Sur la base des résultats précédents et afin d'assurer une meilleure exploitation possible des ressources géothermiques dans la région d'Adrar, il est suggéré l'utilisation de la géothermie basse énergie. Le domaine du chauffage des serres serait très recommandé dans

## ***CONCLUSION GENERALE***



### CONCLUSION GENERALE

La région d'Adrar d'une altitude proche de 222 m, fait partie du Bas Sahara recouvert au nord par le grand erg occidental, et au Sud par le plateau du Tanezrouft, A l'Est par le plateau du Tademaït, Administrativement, Elle couvre une superficie de 443782 km<sup>2</sup> occupée par une population de l'ordre de 611870 habitants.

Elle est caractérisée par un climat aride, marqué par des fortes températures (49°C) estivales, des faibles températures hivernales (12°C) et de très faibles précipitations annuelles. La principale activité est la culture du palmier dattier, mais il y a aussi l'artisanat, le tourisme et une petite industrie, et le raffinage d'hydrocarbures (région de Sbaa). Cette région, est caractérisée par un système d'alimentation et de fonctionnement très ancienne appeler Foggara, ce système elle est important dans l'agriculture de la région, récemment l'utilisation des forages profonds est la technique la plus utilisée.

Sur le plan géologique la région d'Adrar est située sur le rebord Nord occidental ; elle est caractérisé par un socle précambrien dérobé la couverture des dépôts sédimentaires d'âge phanérozoïques transgressifs. La dépression de Touat est remplie par des dépôts paléozoïques (cambrien à namurien) d'un vaste bassin sédimentaire d'âge secondaire qui s'étend de l'atlas saharien au Nord à la hamada de Tinhirt et le plateau du Tademaït au sud et le Touât- Gourara à l'Ouest jusqu'au golf de Gabes au Nord- Est. Du Tidikelt au Gourara l'ensemble structural est le continental intercalaire (CI) qui vient se terminer en biseau sur le substratum primaire, ce dernier affleure en surface à la faveur de la disparition des formations du continental intercalaire dans la dépression de la vallée de la Saoura qui forme la limite occidentale. Dans la région de Reggan l'auréole du primaire s'interrompt et les formations du CI se prolongent vers le plateau du Tanezrouft au sud-ouest.

Sur le plan hydrogéologique les formations dominantes appartiennent au Crétacé. Au Nord de la région étudiée le plateau de Tademaït constitué de terrains du Crétacé supérieur est ceinturé à l'Ouest, au Sud par une bande argilo-gréseuse constituant le reg à dragées de quartz de Meguiden et Tidikelt.

Le Continental Intercalaire est une série monotone de bancs gréseux, de sables fins et de niveaux argileux. Les grès sont de faciès très différents, grès friables et tendres, dont le grain est variable, parfois assez fin et souvent grossier (grès à dragées de quartz) et la présence des calcaires compacts siliceux par fois.

Le caractère particulier de ces grès est la grande porosité qui est nettement plus importante que les autres séries gréseuses du Jurassique ou du Crétacé. Elle est évaluée au minimum à 10 %.

La nappe du Continental Intercalaire est un réservoir à eau douce ; la plus grande partie de l'eau de cette ressource a été remplie pendant les périodes pluvieuses du quaternaire. Les eaux du Continental Intercalaire sont caractérisées par :

- Une température qui dépasse les 60°C sauf aux endroits où l'aquifère est proche de la surface du sol.

- Une charge en H<sub>2</sub>S et CO<sub>2</sub> qui lui donne un caractère corrosif.

- La minéralisation de l'eau oscille entre 0.4 et 5.2g/l.

- L'alimentation de la nappe, relativement faible, se fait par ruissellement à la périphérie du réservoir, tout au long et à l'extrémité des Oueds, qui descendent des monts de L'Atlas saharien, du Dahar tunisien, du plateau de Tademaït et Tinhert et par les pluies exceptionnelles sur les grands ergs.

- L'écoulement des eaux de cette nappe se fait dans la partie occidentale du Nord vers le Sud et dans sa partie orientale de l'Ouest vers l'Est (Tunisie) et du Sud vers le Nord

C'est une nappe qui est partagée entre trois pays maghrébins : l'Algérie, la Tunisie et la Libye. La partie algérienne du continental intercalaire couvre 600 000 Km<sup>2</sup> (fig.22). Elle stocke un volume d'eau considérable, estimé à 50 000 milliards m<sup>3</sup> environ.

En plus des nombreuses sources thermales dans le Nord du pays, il existe dans le Sud algérien et plus exactement dans le Sahara septentrional une importante réserve en eau thermale qui est la nappe du Continental Intercalaire.

La nappe du Continental Intercalaire s'étend en Algérie sur une superficie 600 000 km<sup>2</sup>, son épaisseur moyenne est de plusieurs centaines de mètres soit 300 m environ. Elle s'est remplie pendant les périodes pluvieuses du Quaternaire, le volume totale de l'eau connue dans le réservoir est de 35 000 milliards de m<sup>3</sup>.

Les eaux s'écoulent principalement selon trois directions d'écoulements, vers le Sud et le Sud-Ouest de la nappe ou se trouvent les zones évaporatoires du Touat du Gourarra et du Tidikelt.

La nappe du Continental Intercalaire est de plus en plus profonde vers le Nord-Est ou le toit de la nappe se trouve à plus de 2500 m. Vers l'Ouest, la nappe est ascendante peu profonde, elle affleure dans les régions d'Adrar et de In Salah.

L'élaboration de la base de données 'SIG' permet de gérer, d'actualiser, d'analyser et d'afficher les informations disponibles. L'analyse spatiale réalisée sous ArcGis 9.2 nous a permis d'éditer des cartes thématiques caractérisant les ressources géothermales de la wilaya d'Adrar.

La température du fluide géothermique dans la région d'étude augmente en allant vers l'Est de la nappe, Le minimum de la température 24,5 se trouve à la périphérie Ouest qui correspond aux régions d'affleurement de la nappe. Ainsi, la température de l'eau varie avec la profondeur, les eaux les plus profondes qui sont influencées par le gradient géothermique sont les plus chaudes.

L'analyse spatiale effectuée a pour objectif la définition des ressources géothermiques pour usage thermique dans la région d'Adrar. La carte de répartition géographique des Température montre que la région d'étude dispose de ressources très basse énergie dont la température d'émergence varie entre 24,5 et 32.5 °C, car, l'aquifère est peu profonds avec des température inférieure à 35 °C. Ces ressources offrent de nombreuses possibilités pour les applications directes et surtout en agriculture et pisciculture.

La carte de gradient géothermique montre que le Sud algérien est caractérisé dans son ensemble par un gradient géothermique moyen 3°C/100m.

D'après la carte de flux de chaleur, la région d'Adrar présente un flux moyen, compris entre 20 et 25 mW/m<sup>2</sup>, on remarque sur la carte quelques anomalies. La partie Est présente un flux élevé compris entre 55 à 25 mW/m<sup>2</sup>.

Les mouvements hercyniens semblent être les principaux responsables du flux élevé dans le Sahara occidental. Il convient de conclure que les conditions thermiques sont réunies dans le Sud algérien pour avoir un important potentiel géothermique.

D'une manière générale, la géothermie se caractérise par son développement relativement récent et par une technologie largement inspirée au départ de l'expérience pétrolière. On peut dire cependant qu'il existe à présent une véritable industrie de la géothermie. Peut-être moins connue que d'autres énergies renouvelables comme le solaire, l'éolien ou la biomasse, la géothermie présente pourtant de nombreux atouts. Ainsi, en termes d'applications, elle permet de couvrir une large gamme d'usages. L'exploitation de ressources géothermales de basse ou très basse énergie permet le chauffage de l'habitat qu'il soit collectif ou individuel avec la mise en place par exemple de réseaux de chaleur urbains capables de desservir plusieurs milliers de logements. C'est aussi le chauffage et/ou la climatisation de bâtiments. On peut également utiliser ce type de ressources pour assurer le chauffage de serres ou de bassins d'élevage de pisciculture. D'un point de vue environnemental, la géothermie est probablement l'une des énergies les moins polluantes comme l'attestent différentes études comparatives réalisées sur l'ensemble des filières énergétiques

Compte tenu de la température des eaux le réservoir de l'albien laisse à envisager les mêmes types d'applications que le Nord, notamment dans le domaine de l'agriculture et le chauffage du bâtiment ou le refroidissement en été ou la température de l'air dépasse 40°C.

A l'exception de quelques applications expérimentales, la géothermie a été réservée jusqu'à présent à la balnéologie. La carte des températures peut servir de guide pour les collectivités afin de promouvoir les applications de l'énergie géothermique. Le chauffage ou le refroidissement urbain, l'agriculture et la pisciculture constituent les principaux axes.

En fin La région d'Adrar renferme les deux conditions majeures pour l'existence d'un réservoir géothermique, un gradient géothermique et une nappe aquifère en profondeur.

## ***REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES***

### Références bibliographiques

- 1- **ANRH D'ADRAR (2004)**, Exploitation des eaux dans les zones arides L'évolution. L'exploitation Des Eaux Souterraines Dans La Daïra D'Adrar, Fenoughil Et Zaouit Kounta. Rapport Interne
- 2- **ANSARI T. (2005) Rapport géoquifere ANRH**
- 3- **BESBES M, LARBES A, BABASY M, MERZOUGUI B. (2005)**, Modélisation Du Système Aquifère Du Bassin Occidental Du Sahara Septentrional, Première Phase : Hydrogéologie Et Modèle Conceptuel .rapport final d'OSS.
- 4- **CONRAD G. (1969)**, L'évolution Continentale Du Sahara Algérien (Saura, Erg Chach, Tanezrouft, AhnetMoydir), édition du centre national de la recherche scientifique Paris. pp. : 49-65
- 5- **BRGM, (1978)**, La géothermie en France, [www.soultz.net/fr](http://www.soultz.net/fr)
- 6- **DUBIEF J. (1953)**, Essai Sur L'hydrologie Superficielle Au Saharien, direction du service de la colonisation et de l'hydraulique service des études scientifiques Clairbois BIR MOURAD RAIS, ALGERIE. pp : 163-168.
- 7- **FABRE J. (2005)**, Géologie Du Sahara Occidental Et central, vol 8 édition Terouren Africain Géosciences collection Belgique.
- 8- **F.Z. Kedaid. (2006)**, Développement de la base de données géothermique de l'Algérie par un système d'information géographique, Revue des énergies renouvelables Vo.9N°4 P. 253-256
- 9- **GILBERT G. (1973)**, Régime économique et structure du pouvoir : le système des foggaras du Touat. Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée, N°13-14.pp. 437-457
- 10- **GILLI E.MANGAN C.MUDRY J. (2008)**, Hydrogéologie Objets, Méthodes, Applications. Vol2 édition Dunod, Paris
- 11- **Guerrier. F. (2010)**, Fiche d'aide à Arcgis 9.X Desktop, <http://www.sigea.educagri.fr>

## Références bibliographiques

- 12- **HADJ FATEH Lakhdar et ROUAS Djemoui. (2011)**, Etude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe du Continental Intercalaire de la région de Touat  
UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA
- 13- **H. ASKRI, et Ail. ( 2001)**, Géologie De L'Algérie vol 1 édition S C H L U M B E R  
G E R W E C S O N A T R A C H
- 14- **KHADRAOUI. A. (2006)**, Gestion des ressources en eau souterraines au Sahara  
Algérien. WWW. ABHS.DZ
- 15- **KHADRAOUI A. (2007)**, Eau Et Impact Environnemental Dans Le Sahara Algérien  
Définition Et Perspectives De Développement. WWW. ABHS.DZ
- 16- **OSS (2008)**, Le Système Aquifère du Sahara Septentrional, Rapport final, [www.oss-online.org](http://www.oss-online.org)
- 17- **OULD BABA SY M. (2005)**, Recharge et Paleorecharge Du Système Aquifère Du  
Sahara Septentrional; Thèse Doc, université de Tunis EL MAN
- 18- **OUALI S, (2006)** Etude géothermique du Sud de l'Algérie, Mémoire de fin d'étude  
pour l'obtention du diplôme de Magister, Université de Boumerdes
- 19- **OUALI. S. A. Khellaf et K. Baddari. (2006)**, Etude géothermique du Sud de  
l'Algérie. Revue des énergies renouvelables vol 9 N°4, 297-306
- 20- **OUALI. S. A. Khellaf1 et K. Baddari, (2007)**, Etude des ressources géothermiques  
du sud algérien. Revue des énergies renouvelables vol 10 N°3, 407-414
- 21- **Philippe LAPLAIGE et Jean LEMALE ;** Énergie géothermique, [www.technique-ingenieur.fr](http://www.technique-ingenieur.fr)
- 22- **RAISSI O. (2004)**, Etude Agro-Pédologique Des Périmètres De la Wilaya D'Adrar  
Pour La Création D'oasis, rapport technique d'ANRH d'Adrar.
- 23- **UNESCO (1972)**, Etude des ressources en eau du Sahara Septentrionale,  
TR/Unesco/UNDP/SF/REG 100. Paris
- 24- **[www.ciel.org](http://www.ciel.org).**
- 25- **[www. http://mendeleiev.cyberscol.qc.ca/chimisterie](http://mendeleiev.cyberscol.qc.ca/chimisterie)**

## **Références bibliographiques**

---

26- **www.wikipedia.org.**

27- **www. Wikipedia.org** L'encyclopédie Wikipedia, (2006).

28- **ZIDANE Keltoum. (2010)**, Initiation ArcGis 9.x, [www.sig-gps.net](http://www.sig-gps.net)