

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE**

**École Nationale Supérieure des Science de la Mer et de  
l'Aménagement du Littoral.**

**Mémoire de master**

**Spécialité : Gestion et protection de littorale**

**Filière : Aménagement de littorale**

**Thème**

**Utilisation de la géomatique pour cartographie la vulnérabilité à  
l'intrusion marine : cas de l'aquifère de sahel d'Alger**



**Réaliser par :**

**Bahloul Mahieddine**

**Belkacemi Abdelouhab**

*Soutenu publiquement le ... / 2024 devant le jury composé de*

N°	Nom et prénom	Grade	Etablissement	Qualité
01	Mme. MEHDID S.		ENSSSMAL	Président
02	Mr. FARNANE L.		ENSSSMAL	Rapporteur
03	Mr. OUTHMANI H.		ENSSSMAL	Examineur

## **Remerciement**

*Avant tout, nous tenons à remercier Allah, le Tout-Puissant, de nous avoir donné la volonté, la santé et la patience pour réaliser ce travail.*

*Ce mémoire a pu être réalisé grâce au soutien de nombreuses personnes, auxquelles nous souhaitons exprimer toute notre gratitude.*

*Nous tenons avant tout à remercier notre directeur de mémoire, **FERNANE L**, pour le temps qu'il a consacré à nous fournir les outils méthodologiques essentiels à la réalisation de cette recherche. Son exigence a été une grande source de motivation pour nous. Il a constamment fait preuve de disponibilité et a répondu à mes nombreuses questions. Il a toujours suivi attentivement l'évolution de nos travaux.*

*Nous adressons également nos vifs remerciements aux membres du jury **Mme. MEHDID. S**, comme présidente et **Mr. OUTHMANI. H** examinateur, pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche, en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs suggestions.*

*Nous souhaitons également exprimer notre gratitude aux membres de l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique (**ANRH**), pour leur accueil chaleureux au sein de groupe et leur précieux soutien dans notre travail.*

*Par ailleurs, nous tenons à exprimer notre gratitude à tous les enseignants chercheurs de l'École Nationale Supérieure des Science de la Mer et de l'Aménagement du Littoral.*

*Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance, en particulier envers notre famille et nos amis et plus particulièrement pour **Dr. Bahloul Wissam**, pour leur soutien inestimable tout au long de ce parcours. Nous espérons que ce travail témoigne de notre gratitude, de notre reconnaissance et de notre estime à leur égard.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*À mes chers parents, dont le soutien inébranlable et les encouragements ont accompagné chacune de ces années de recherche. Aucune dédicace ne saurait réellement exprimer le respect, l'amour éternel et la gratitude que j'éprouve pour les sacrifices qu'ils ont consentis pour mon bien-être.*

*À mes chères sœurs **Warda** et **Fatma Zohra***

*À mon beau frère **Bilal** et ma nièce **Farah***

*À toute la famille **Bahloul** et **Roubache***

*À mon binôme **Belkacemi Abdelouhab** et toute sa famille*

**Bahloul Mahieddine**



# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*À mes chers parents, dont le soutien inébranlable et les encouragements ont accompagné chacune de ces années de recherche. Aucune dédicace ne saurait réellement exprimer le respect, l'amour éternel et la gratitude que j'éprouve pour les sacrifices qu'ils ont consentis pour mon bien-être.*

*À mes sœurs et frères*

*À toute la famille **Belkacemi** et **Khourta***

*À mon binôme **Bahloul Mahieddine** et toute sa famille*

**Belkacemi Abdelouhab**



## **Résumé**

L'aquifère côtère de la région de sahel d'Alger a été très sollicitée par l'utilisation abusive anthropique, ce qui a engendré le problème de vulnérabilité et d'intrusion marine et par conséquent la baisse de niveau d'eau dans cet Aquifère côtier, la détermination de l'origine de l'intrusion marine des eaux dans cette nappe phréatique a été faite à partir de l'approche GALDIT.

Le modèle GALDIT est établi sur six paramètres pertinents : le type d'aquifère (G) et la conductivité hydraulique (A) de l'aquifère, l'altitude de la nappe (L), la distance par rapport au rivage (D), l'impact de l'intrusion marine (I) et l'épaisseur de la nappe (T). Le résultat de cette approche montre que la vulnérabilité de la nappe de la baie d'Alger augmente d'amont en aval. En effet, toute la partie nord limitrophe du rivage présente un degré de vulnérabilité fort à la contamination par les eaux de mer.

**Mot clés :** Aquifère côtier, Vulnérabilité, Intrusion marine, Approche GALDIT, Salinisation (Biseau salé), Baie de Sahel d'Alger.

## **Abstract**

The coastal aquifer of the Sahel region of Algiers has been very solicited by the abusive anthropic use which generated the problem of vulnerability and marine intrusion and consequently the fall of the water level in this coastal Aquifer. The determination of the origin of the marine intrusion of water in this water table was made starting from the GALDIT approach.

The GALDIT model is based on six relevant parameters: the type of aquifer (G) and the hydraulic conductivity (A) of the aquifer, the altitude of the water table (L), the distance from the shore (D), the impact of marine intrusion (I) and the thickness of the water table (T). The result of this approach shows that the vulnerability of the water table in the Bay of Algiers increases from upstream to downstream. In fact, the entire northern part bordering the shoreline is highly vulnerable to pollution by sea water.

**Key words:** Coastal aquifer, Vulnerability, Marine intrusion, GALDIT approach, Salinization, Sahel Bay of Algiers.

## الملخص

لقد تعرضت طبقة المياه الجوفية الساحلية في منطقة الساحل بالجزائر العاصمة إلى استنزاف كبير بسبب الاستعمال البشري التعسفي مما أدى إلى ظهور مشكلة الضعف والتسرب البحري وبالتالي انخفاض منسوب المياه في هذه الطبقة المائية الساحلية. وقد تم تحديد أصل التسرب البحري للمياه في هذا الخزان المائي الجوفي انطلاقاً من منهج GALDIT.

يعتمد نموذج GALDIT على ستة معايير ذات صلة: نوع طبقة المياه الجوفية (G) والتوصيل الهيدروليكي (A) لطبقة المياه الجوفية، وارتفاع منسوب المياه الجوفية (L)، والمسافة من الشاطئ (D)، وتأثير التسرب البحري (I) وسمك منسوب المياه الجوفية (T). تُظهر نتيجة هذه المقاربة أن هشاشة منسوب المياه الجوفية في خليج الجزائر تزداد من المنبع إلى المصب. في الواقع، فإن الجزء الشمالي بأكمله المتاخم للشاطئ معرض بشدة للتلوث بمياه البحر.

**الكلمات المفتاحية:** طبقة المياه الجوفية الساحلية، قابلية التأثر، التطفل البحري، نهج GALDIT، التملح، خليج الساحل الجزائري.

## Liste des abréviations et symboles

< : Inférieur.

> : Supérieure.

% : Pourcentage.

$\mu\text{S}$  : micro –siemens.

m : Mètre (unité de longueur ou distance) .

Km<sup>2</sup> : Kilomètre carré (superficie).

Km : Kilomètre (unité de longueur ou distance).

mm : Millimètre.

m/s : Mètre par seconde.

% : pourcentage.

PH : Potentiel hydrique.

°C : Degré Celsius.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

OSO ; Ouest-Sud-Ouest.

ENE : Est -Nord -Est.

EPGA : établissement public d'aménagement et de gestion de l'Aulne.

CE : conductivité électrique.

ENSG : école nationale des sciences géographiques (France).

# *Tables de matières*

## **Introduction générale.....1**

### **Chapitre I. Synthèse bibliographique**

1. Introduction .....	5
2. Définition de la géomatique .....	5
3. Définition d'un aquifère côtier .....	7
3.1. Définition d'un biseau salé.....	7
3.2. La relation eau souterraine - eau marine .....	8
3.3. Types d'aquifères.....	8
□ Aquifère côtier a nappe libre (non confiné).....	8
□ Aquifère côtier captif (confiné) .....	8
4. Définition de la vulnérabilité d'un aquifère côtier .....	9
4.1 Différents types de la vulnérabilité: .....	10
5. Définition de la salinisation.....	10
6. L'intrusion marine.....	10
7. Définition d'un bassin versant.....	11
7.1 Réseaux hydrographique .....	12
8. Les études de l'intrusion marine .....	12
9. Conclusion.....	15
Bibliographie.....	16

### **Chapitre II. Description de la zone d'étude**

1. Introduction .....	20
2. Cadre géographique.....	20
3. Cadre géologique.....	22
3.1 Le Quaternaire.....	22
3.1.1 Les formations du Mazafran et de Halloula .....	22
3.1.2 Les dépôts récents .....	22
3.1.3 La formation d'El Harrach.....	23
3.2 Formations géologiques plus anciennes : .....	23
3.2.1 Le Miocène et roches plus anciennes .....	23
3.2.2 Le Pliocène .....	24



4. Cadre Hydrologique .....	26
4.1. Cadre Hydrogéologie .....	26
4.2. Cadre Hydrographie .....	26
4.3 La Piézométrie.....	28
4.3.1 La piézométrie dans la Mitidja.....	30
5. Cadre géomorphologique .....	31
5.1 Morphologie de la baie :.....	31
5.2 Morphologie de sahel .....	31
5.3 Morphologie de la plaine de la Mitidja .....	31
6. Cadre Climatologique .....	32
6.1. La Pluviométrie .....	33
6.1.1. Variation des moyennes mensuelles des précipitations (1990-2019) .....	34
6.2. Température .....	35
6.3. Le vent.....	36
6.4. Le couvert végétal .....	36
7. Conclusion.....	36

### **Chapitre III. Données et Méthodes**

1.Introduction .....	39
1.C'est quoi la Méthode GALDIT .....	39
2. Description des paramètres de la méthode GALDIT :.....	40
2.1. Type d'aquifère (G) :.....	40
2.2 La conductivité hydraulique de l'aquifère (A) :.....	40
2.3 L'altitude de la nappe par rapport au niveau de la mer(L).....	41
2.4 La distance par rapport au rivage(D) : .....	41
2.5 L'impact de l'intrusion saline présente dans la zone (I) : .....	42
2.6 L'épaisseur de la nappe phréatique ou l'épaisseur saturée d'un aquifère(T) :.....	43
3.Comment utiliser la méthode GALDIT .....	44
3.1 Le poids (Pondération) :.....	44
3.2 Rang (ou Notation).....	44
3.3 Classification.....	44
3.4 Indice GALDIT .....	44
4. Application de la méthode GALDIT .....	47
4.1. Le type d'aquifère (G).....	47

4.2 la conductivité hydraulique de l'aquifère (A) .....	47
4.3. Altitude de la nappe(L) .....	48
4.4. Distance de la côte (D) .....	52
4.5. L'impact de l'intrusion saline (I) .....	52
4.6. L'épaisseur de la nappe (T) .....	53
5. L'utilisation de logiciel ArcGIS.....	53
5.1 Le géoreferencement .....	53
5.2 les étapes suivis pour la réalisation des paramètres GALDDIT.....	54
5.2.1. Paramètre G et L .....	59
5.2.2. Indice GALDIT .....	54
6. Conclusion .....	54
<b>Chapitre IV. Résultats et discussions</b>	
1.Introduction .....	57
2.Résultats : .....	57
2.1. Paramètre (G) : Le type d'aquifère .....	58
2.2. Paramètre (A) : la conductivité hydraulique de l'aquifère .....	59
2.3 Paramètre (L) : altitude de la nappe .....	60
2.4. Paramètre D : Distance de la côte .....	61
2.5 Paramètres I : l'impact de l'intrusion saline .....	62
2.6. Paramètre T : L'épaisseur de la nappe. ....	63
2.7. Carte finale "Indice GALDIT " de vulnérabilité a l'intrusion marine .....	64
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>67</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>65</b>
<b>Business Model Canvas.....</b>	<b>73</b>
<b>Annex .....</b>	<b>86</b>

## Liste des figures

### Chapitre I. Synthèse bibliographique

<b>Figure 1 : Schéma d'un système d'informatique géographique.....</b>	<b>6</b>
--	----------

<b>Figure 2</b> : Schéma explicatifs de la géomatique.....	6
<b>Figure 3</b> : Schéma représente un aquifère côtier .....	7
<b>Figure 4</b> : Schéma représentative nappes captive et libre .....	9
<b>Figure 5</b> : Schéma représentative de phénomène de l'intrusion marin .....	11
<b>Figure 6</b> : schéma d'un bassin versant.....	12

## **Chapitre II. Description de la zone d'étude**

<b>Figure 2.1</b> : Carte géographique représente la Mitidja réaliser par Arc gis .....	21
<b>Figure 2.2</b> :schéma représente une coup vertical de l'aquifère de Sahel .....	25
<b>Figure 2.3</b> : Carte hydrologique de la Mitidja.....	27
<b>Figure 2.4</b> : Schéma représente une coupe piézométrique. ....	28
<b>Figure 2.5</b> : Photo représente un piézomètre.....	28
<b>Figure 2.6</b> : Carte d'évolution piézométrie de la Mitidja Est.....	30
<b>Figure 2.7</b> : Carte géomorphologique de la Mitidja.....	32
<b>Figure 2.8</b> : Carte de situation des stations pluviométriques. ....	34
<b>Figure 2.9</b> : précipitations moyennes mensuelles (1990-2019) (article asklu fouad).....	35
<b>Figure 2.10</b> : Variation des précipitations moyennes annuelles(1990-2019).....	35

## **Chapitre IV. Résultats et discussions**

<b>Figure 4.1</b> : Carte topographique représente les piézomètres dans la zone de sahel.....	57
<b>Figure 4.2</b> : Carte topographique représente le paramètre G .....	58
<b>Figure 4.3</b> : Carte topographique représente le paramètre A .....	59
<b>Figure 4.4</b> : Carte topographique représente le paramètre L.....	60
<b>Figure 4.5</b> : Carte topographique représente le paramètre D.....	61
<b>Figure 4.6</b> : Carte topographique représente le paramètre I.....	62
<b>Figure 4.7</b> : Carte topographie représente le paramètre T.....	63
<b>Figure 4.8</b> : Carte représente la Vulnérabilité dans la zone de Sahel selon indice GALDIT ..	64

## Liste des tableaux

### Chapitre II. Description de la zone d'étude

**Tableau 1 :** Litho stratigraphie Synthétique de la Mitidja-est (Fouad, 2023) ..... 26

**Tableau 2:** Caractéristiques générales des stations pluviométriques(source ANRH)..... 33

### Chapitre III. Données et Méthodes

**Tableau 3.1 :** Composition chimique standard de l'eau de mer (Rodier, 2009) ..... 42

**Tableau 3.2 :** Les classes de la vulnérabilité par l'indice GALDIT ..... 45

**Tableau 3.3 :** Poids et rangs de la méthode de GALDIT (Chachadi et al, 2005) ..... 46

**Tableau 3.4:** les données de niveau piézométrique et de la conductivité. .... 48

**Tableau 3.5 :** les profils de conductivité et de profondeurs ..... 51

**Tableau 3.6 :** Tableau représente le rapport de la concentration en chlorure et la conductivité électrique dans la zone de sahel ..... 53

# *Introduction Générale*

L'eau douce est une ressource vitale pour l'humanité et sa disponibilité est une préoccupation majeure, et sa gestion responsable est devenue une nécessité mondiale. Les régions côtières, où les populations ont souvent convergé pour exploiter les avantages économiques et culturels de la proximité de la mer, ils sont confrontés à des défis uniques liés à l'eau. Dans ces régions, les aquifères côtiers, ces vastes réservoirs d'eau souterraine situés à l'interface entre les eaux douces et l'eau de mer, revêtent une importance capitale pour la sécurité hydrique et environnementale pour éviter ou bien lutte contre le risque de l'intrusion marine et la vulnérabilité des aquifères (salinisation des eaux douce par l'eau de mer).

Ce mémoire se consacre à une exploration approfondie du phénomène d'intrusion marine dans un réservoir côtier spécifique, en utilisant le modèle cartographique GALDIT. Notre étude de cas se concentre sur la baie d'Alger (l'aquifère de Sahel) une région côtière méditerranéenne aux caractéristiques géographiques hydrologiques et géologiques spécifiques.

L'étude que nous avons menée sur l'aquifère de Sahel d'Alger comporte donc quatre chapitres structurés comme suit :

- **Chapitre 1 synthèse bibliographique** : Le premier chapitre établit les définitions sur le thème choisis, la problématique et les objectifs visée ainsi que les études qu'ont été fait à travers le monde généralement et en Algérie spécifiquement.
- **Chapitre 2 description de la zone d'étude** : ce chapitre est réservé à la présentation de la zone géographique, géologique et hydrologique, géomorphologique, climatique.
- **Chapitre 3 données et méthodes** : Ce chapitre détaille notre méthodologie d'étude. Nous présentons de manière exhaustive le modèle GALDIT, ainsi que les paramètres spécifiques que nous utiliserons pour notre analyse. Nous expliquons en détail la manière dont ces outils seront appliqués pour caractériser le phénomène d'intrusion marine dans la baie de sahel d'Alger.
- **Chapitre 4 discussion et résultats** : Dans ce chapitre en évaluant et en notant les paramètres pertinents, et les résultats obtenus puis en construisant une échelle des risques. Les résultats de cette analyse nous permettront d'acquérir une compréhension approfondie du phénomène d'intrusion marine dans notre zone d'étude.
- **Conclusion générale** : Enfin, nous réunissons les conclusions de notre étude et discutons de leurs implications pour la gestion durable d'aquifères de Sahel.

## *Chapitre I*

# *Synthèse bibliographique*

## Table des matières

1. Introduction .....	5
2. Définition de la géomatique .....	5
3. Définition d'un aquifère côtère .....	7
3.1. Définition d'un biseau salé.....	7
3.2. La relation eau souterraine - eau marine .....	8
3.3. Types d'aquifères.....	8
❖ Aquifère côtier a nappe libre (non confiné).....	8
❖ Aquifère côtier captif (confiné) .....	8
4. Définition de la vulnérabilité d'un aquifère côtier .....	9
4.1 Différents types de la vulnérabilité: .....	10
5. Définition de la salinisation.....	10
6. L'intrusion marine.....	10
7. Définition d'un bassin versant.....	11
7.1 Réseaux hydrographique .....	12
8. Les études de l'intrusion marine .....	12
9. Justificatif de choix de méthode :.....	15
Bibliographie.....	16



### 1. Introduction

Les zones côtières font preuve d'une grande vitalité et d'une activité humaine intensive en raison de leur importance économique : Le tourisme, le transport maritime, la construction et l'agriculture, car il s'agit des terres fertiles et arables (riches en minéraux).

L'exploitation abusive et irrationnelle des nappes phréatique côtière a affecté les réserves d'eau souterraines, entraînant une baisse des niveaux Piézométriques, cette baisse menace l'équilibre et la durabilité de l'aquifère et elle le rend vulnérable à l'intrusion marines. La Pénétration des eaux de mer vers les eaux douces.

L'utilisation des outils de la géomatique devient rapidement nécessaire pour cartographie la vulnérabilité de l'aquifère à l'intrusion marine, afin de localiser les zones les plus touchées et les principales causes de ce phénomène.

### 2. Définition de la géomatique

La géomatique c'est l'ensembles des données géographiques, hydrologiques, océanographique géologique et les outils informatiques pour collecter, modéliser, représenter, et analyser le territoire et les objets et phénomènes y associés (ENSG-Géomatique, 2024). Cela inclut des éléments comme les cartes, les images satellites, les systèmes d'information géographique (SIG : est un système qui crée, gère, analyse et cartographie tous les types de données, le SIG connecte des données à une carte et intègre aux données de localisation (où se trouvent les choses) tous types d'informations descriptives (à quoi ressemblent les choses à cet endroit)), et d'autres outils technologiques pour étudier et comprendre les caractéristiques de la Terre. La géomatique est utilisée dans des nombreux domaines, tels que l'aménagement du territoire, la gestion de l'environnement, la navigation, la planification urbaine, et bien plus encore.

Cette discipline a pour objet la gestion des données à référence spatiale par l'intégration des sciences et technologies reliées à leur acquisition, leur stockage, leur traitement et leur diffusion (**Figure 1, 2**).

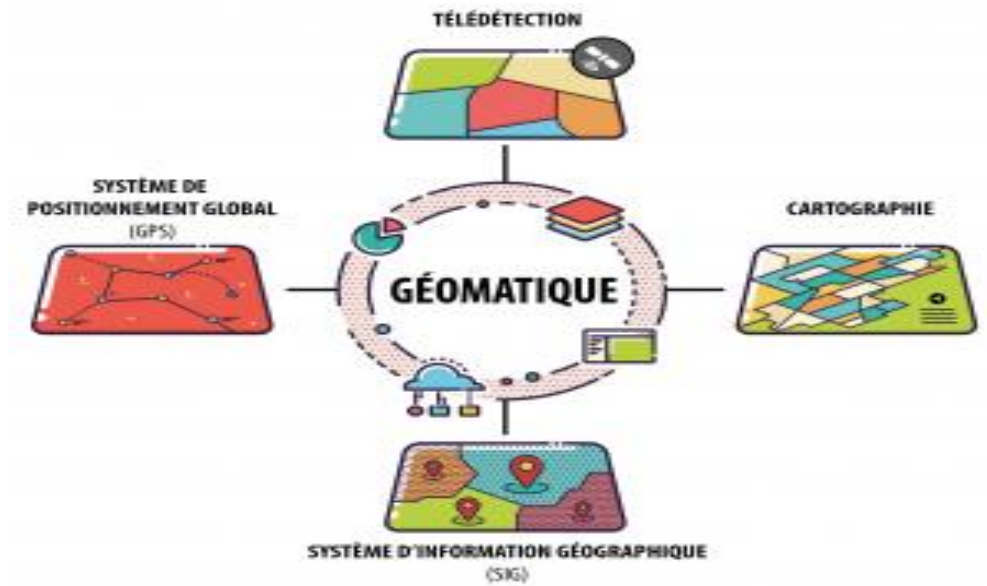


Figure 1 : Schéma d'un système d'informatique géographique



Figure 2 : Schéma explicatifs de la géomatique

### 3. Définition d'un aquifère côtier

Un aquifère côtier est une formation géologique souterraine qui peut contenir de l'eau souterraine. Il peut s'agir d'une couche de roche poreuse, comme un grès ou un calcaire, qui peut stocker et transporter et permettre les écoulements verticaux et transversaux de l'eau et de l'emmagasiner. (ROUX, 2006) .Un aquifère peut inclure une ou plusieurs nappes phréatiques, ainsi que d'autres zones d'eau souterraine.

#### 3.1.Définition d'un biseau salé

Le contact entre la mer et une nappe d'eau dans un aquifère poreux s'appelle l'interface eau douce/ eau salée (**Figure 03**), généralement cette interface est en bordure de mer, mais il peut se déplacer à l'intérieur des terres en cas d'exploitation trop importante de la nappe ou de précipitation insuffisantes dues à un changement climatique. (M.Mousselmal, 2015).

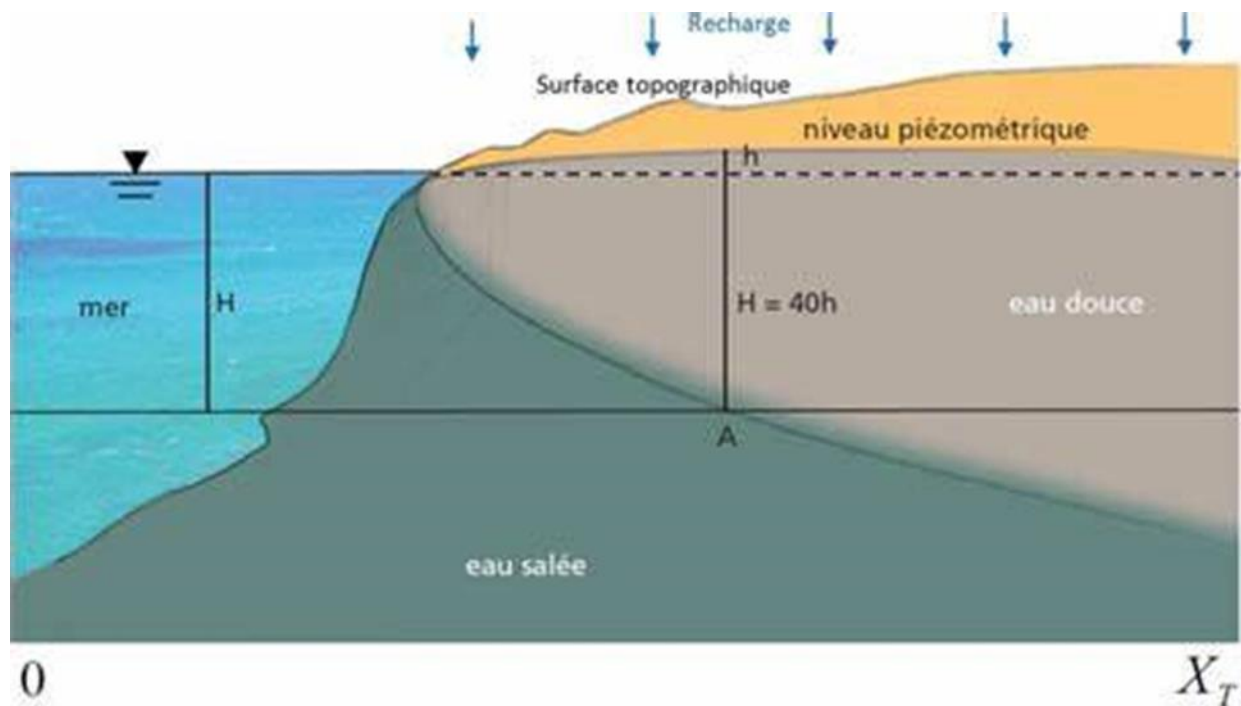


Figure 3 : Schéma représente un aquifère côtier et le biseau salée (source siege britanie)

### 3.2. La relation eau souterraine - eau marine

Les aquifères côtiers (eau douce souterraine) fonctionnent en interaction avec les eaux marines, l'eau douce peut se déverser dans la mer directement ou par l'intermédiaire d'une zone humide, de même l'eau marine peut influencer les aquifères côtiers par le phénomène de l'invasion marine.

Ce dernier, qui peut s'étendre sur plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres est d'un grand risque pour les régions côtières tributaires des eaux souterraines pour leur approvisionnement en eau. Sous certaines conditions, l'eau salée se propage à l'intérieur des terres et contamine les eaux de la nappe. Par ailleurs, l'invasion des eaux douces par les eaux salées aura pour effet une dégradation des sols et une salinisation par suite des irrigations avec ces eaux. (M.Mousselmal, 2015)

### 3.3. Types d'aquifères

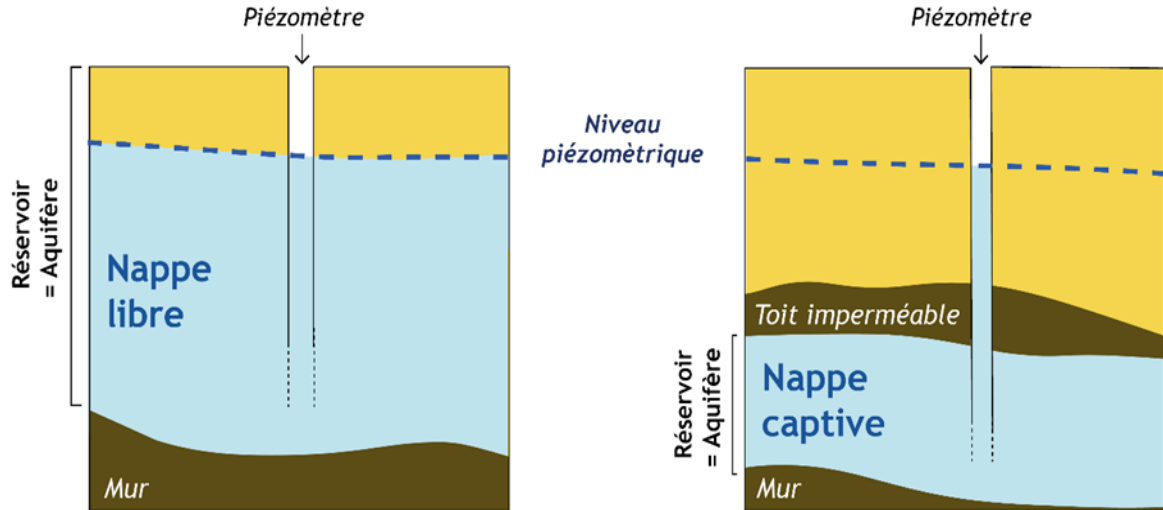
#### ❖ Aquifère côtier a nappe libre (non confiné)

- Il s'agit d'un aquifère situé près de la côte, où l'eau douce se trouve en contact avec surface, dans lequel l'eau est contenue sous pression atmosphérique et peut être pompée sans l'utilisation de pompes spéciales,
- Les couches de roches poreuses et perméables, et peut être influencée par l'intrusion d'eau de mer, Elle est généralement peu profonde.
- L'eau d'un aquifère libre est rechargée par les précipitations qui s'infiltrent rapidement à travers le sol jusqu'à la nappe phréatique (**Figure 4**).

#### ❖ Aquifère côtier captif (confiné)

- C'est un aquifère côtier qui est emprisonné entre des couches de roches imperméables, formant une barrière qui empêche l'eau douce de se mélanger avec l'eau de mer.
- Pour accéder à l'eau d'un aquifère confiné, il est souvent nécessaire de forer plus profondément et de puiser l'eau à travers un puits de forage.

- L'eau dans un aquifère confiné met généralement plus de temps à être rechargée que celle d'un aquifère libre, car elle dépend souvent de sources d'eau plus éloignées et de processus de recharge plus lents (**Figure 4**).



**Figure 4 :** Schéma représentative nappes captive et libre

Ces types d'aquifères côtiers sont importants car ils peuvent être une source d'eau douce pour les régions côtières, mais ils peuvent également être vulnérables à l'intrusion d'eau de mer due au surpompage excessif ou au changement du niveau de la mer. C'est pourquoi il est essentiel de surveiller et de gérer ces aquifères pour assurer leur durabilité et leur protection. (Green-Ecolog.com, 2024).

#### 4. Définition de la vulnérabilité d'un aquifère côtier

La vulnérabilité d'un aquifère côtier fait référence à sa sensibilité à subir des impacts négatifs en raison de sa proximité avec la côte. Les aquifères côtiers sont des formations souterraines qui se trouvent près des zones côtières et qui peuvent être affectées par des phénomènes tels que l'intrusion d'eau de mer, la contamination par des activités humaines ou la surexploitation due à une demande accrue en eau. Ces facteurs peuvent compromettre la qualité et la disponibilité de l'eau souterraine, ce qui peut avoir des conséquences sur les écosystèmes et les communautés qui dépendent de cette ressource. La gestion durable des aquifères côtiers est donc essentielle pour prévenir et atténuer ces risques et assurer la préservation de cette ressource vitale.

### 4.1 Différents types de la vulnérabilité:

Il existe deux types de vulnérabilité : la vulnérabilité intrinsèque et la vulnérabilité spécifique.

#### ❖ La vulnérabilité intrinsèque

La vulnérabilité intrinsèque est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines. (Rassou, 2009)

#### ❖ La vulnérabilité spécifique

La vulnérabilité spécifique est le terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants. Elle prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque. (Rassou, 2009)

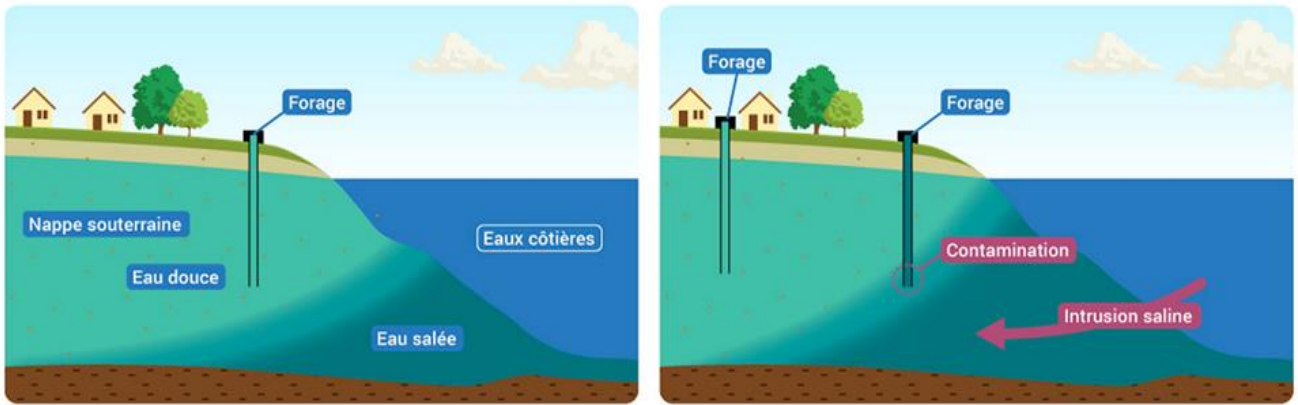
## 5. Définition de la salinisation

La salinisation des eaux se réfère à l'augmentation de la concentration en sel dans les eaux douces ou les eaux souterraines. Cela se produit lorsque les sels dissous, tels que le chlorure de sodium, s'accumulent dans les cours d'eau, des nappes phréatiques.

## 6. L'intrusion marine

L'intrusion marine se réfère à la pénétration de l'eau de mer dans un aquifère côtier, où elle se mélange avec l'eau douce. Cela peut se produire lorsque :

- La pression de l'eau de mer est plus élevée que celle de l'eau douce, ou lorsque le niveau de la mer augmente.
- Le débit de la nappe qui est fonction du régime d'exploitation et d'implantation des différents aménagements hydrauliques et de la recharge de la nappe.
- Le Changement climatique (manque de précipitation, veut dire que le rechargement des nappes phréatiques est lent).
- En présence de pompages intensifs et périodiques et lorsque l'aquifère est hétérogène, ce phénomène va engendrer une propagation des sels marins vers les eaux souterraines et une augmentation de la salinité de ces eaux pompées (**Figure 5**) (Ouissam, 2017).



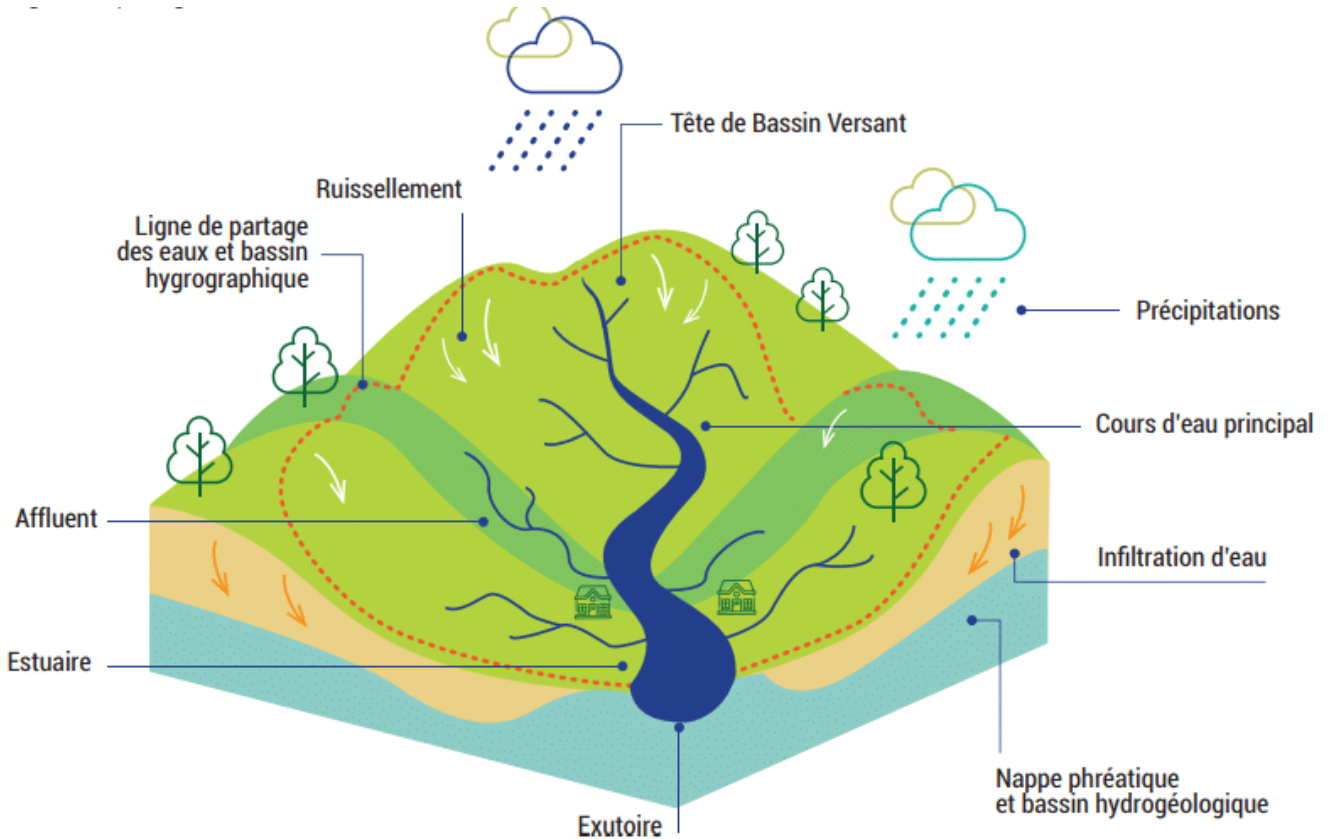
**Figure 5** : Schéma représentative de phénomène de l'intrusion marin

L'intrusion marine peut avoir des conséquences négatives sur la qualité de l'eau potable et sur les écosystèmes côtiers tels que :

- La salinisation des eaux souterraines, ce qui rend l'eau impropre à la consommation et à l'irrigation des cultures.
- La salinisation des terres agricoles, ce qui rend les terres impropres à l'agriculture.

### **7. Définition d'un bassin versant**

Le bassin versant peut-être décrit comme le territoire sur lequel tous les écoulements des eaux de surface convergent vers un même point que l'on nomme l'exutoire du bassin. Ce territoire est limité physiquement par la ligne de partage des eaux. A l'intérieure de ce domaine, toutes les pentes locales dirigent les écoulements de surface vers le point le plus bas correspondant à l'exutoire (**Figure 6**).



**Figure 6** : schéma d'un bassin versant

### 7.1 Réseaux hydrographique

C'est l'Ensemble des rivières, cours d'eau, lacs, zones humides, canaux, qui forment un système interconnecté de drainage des eaux de pluie et de fonte des neiges. Ces éléments sont organisés de manière à collecter, transporter et distribuer l'eau sur un territoire donné.

Les réseaux hydrographiques jouent un rôle crucial dans le cycle d'eaux et dans la gestion des ressources en eau d'une région.

### 8. Les études de l'intrusion marine





Il est important de surveiller et de gérer l'intrusion marine pour protéger les ressources en eau douce et cela fait l'objet de plusieurs études à travers le monde.



Au Marco (S.NAJIB, 2015) , étude de la minéralisation des eaux souterraines de la zone de la Chaouia côtière par caractérisation hydro chimique d'une part qui se fait par une campagne d'échantillonnage de 37 puits concernent à l'usage domestique et agricole se basent sur des paramètres tels que le PH et la température (T), la conductivité électrique (CE) et les bicarbonates  $\text{HCO}_3$  et aussi cation et anion , et d'autre part la tomographie de Résistivité qui se fait par un résistivité de type Syscal Junior à 72 électrodes espacées de 5 m. le dispositif choisi est le Wenner-Schlumberger, caractérisé par une bonne résolution horizontale et verticale avec une pénétration plus profonde( (Loke M.H., 2010))

Au Portugal (Lobo-Ferreira et al., 2005), Évaluation de la vulnérabilité des aquifères à l'intrusion de l'eau de mer par la méthode de GALDIT. Le principe de cette méthode s'articule autour de six paramètres : présence d'eau souterraine (G), conductivité hydraulique de l'aquifère (A), hauteur de la nappe phréatique au-dessus du niveau de la mer (L), distance par rapport au rivage (D), L'impact de l'état actuel de l'intrusion d'eau de mer l'impact (I), et l'épaisseur de l'aquifère (T). En USA (unite states America) sud Florida (Tahsin., 2016) Grâce à cette méthode, ils obtiennent des résultats satisfaisants.

Au Tunisie (Saidi, 2011) Évaluation du risque pour les eaux souterraines à l'aide de la cartographie intrinsèque de la vulnérabilité et des risques : Application à l'aquifère de Souassi, Sahel tunisien, cette évaluation a été faite par la méthode DRASTIC qui se base à combiner entre les paramètres hydrogéologiques en prenant produit de la valeur de danger pondérée (HJe), le facteur de classement (QN) et le facteur de réduction (Rf). Tous ces paramètres ont été préparé et classer intégrer, pondérer par les outils de SIG (système informatique géographique). L'indice DRASTIC contient une variation remarquable entre les paramètres de l'évolution dans milieu aquifère et pour valider la méthode DRASTIC et de risque il faut bien vérifier la distribution de nitrate dans les nappes.

-  Cartographie de la vulnérabilité des aquifères à l'aide du modèle DRASTIC.
-  Évaluation des dangers.
-  Évaluation des risques sur la base de la vulnérabilité de l'aquifère et de la cartographie des dangers.
-  Étude de validation utilisant l'analyse de sensibilité et la distribution des nitrates. (Saidi, 2011).

En Tunisie (Kouzana, 2007) Intrusion marine et salinisation des eaux d'une nappe phréatique côtière a Korba (Cap-Bon), La détermination de l'origine de la salinité des eaux de cette nappe phréatique a été faite à partir de l'étude de la conductivité électrique et des éléments chimiques majeurs, les résultats a montré que les zones à fortes salinités de Diar el Hajej, Garaet Sassi et Tazerka-Korba sont probablement contaminées par les eaux marine, l'intrusion marine est justifiée par les fortes teneurs en chlorures,

L'Algérie est l'un des pays qui souffre de ce problème en raison de sa situation géographique donnant sur la mer Méditerranée et son climat semi-aride. Dans ce contexte, plusieurs études ont été menées.

Tipaza (B. Abdelkader, 2012) ,Entre 2008 et 2012, une étude menée par B. Abdelkader à Tipaza a surveillé le niveau piézométrique et l'hydro-chimie pour évaluer l'intrusion marine dans l'aquifère côtier de Nador. Cette étude a utilisé la prospection géo-électrique pour analyser les variations du niveau de l'eau souterraine par rapport au niveau moyen de la mer, appelé le niveau piézométrique. Les résultats ont révélé un déplacement vers l'intérieur de l'isopièze zéro, indiquant une avancée de l'intrusion saline terrestre. Une forte minéralisation des eaux dans la zone côtière a été observée, suggérant une contamination par l'eau de mer. L'interprétation des profils de tomographie de résistivité électrique a confirmé que cette salinité accrue était principalement due à l'intrusion marine croissante dans l'aquifère.

Alger (H.zinet, 2020) par l'utilisation de différentes approches notamment hydrodynamique (chronique piézométrique) et hydro-chimique (utilisation de la technique des profils de conductivités). Ces approches a permis de préciser les évolutions spatio-temporelles de la salinité dans l'aquifère de la bais d'Alger.

Au Nord EST Algérien, (O.Haddad, 2017) a étudié la nappe de BOUTELDJA on se base sur l'approche méthodologique GALDIT combinée avec les techniques de SIG afin d'arriver a cartographié les zones vulnérables dans l'aquifère de BOUTELDJA.

Au Bejaïa, (Boudjlil El-hachemi, 07 Juin 2018) Étude de la vulnérabilité à la pollution de la nappe superficielle de Souk El Tenine par la méthode GALDIT, cette approche a permis de préciser les évolutions de l'intrusion marine dans l'aquifère côtier de Souk El Tenine et de définir les types de pollution et les origines des contaminations.

### **9. Justificatif de choix de méthode :**

Dans notre cas d'étude, on va travailler avec la méthode GALDIT en raison de la disponibilité des données, l'utilisation de cette méthode est simple et les résultats obtenus sont fiables.

### Bibliographie

- B. Abdelkader, a. (2012). *ÉTUDE DE L'ÉVOLUTION DE L'INTRUSION MARINE DANS L'AQUIFERE COTIER DE NADOR (TIPAZA, ALGERIE)*. Tipaza.
- Boudjlil El-hachemi, D. A. (07 Juin 2018). *Etude de la vulnérabilité à la pollution de la nappe superficielle*. Bejaia.
- ENSG-Géomatique. (2024). *La géomatique ? Qu'est-ce que c'est ?* france.
- Green-Ecolog.com. (2024). *TYPES D'AQUIFERES et leur classification*.
- H.zinet, N. B. (2020). *etude de l'intrusion marine par les profils de conductivité*. alger .
- Kouzana, L. (2007). *Intrusion marine et salinisation des eaux d'une nappe phréatique*. Korba, Cap-Bon, Tunisia.
- Lobo-Ferreira et al. (2005). *Assessing Aquifer Vulnerability to Sea-Water*. Portugal.
- Loke M.H., W. P. (2010). *Fast computation of optimized electrode arrays*.
- M.Mousselmal. (2015). *contrubution à l'étude de la recharge des nappes par procédé artificielles*. la Baie d'Alger: École Nationale Supérieure d'Hydraulique.
- O.Haddad. (2017). *Etude de la vulnérabilité d'une nappe d'eau souterraine basée sur*. Nord est algérie la nappe de bouteldja: ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE.
- Ouissam, H. (2017). *Étude de la vulnérabilité d'une nappe d'eau souterraine basée sur l'approche méthodologique GALDIT (Cas de la nappe de BOUTELDJA, Nord EST Algérien.)*. BOUTELDJA, Nord EST Algérien: École Nationale Supérieure d'Hydraulique.
- Rassou, K. (2009). *Eude des interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface dans le bassin côtier d'oualidia*. Maroc.
- ROUX, J.-C. (2006). *Aquifères et eaux souterraines en France*. france.
- S.NAJIB. (2015). *Étude de l'évolution de l'intrusion marine dans l'aquifère de la Chaouia*. Chaouia MAROC.

Saidi, S. B. (2011). *Évaluation du risque pour les eaux souterraines à l'aide de la cartographie intrinsèque de la vulnérabilité et des risques : Application à l'aquifère de Souassi, Sahel tunisien*. Souassi, Sahel tunisien.

Tahsin., Z. S. (2016). *Application de la méthode de Galdit pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines : un cas du sud de la Floride*. sud de Florida.

## *Chapitre II*

### *Description de la zone d'étude*

## Table des matières

1. Introduction .....	20
2. Cadre géographique.....	20
3. Cadre géologique.....	22
3.1 Le Quaternaire.....	22
3.1.1 Les formations du Mazafran et de Halloula .....	22
3.1.2 Les dépôts récents .....	22
3.1.3 La formation d'El Harrach.....	23
3.2 Formations géologiques plus anciennes : .....	23
3.2.1 Le Miocène et roches plus anciennes.....	23
3.2.2 Le Pliocène .....	24
4. Cadre Hydrologique .....	26
4.1. Cadre Hydrogéologie .....	26
4.2. Cadre Hydrographie .....	26
4.3 La Piézométrie.....	28
4.3.1 La piézométrie dans la Mitidja.....	30
5. Cadre géomorphologique .....	31
5.1 Morphologie de la baie :.....	31
5.2 Morphologie de sahel .....	31
5.3 Morphologie de la plaine de la Mitidja .....	31
6. Cadre Climatologique .....	32
6.1. La Pluviométrie .....	33
6.1.1. Variation des moyennes mensuelles des précipitations (1990-2019) .....	34
6.2. Température .....	36
6.3. Le vent.....	36
6.4. Le couvert végétal .....	36
7. Conclusion.....	36

### 1. Introduction

La plaine de Mitidja est une ressource vitale pour la région de sahel d'Alger, car elle constitue une ressource en eau sous terrain considérable (l'aquifère de sahel le plus grand aquifère côtière en nord Algérie) qui est réserver principalement pour la consommation humaine. Sa grande importance découle de sa position géographique stratégique et qui bénéficie d'un climat méditerranéen favorable à l'agriculture.

La plaine de la Mitidja doit sa richesse à plusieurs avantages qu'elle rassemble notamment : des sols riches (fertiles) et bien situés par rapport aux possibilités de mobilisation d'importants volumes d'eau.

Le niveau piézométrique dans la nappe de sahel marque une baisse alarmante entre 1990 et le début des années 2000, dans la Mitidja-est, on enregistre une chute maximale de 18,6 m en période de basses eaux et de 15,9 m durant les hautes eaux selon les données de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH, 2000).

### 2. Cadre géographique

La plaine de Mitidja est sur une orientation OSO/ENE, son étendue longitudinale dépasse 120 km ayant une largeur maximum de 20 km.

La plaine est légèrement basculée dans une direction septentrionale, situé au pied des montagnes atlasiques (Les montagnes blidéennes atteignent environs 1600 m) ont une altitude moyenne d'environ 260 m, la superficie totale de la plaine est de 130 000 hectares (ha).

La région d'étude est limitée à l'Est par l'oued Boudouaou, à l'ouest par l'oued Nador tandis que ses deux principaux flancs sont bordés par deux reliefs élevés : les collines du Sahel algérois au nord et l'Atlas blidéen au sud, la plaine de Mitidja est située au nord centre algérien et elle est située entre Longitudes  $2^{\circ}32'00$  à  $3^{\circ}19'00$  et Latitudes  $36^{\circ}25'17$  à  $36^{\circ}47'40$  (**Figure 2.1**).



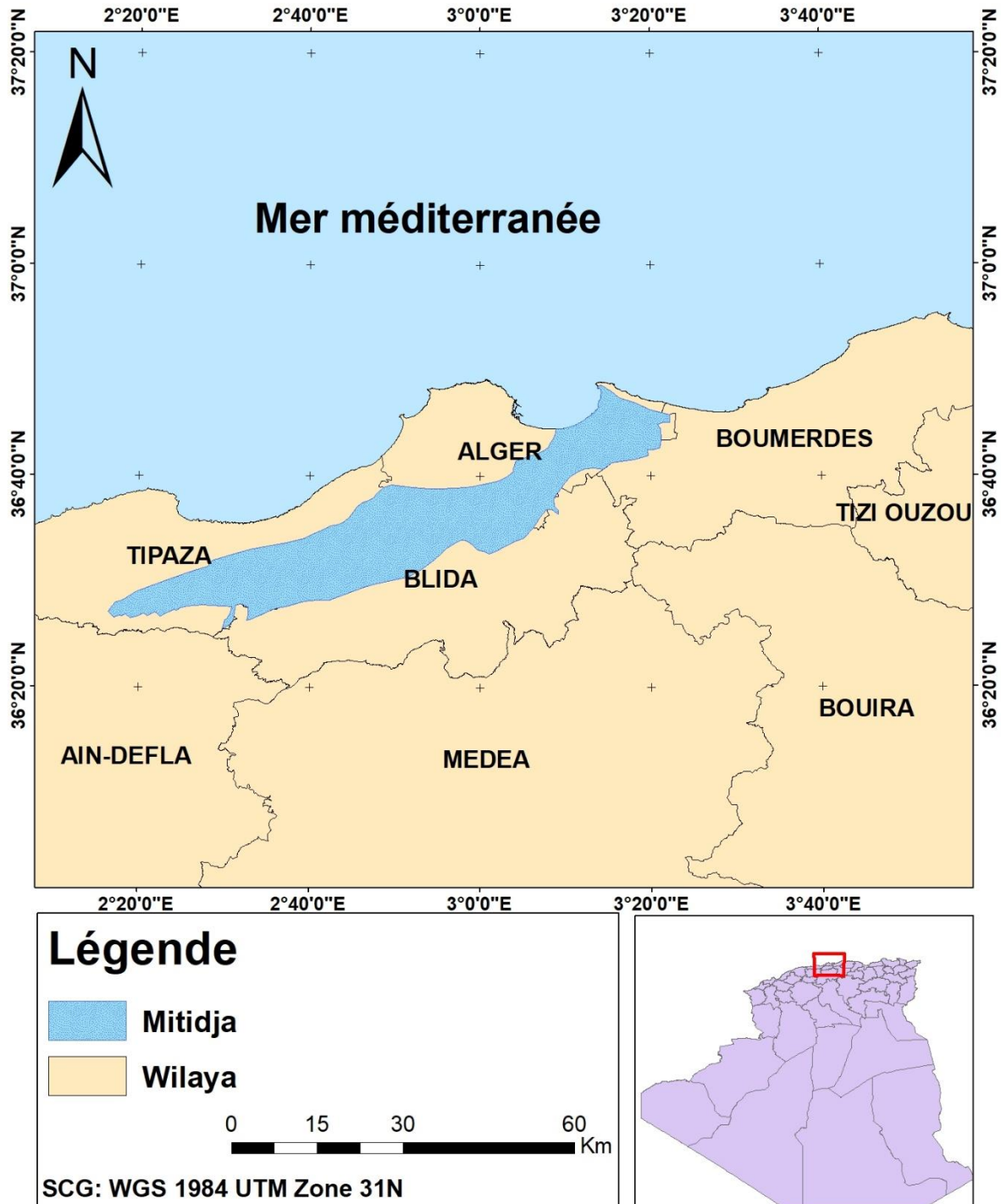


Figure 2.1 : Carte géographique représente la Mitidja réaliser par Arc gis

### 3. Cadre géologique

La Géologie de la Mitidja a fait l'objet de plusieurs études fondées sur les travaux majeurs de Glangeaud et Aymé en 1952 qui avaient établi que la Mitidja était un bassin intra montagneux formé par effondrement rempli de dépôts d'âge plio-quadernaire (**Figure 2.2**). (**Annex 1**)

La succession lithologique rencontrée dans la plaine de la Mitidja se présente comme suit :

#### 3.1 Le Quaternaire

La formation de la Mitidja est constituée essentiellement de matériaux alluvionnaires sable, argiles sableuses, argiles graveleuses, graviers, galets, graviers et galets gréseux souvent argileux ou limoneux. Celle-ci est présente sur toute l'étendue de la plaine à l'exception de la partie occidentale où ces alluvions sont recouvertes par les marnes et argiles de la basse plaine du Mazafran et de Halloula.

##### 3.1.1 Les formations du Mazafran et de Halloula

Ces deux formations contenues dans la plaine sont séparées par les Oued Djer et Bou Roumi. À l'Ouest de l'Oued Djer, dans l'ancien lac Halloula, les dépôts sont limoneux et argileux de couleur généralement noire ou grise, et sont probablement des vases et/ou des argiles organiques, riches en matière organiques. Leur épaisseur est de 10m en moyenne. À l'Est de l'oued Djer, les limons de la formation du Mazafran se localisent le long de la cluse de l'Oued Mazafran. (H.Zinet, 2020) (**Figure 2.2**). (**Annex 1**)

##### 3.1.2 Les dépôts récents

Recouvrent une partie relativement peu importante du remplissage de la plaine de la Mitidja. Ils comprennent les formations suivantes :

- Dépôts de sables dunaires
- Dépôts de lits des oueds actuels
- Dépôts de piémont de l'atlas

Leur mise en place constitue une partie relativement peu importante par rapport aux dépôts du Mazafran, Halloula et du remplissage de la Mitidja.

Au niveau de la baie d'Alger et de la région de Réghaia, ils sont représentés par des sables dunaires, au niveau du piémont de l'Atlas, on trouve de gros éléments anguleux dans une matrice de limons argileux provenant des cônes de déjections. Ils sont également localisés dans les lits d'oueds et se composent de sables fins gris et de graviers (**Figure2.2**). (**Annex 1**)

### 3.1.3 La formation d'El Harrach

C'est une formation connue sous le nom « formation de Maison Carrée », constitue une séquence relativement uniforme (dénommée par L. Glangeaud et Aymé année 1952) constituée par des argiles plastiques jaunâtres dont la base est grise. On y rencontre des niveaux lenticulaires de graviers, de sables et de lits tourbeux de 2 à 6 mètres d'épaisseur. En raison de la présence de gravier, cette formation a été confondue avec les formations alluviales sus-jacentes qui sont essentiellement caillouteuses, elle affleure dans les régions suivantes : El Harrach, le long du versant sud du Sahel et à l'ouest de Hadjout.

La formation d'El Harrach atteint son épaisseur maximale de 200m dans la partie occidentale du bassin, tandis que l'érosion a fait disparaître cette dernière dans le secteur Est. (Ait-ouali, 21/01/2007)

### 3.2 Formations géologiques plus anciennes :

Ces formations plus anciennes comprennent deux types de roches distincts :

#### 3.2.1 Le Miocène et roches plus anciennes

Ces formations sont présentes sous le bassin de la Mitidja dans le cœur de l'anticlinal du Sahel et affleurent par endroits dans l'Atlas, sur la bordure Sud du bassin.

- ❖ Les formations les plus anciennes : Elles sont constituées par les roches éruptives du tertiaire (rhyolites et andésites) sont visibles sur le pourtour Sud West de la Mitidja.
- ❖ Le Miocène : Affleure le long de l'Atlas entre Meftah et Khemis El Khechna, et à l'Est de Oued Réghaia. Il est représenté par des marnes de 50 m d'épaisseur du contenant des lentilles de calcaires, et aussi des lentilles de grès d'épaisseur variable de Burdigalien.

### 3.2.2 Le Pliocène

Il est formé par des dépôts astiens et plaines anciens bien distincts. Il est bien développé à l'Est de Koléa, à la limite (Sahel Mitidja) et apparaît très peu sur la bordure Sud près de Hadjout. Sur cette bordure méridionale le Pliocène est masqué par les formations quaternaires qui viennent recouvrir les formations du pliocène. Le Pliocène est subdivisé en:

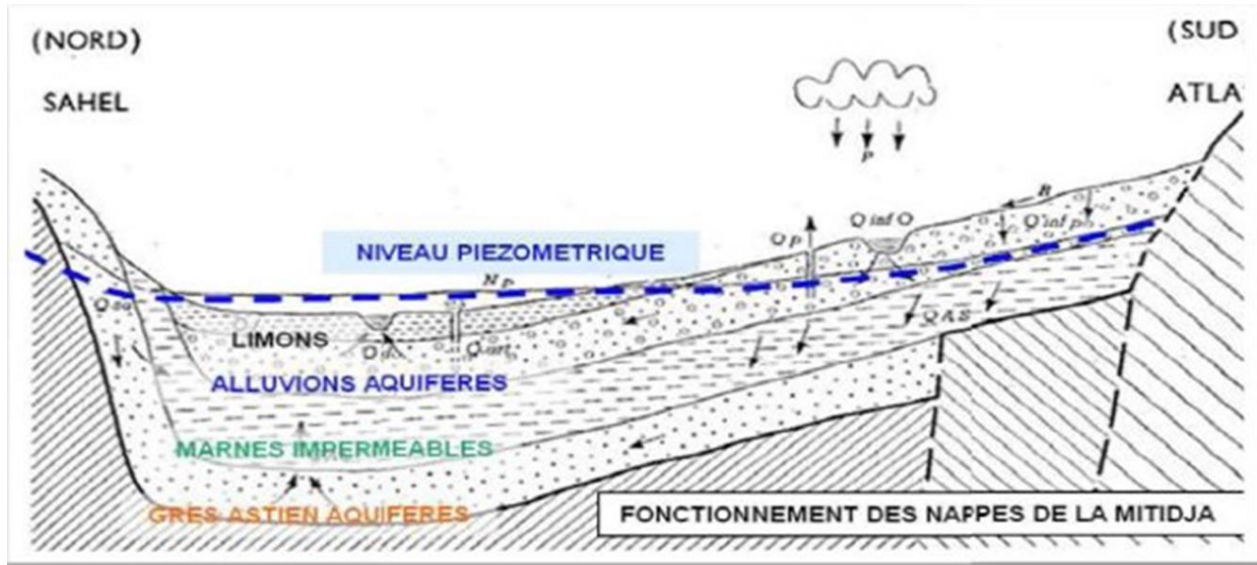
- **L'Astien**

L'Astien montre une lithologie variée composée de calcaires ou de calcaires sableux, grés, argiles calcaires de couleur jaune et des calcaires à faciès récifal ou subrécifal (H.Zinet, 2020). L'épaisseur moyenne de cette série est située entre 100 et 130 m. La formation de L'Astien est bien développée sur le côté Sud de la Mitidja. Elle se trouve à des profondeurs allant de 250 à 300 m. On la rencontre particulièrement à l'est de Rouïba à de faibles profondeurs.

- **Le Plaisancien**

Il est constitué de marnes qui forment l'essentiel du bourrelet sahélien et une partie du remplissage de la Mitidja, et localement de bancs de grés faiblement glauconieux. Les affleurements du Plaisancien sont visibles sur le Sahel en dessous de l'Astien et dans la région de Khemis-El-Khechna où ils viennent reposer en discordance sur les formations miocènes. (H.Zinet, 2020) (**Figure 2.2**). (**Annex 1**)

## Chapitre 2 : Description de la zone d'étude



**Figure 2.2 :** Schéma représente une Coup vertical de l'aquifère de Sahel

Système		Étage	Lithologie	Épaisseur
Quaternaire	Holocène	Actuel		20m
	Pléistocène	Flandrien	Limon Argile	30m
		Rharbien	Sables consolidés	30m
		SoltanoTensifien	Alternance d'argile et de gravier (formation de la Mitidja)	150m
	Calabrien villafranchien	Argile et cailloutis (formation d'El herache) 2em substratum	100m	
Tertiaire	Pliocène	Astien	Calcaire gréseux marne jeune, sable	100m
		Plaisancien	Marne a argile 1er substratum	200m

	Miocène		Marne a lentilles de calcaire	50m
		Burdigalien	Marne a lentilles de grès	

*Tableau 1 : Litho stratigraphie Synthétique de la Mitidja-est (Fouad, 2023)*

### 4. Cadre Hydrologique

#### 4.1. Cadre Hydrogéologie

L'hydrogéologie et les ressources en eaux souterraines de la plaine de la Mitidja caractériser par deux aquifères (astien et quaternaire) sont séparés par un complexe argilo-marneux formation d'El-Harrach) d'épaisseur très variable suivant les endroits. L'aquifère quaternaire développé dans le centre du bassin est constitué d'alluvions grossières. L'épaisseur varie de 100 m à 200 m au centre du bassin, pour décroître vers le Sud et la Baie d'Alger.

L'Astien se limite à une gouttière synclinale au nord du bassin où l'épaisseur peut atteindre 150 m avec une diminution vers le sud passant à un faciès argileux. Entre les deux aquifères, il existe une formation semi-perméable dont l'épaisseur est de 100 m au centre du bassin et diminue vers le sud (Atkins, 1983).

Dans certaines parties du bassin de la Mitidja, comme par exemple à l'extrémité orientale de la Mitidja (Rouiba-Réghaïa), les deux aquifères peuvent être en communication hydraulique directe. L'alimentation se fait essentiellement par les précipitations et l'Astien.

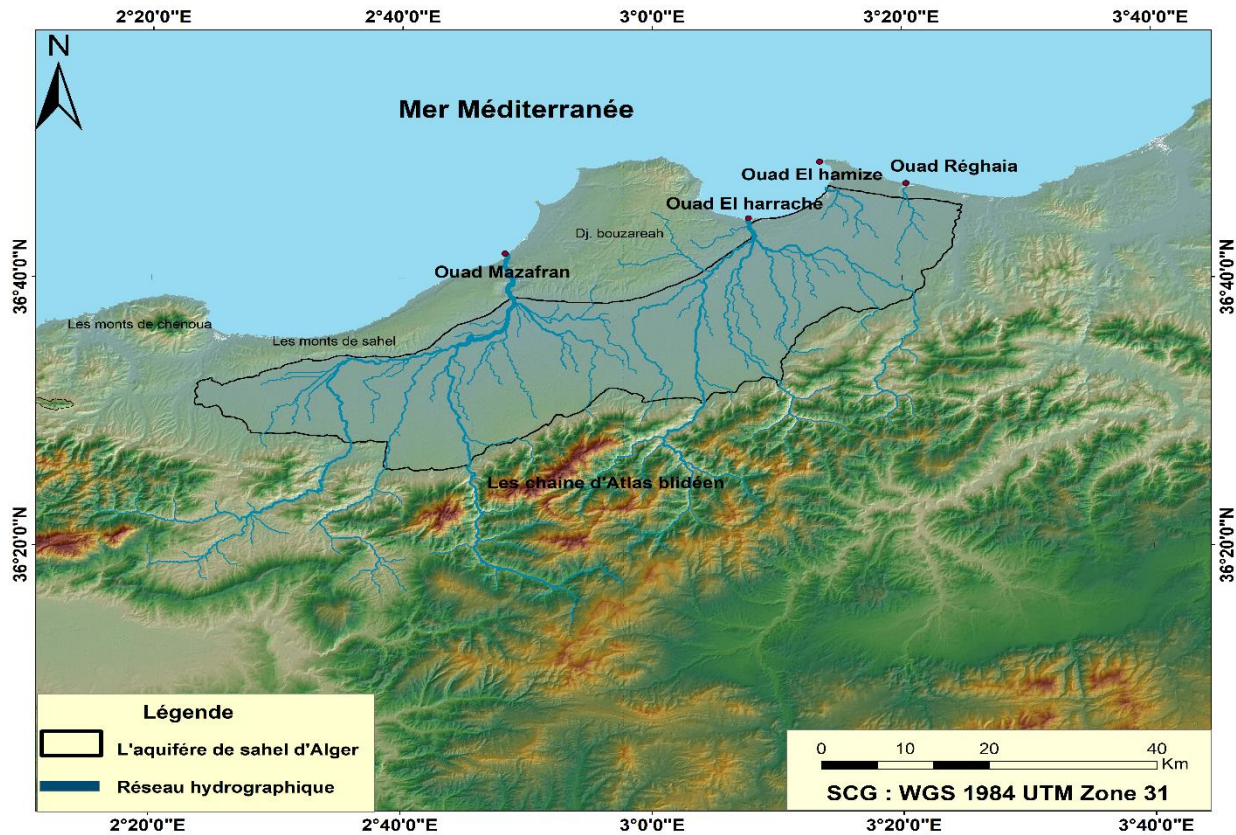
L'exutoire principal est constitué par un système hydrographique d'oued El-Harrach et Hamiz qui drainent les affleurements des alluvions. La nappe s'écoule également en mer et dans l'Astien par infiltration à proximité de la bordure sud (Atlas Blidéen). Les zones les plus favorables à forte transmissivité sont situées dans les secteurs de Baraki et Rouïba. La drainance de l'astien est évaluée à  $1,03 \cdot 10^{-7}$  m/s par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) à Alger.

#### 4.2. Cadre Hydrographie

La plaine de la Mitidja est traversée par six importants oueds qui assurent le drainage des bassins versants montagneux de la chaîne de l'Atlas. Nous rencontrons d'Est en Ouest les oueds :

## Chapitre 2 : Description de la zone d'étude

Hamiz, Djemaa, El Harrach, Chiffa, Bouroumi, Djer. En aval de la plaine de la Mitidja, l'oued Bouroumi et l'oued Chiffa confluent pour former l'oued Mazafran. L'oued Harrach rencontre l'oued Djemaa dans les environs de Baba Ali. A l'Est de l'oued Hamiz, s'écoule l'oued Reghaia qui est considéré comme secondaire. Les oueds mentionnés ci-dessus sont en grande partie en liaison hydraulique avec la nappe de la Mitidja puisque leurs eaux peuvent s'infiltrer ou inversement drainer la nappe. La plaine est divisée en quatre bassins fluviaux : celui de l'oued Nador, de l'oued Mazafran, de l'oued Harrach et du Hamiz (A.Samadi, 2021) (**Figure 2.3**).



**Figure 2.3** : Carte hydrologique de la Mitidja

### 4.3 La Piézométrie

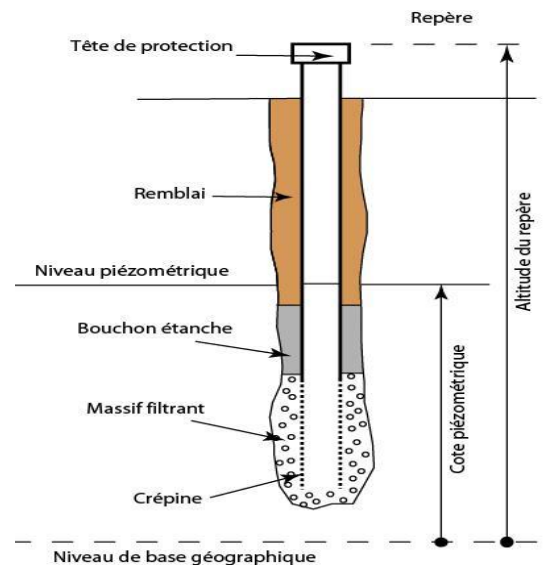
La piézométrie, aussi appelée le niveau piézométrique, c'est le niveau que l'eau souterraine atteint dans un puits par rapport au niveau moyenne de la mer, si le niveau piézométrique de l'aquifère régional est connu en tous points d'un territoire, la surface imaginaire qui relierait tous les niveaux mesurés s'appellerait la surface piézométrique.

Pour représenter la surface piézométrique sur une carte, des lignes sont tracées entre différents points de même niveau piézométrique (appelées isopièzes ou courbes piézométriques), comme sur une carte topographique.

L'écoulement de l'eau souterraine s'effectue des points de piézométrie élevée aux points de piézométrie plus basse. (**Figure 2.4 et 2.5**).



**Figure 2.5** : Photo représente un piézomètre



**Figure 2.4** : Schéma représente une coupe piézométrique.

La piézométrie est mesurée par une sonde multi paramètre, les paramètres mesurés peuvent varier en fonction du modèle de sonde et de son utilisation spécifique. Cependant, les paramètres courants mesurés par ces sondes incluent la température, le pH, la conductivité électrique, la



## Chapitre 2 : Description de la zone d'étude

---

turbidité, l'oxygène dissous, et parfois des paramètres supplémentaires comme la salinité ou la pression et la profondeur.

Dans le cas de l'intrusion marine la conductivité électrique est considérée comme l'un des indicateurs qui permet d'évaluer globalement la teneur d'eau en sel dissous et permet donc une bonne appréciation des matières en solution. Pour l'eau potable, les valeurs élevées de la conductivité sont mauvaises pour la consommation, l'Agence National des Ressource Hydraulique (ANRH) a fixé 2000 *m* S/cm comme valeur limite de la conductivité admissible dans l'eau de boisson.

Ces mesures on les faisant dans deux saisons différentes, en avril à la fin de la saison hivernal enregistrent généralement des précipitations plus importantes (l'aquifère est plein), l'autre en

septembre à la fin de la saison estival souvent des périodes de sécheresse ce qui peut avoir des conséquences sur et la disponibilité en eau dans l'aquifère.

### 4.3.1 La piézométrie dans la Mitidja

D'après les recherches de l'ANRH sur cette zone, ils ont estimé que le niveau piézométrie diminué en s'éloignons de la cote ce qui rend la zone se forme d'un entonnoir et son exutoire se jette vers le champ captant d'El Hamise (**Figure 2.6**).

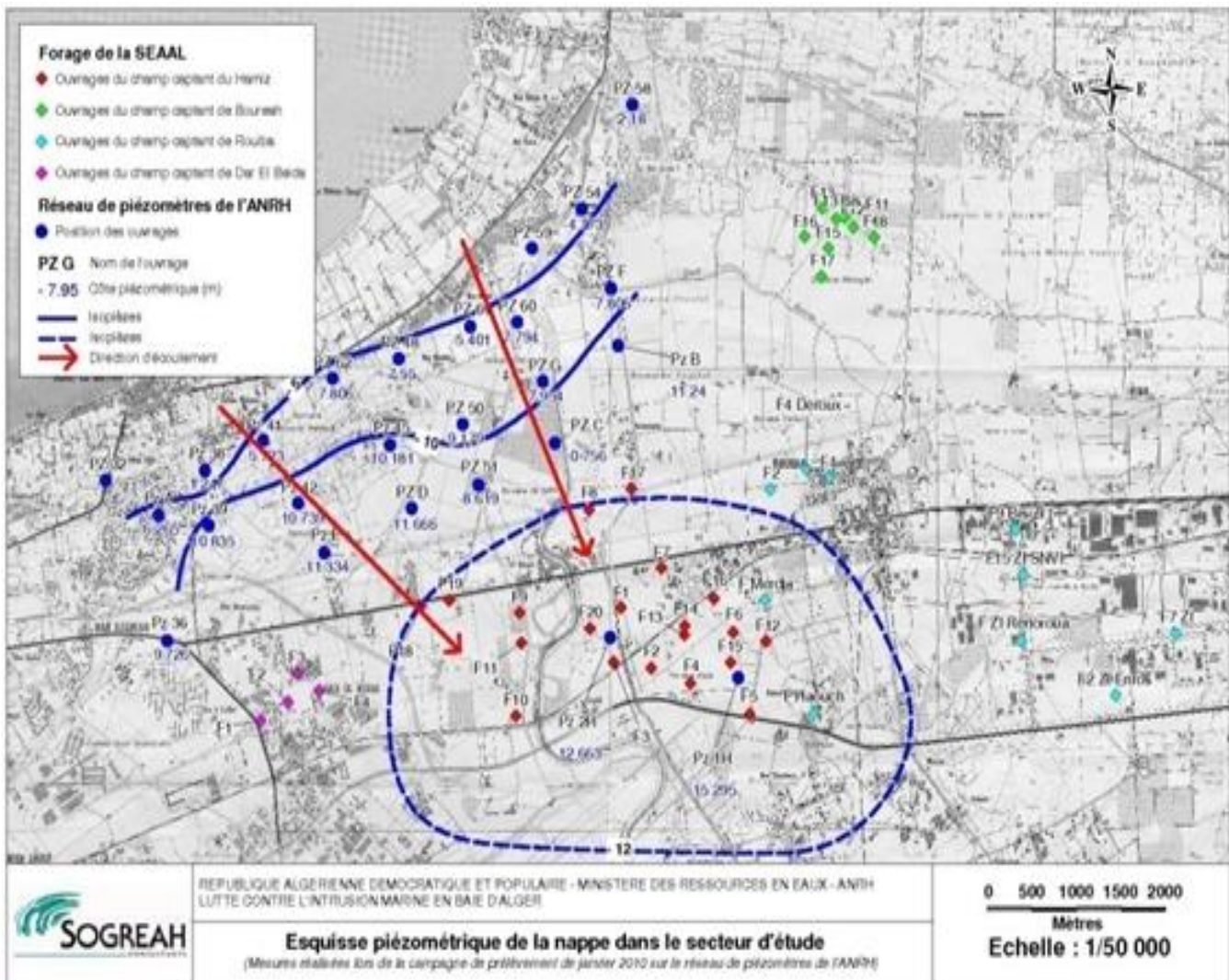


Figure 2.6 : Carte d'évolution piézométrique de la Mitidja Est

### 5. Cadre géomorphologique

Les reliefs de la région d'étude se caractérisent par trois zones longitudinales qui sont le littoral (la baie d'Alger), le sahel et la plaine de la Mitidja (**Figure 2.7**).

#### 5.1 Morphologie de la baie :

La baie d'Alger présente une forme semi-circulaire, avec une ouverture vers la mer Méditerranée. Elle est constituée par une ancienne terrasse étroite et faible et représente des pentes inférieures à 12% et une inclination généralement orientée vers le nord. Sa géomorphologie est influencée par des formations géologiques anciennes, notamment des sédiments déposés lors de l'orogénèse alpine (accumulation et dépôts des sédiments création des nouvelles plages d'une coter et érosion et perte des sédiments d'autre coter).

#### 5.2 Morphologie de sahel

En forme de sommets plats, elle constitue une région de colline aux formes douces d'altitudes variables, généralement de 200m) à l'Ouest de la baie d'Alger.

#### 5.3 Morphologie de la plaine de la Mitidja

La plaine de la Mitidja est constituée d'alluvions formant des sols de bonne fertilité, de forme allongée elle s'étend d'Est vers Ouest sur environ de 100km d'une altitude moyenne de 50m sur une superficie de 1450km<sup>2</sup>.

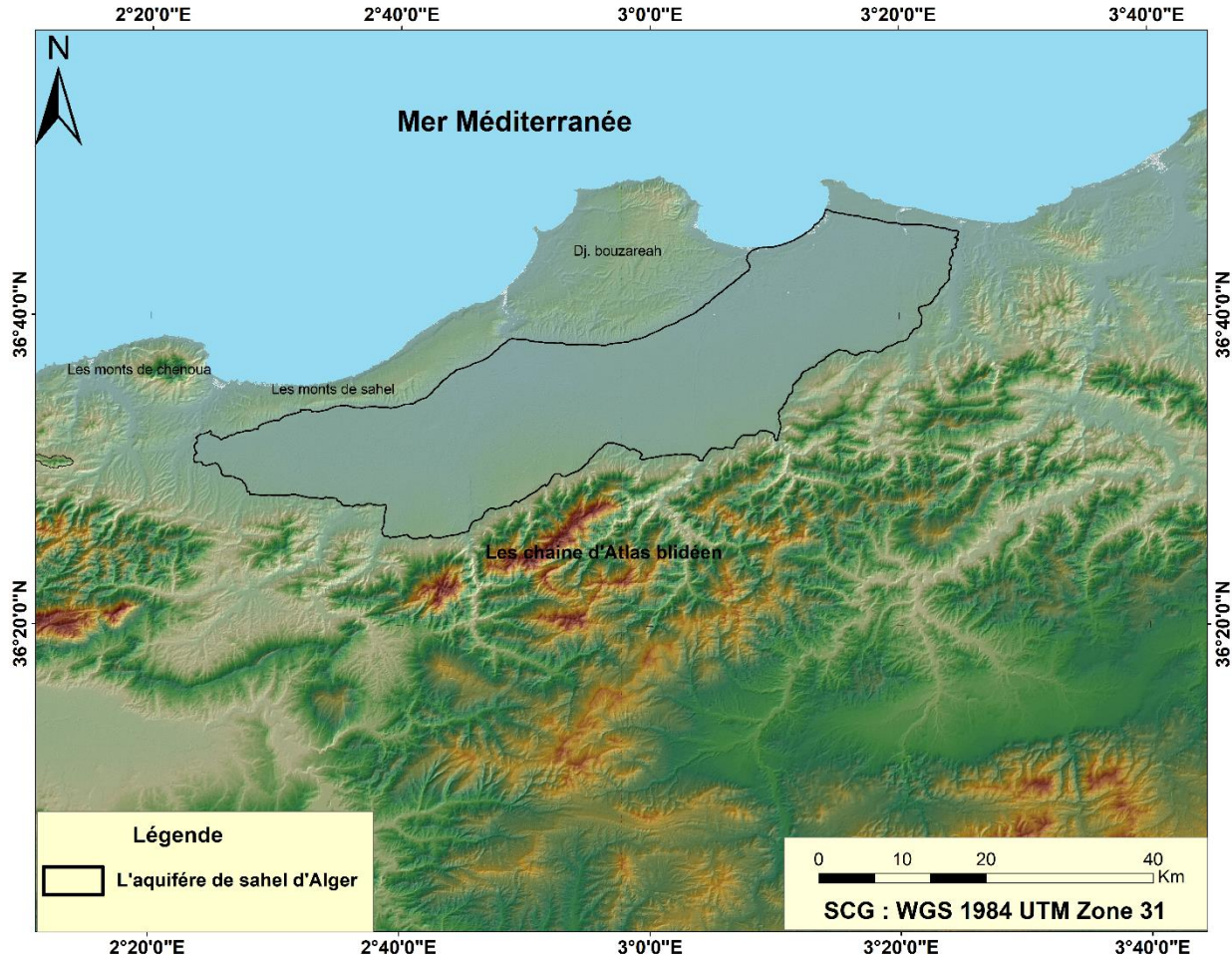


Figure 2.7 : Carte géomorphologique de la Mitidja

## 6. Cadre Climatologique

La Mitidja jouit d'un climat maritime de type méditerranéen modéré, il est d'amplitude thermique faible avec un peu de gelée, Les deux contraintes climatiques sont constituées par les vents d'Ouest dominants, caractérisant l'ensemble des plaines côtières, avec des hivers humides et pluvieux et des étés relativement chauds et secs, elle présente des divers reliefs et végétation. (S.Leghlam, 2021).

### 6.1. La Pluviométrie

La plaine de la Mitidja compte plusieurs postes d'observations pluviométriques, leur période de fonctionnement varie selon les régions, on y trouve souvent des interruptions de plusieurs mois.

Les données pluviométriques sont recueillies au niveau de 12 stations réparties de façon plus ou moins homogène sur l'ensemble des sous bassins versants de la plaine. (Tableau 1) L'analyse pluviométrique de la zone d'étude est effectuée sur les mesures des précipitations enregistrées sur la période 33 ans (1971-2004) au niveau de 12 stations couvrant la zone d'étude. (**Figure 2.8**) selon ANRH. (ouali, 2007).

**Tableau 2:** Caractéristiques générales des stations pluviométriques (source ANRH)

Station	Code	Longitude (DMS)	Latitude (DMS)	Z <sup>a</sup> (m)	Période d'observation
El Hamiz barrage	02-06-02	3°21'8.5966" E	36°36'18.5836" N	130	1905-2010
Dar El Beida	02-06-11	3°12'17.6700" E	36°42'54.7323" N	24	1958-2010
Réghaïa	02-06-32	3°20'42.3653" E	36°44'20.6265" N	20	1980-2010
Boumedfaa	02-10-17	2°28'31.3792" E	36°22'15.5293" N	270	1968-2009
El Hamdania	02-11-15	2°45'58.7559" E	36°21'48.6315" N	400	1968-2009
Boufarik pépinière	02-12-09	2°54'18.2640" E	36°34'14.4868" N	60	1951-2008
La Passerelle	02-13-07	3°0'39.0115" E	36°28'5.3382" N	260	1977-2009
Larbâa	02-14-03	3°9'27.4165" E	36°33'57.3908" N	100	1951-2010

<sup>a</sup>Altitude

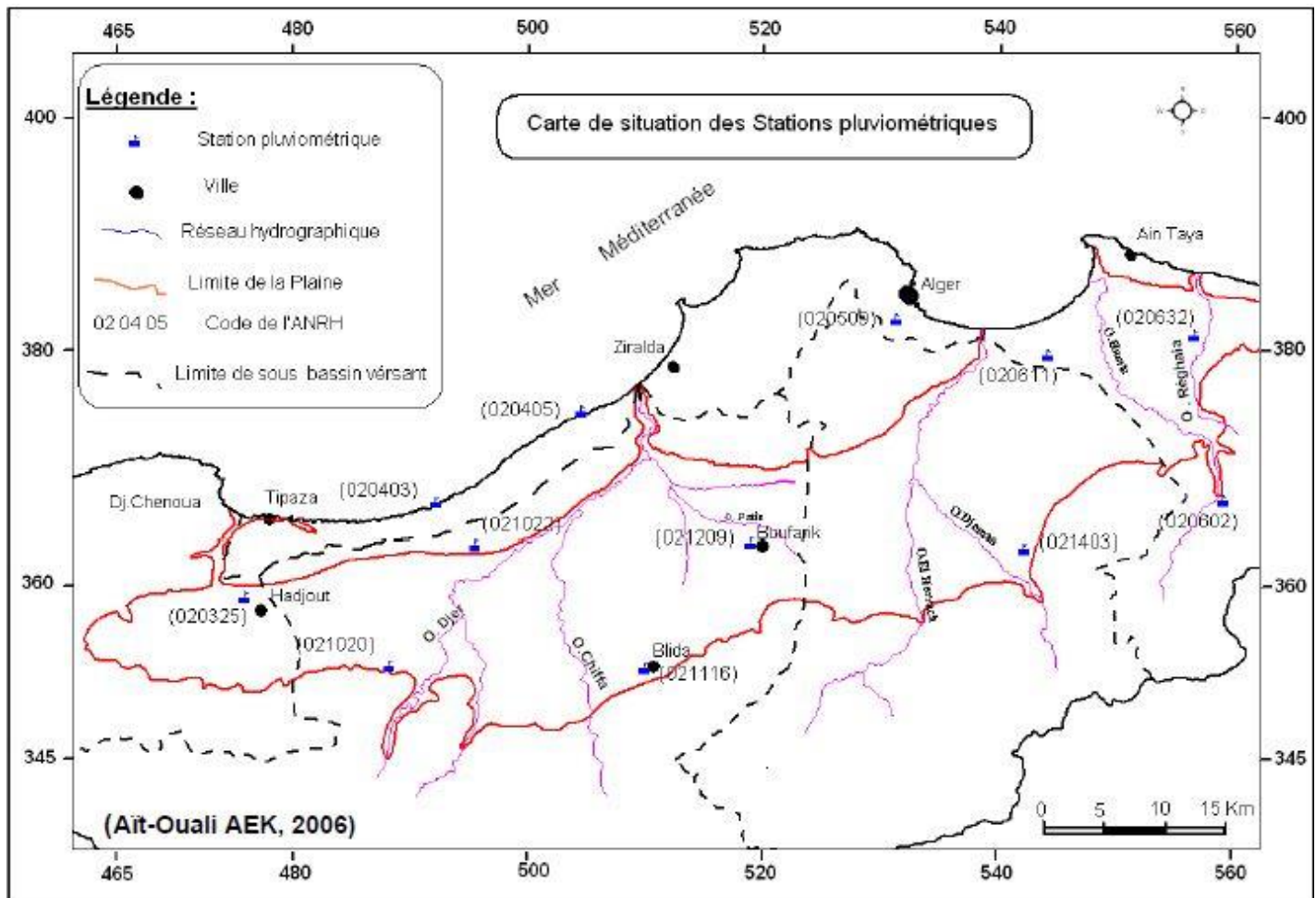


Figure 2.8 : Carte de situation des stations pluviométriques.

### 6.1.1. Variation des moyennes mensuelles des précipitations (1990-2019)

La variation des précipitations est présentée dans la **figure 2.9** et **figure 2.10**.

Figure 2.9 : Précipitations moyennes mensuelles (1990-2019). (Article Asklu Fouad)

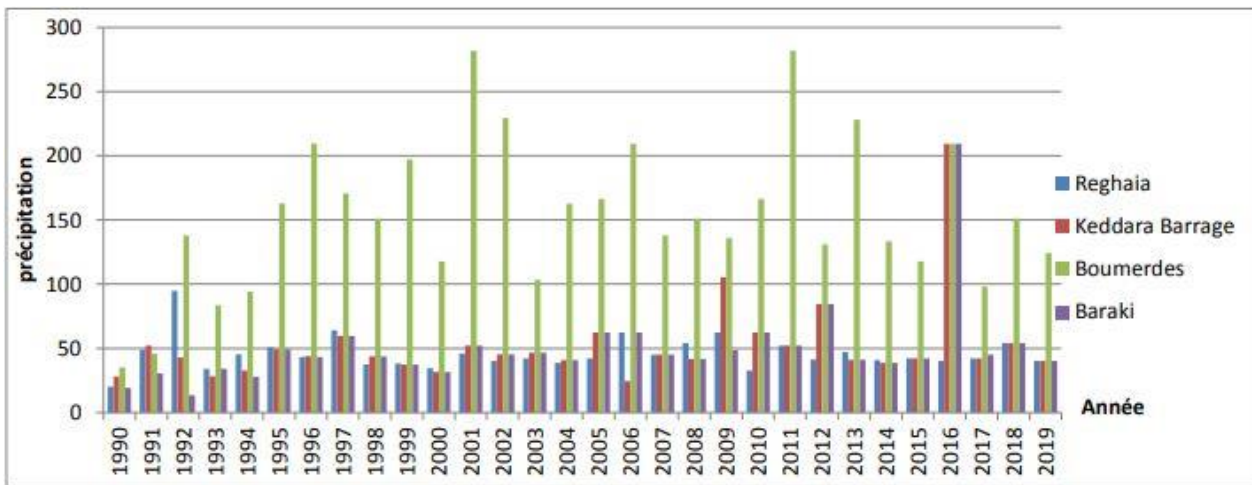
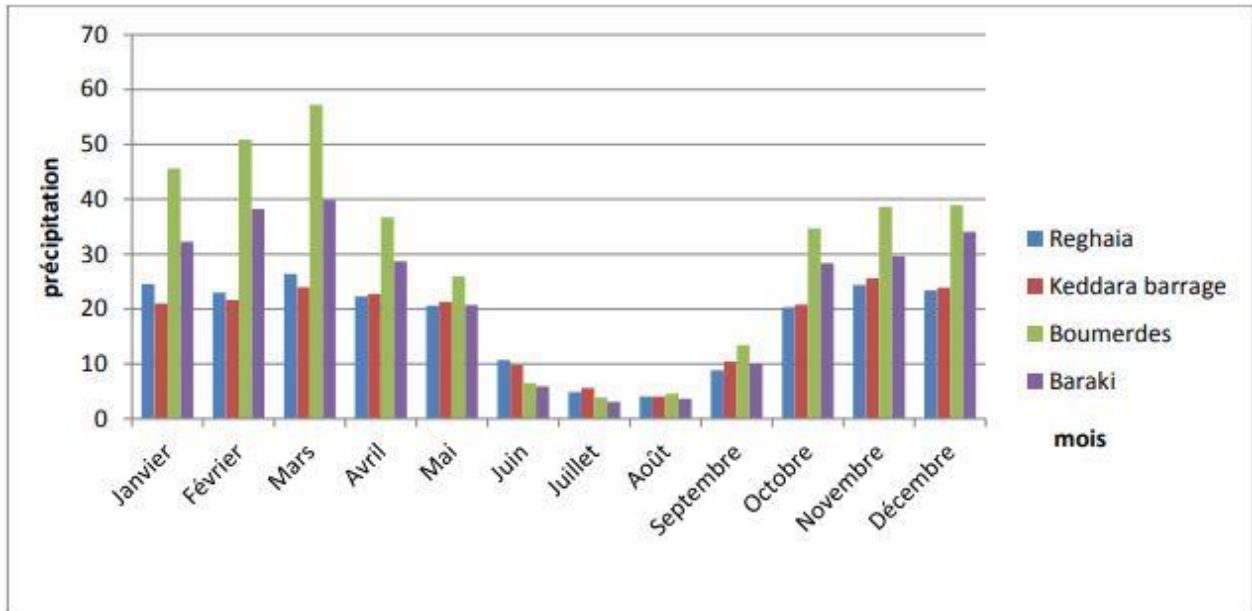


Figure 2.10 : Variation des précipitations moyennes annuelles (1990-2019)

### 6.2. Température

La température moyenne annuelle varie entre 17 °C en hiver et 31 °C en été, montrant ainsi une amplitude thermique saisonnière significative. De même, les températures minimales moyennes évoluent de 6 °C en hiver à 18 °C en été. Ces variations de température entre les saisons sont caractéristiques du climat méditerranéen, où l'alternance entre les saisons est bien marquée.

Les précipitations pluviales varient entre 670 à 800 mm/an avec un dépassement de 100 mm/an pour les mois de Novembre, Décembre et Janvier. (Intérieur.gov.dz).

### 6.3. Le vent

Le vent peut influencer le climat local, par exemple le "Mistral" est un vent froid et sec qui souffle du Nord vers le Sud en direction de la mer Méditerranée. Le "Sirocco", quant à lui, est un vent chaud et sec qui vient du désert du Sahara et peut provoquer des tempêtes de sable et des périodes de chaleur intense.

### 6.4. Le couvert végétal

Le climat méditerranéen dans la zone de Sahel favorise la végétation de type maquis et garrigue, caractérisée par des buissons et des arbustes résistants à la sécheresse. Les forêts de chênes verts et de pins sont également courantes dans certaines régions.

Le patrimoine forestier occupe une superficie de 5 000 hectares répartie sur 113 sites dont une grande diversité des végétaux et des plusieurs espèces animales.

## 7. Conclusion

Les multiples caractéristiques de la zone de sahel, l'emplacement géographiques, et les critères géologiques et hydrogéologiques, et géomorphologiques et enfin climatiques, en font de cette zone un espace unique et particulier à étudier afin de déterminer les principales raisons de phénomène de l'intrusion marine.



## *Chapitre III*

# *Données et Méthodes*

## Table des matières

1.Introduction .....	39
1.C'est quoi la Méthode GALDIT .....	39
2. Description des paramètres de la méthode GALDIT : .....	40
2.1. Type d'aquifère (G) : .....	40
2.2 La conductivité hydraulique de l'aquifère (A) : .....	40
2.3 L'altitude de la nappe par rapport au niveau de la mer(L) .....	41
2.4 La distance par rapport au rivage(D) : .....	41
2.5 L'impact de l'intrusion saline présente dans la zone (I) : .....	42
2.6 L'épaisseur de la nappe phréatique ou l'épaisseur saturée d'un aquifère(T) : .....	43
3.Comment utiliser la méthode GALDIT .....	44
3.1 Le poids (Pondération) : .....	44
3.2 Rang (ou Notation) .....	44
3.3 Classification .....	44
3.4 Indice GALDIT .....	44
4. Application de la méthode GALDIT .....	47
4.1. Le type d'aquifère (G) .....	47
4.2 la conductivité hydraulique de l'aquifère (A) .....	47
4.3. Altitude de la nappe(L) .....	48
4.4. Distance de la côte (D) .....	52
4.5. L'impact de l'intrusion saline (I) .....	52
4.6. L'épaisseur de la nappe (T) .....	53
5. L'utilisation de logiciel ArcGIS .....	53
5.1 Le géoreferencement .....	53
5.2 les étapes suivis pour la réalisation des paramètres GALDDIT .....	54
5.2.4. Indice GALDIT .....	54
6. Conclusion .....	54

### 1.Introduction

L'intrusion marine menace la nappe du Sahel d'Alger (le plus grand aquifère côtiers en Algérie du Nord) qui devient vulnérable, et qui touche beaucoup plus la zone Nord Est de l'aquifère, pour étudier ce phénomène dans cette zone, un stage pratique a été effectuer au niveau de l'Agence national des ressource hydriques (ANRH), afin de collecter les données nécessaires et de base pour réaliser ce travail.

Il y a plusieurs méthodes connus pour étudier l'intrusion marine et dans notre cas d'étude on va travailler avec la méthode GALDIT et l'outil de cartographie utiliser c'est le logiciel d'ArcGIS.

### 1.C'est quoi la Méthode GALDIT

La méthode \*GALDIT\* a été développée pour la première fois en Inde (1998\_2002) lors d'un projet d'enquête et d'études des impacts de l'élévation du niveau de la mer sur l'étendue d'inondation de surface le long de la côte Goa (Goa des étendues côtières en inde) et l'intrusion de l'eau de mer dans les aquifères côtiers en nord de Goa (Chachadi & Lobo Ferreira, 2001).

La méthode GALDIT constitue une approche spécifique dédiée à la cartographie de la vulnérabilité des aquifères côtiers face au risque d'intrusion saline. Son développement initial a été réalisé par Chachadi et Lobo-Ferreira en 2001. Depuis, cette méthode a été mise en œuvre dans plusieurs régions côtières, notamment dans la région de Goa en Inde et d'Algarve au Portugal ( (Michaud, .2003)) et dont l'objectif était de déterminer la vulnérabilité des aquifères côtiers à l'intrusion marine.

Cette méthode se base sur les caractéristiques hydrogéologiques , morphologiques (distance à la côte), hydrodynamiques (Transmissivité) et hydro chimiques (impact des intrusions marines) Le principe de cette méthode s'articule autour de six paramètres : présence d'eau souterraine (G), conductivité hydraulique de l'aquifère (A), hauteur de la nappe phréatique au-dessus du niveau de la mer (L), distance par rapport au rivage (D), L'impact de l'état actuel de l'intrusion d'eau de mer (I), et l'épaisseur de l'aquifère (T).

### **2. Description des paramètres de la méthode GALDIT :**

#### **2.1. Type d'aquifère (G) :**

Les aquifères, situés dans des strates géologiques variées, peuvent être de nature confinée (captives) ou libre (non confinée) ou bien semi-confinée par des limites géologiques. Chaque type d'aquifère présente des caractéristiques distinctes qui influencent leur sensibilité à l'intrusion d'eau de mer.

Parmi les différentes catégories d'aquifères, les aquifères libre se distinguent par l'absence d'une couche imperméable les recouvrant. Cette particularité les rend plus vulnérables par rapport aux aquifères confinés et semi-confinés, car ils sont directement exposés à la pression de l'eau de mer. Cependant, les aquifères libre ont également la capacité de libérer instantanément de l'eau dans les points de prélèvement lors du pompage. Ce phénomène entraîne la formation d'un cône de dépression autour du puits, favorisant ainsi le mouvement de l'eau de mer vers l'aquifère. (Saliha, 2014)

Dans ce contexte, il est primordial de mener une étude approfondie de la disposition et du type d'aquifère dans la zone d'étude pour mieux évaluer le risque d'intrusion marine. L'un des paramètres essentiels de la méthode GALDIT, appelé "G" pour le type de l'aquifère, permet justement de classer les aquifères en fonction de leur nature géologique

#### **2.2 La conductivité hydraulique de l'aquifère (A) :**

La conductivité hydraulique de l'aquifère est un paramètre essentiel utilisé pour évaluer l'écoulement de l'eau dans l'aquifère (la facilité du mouvement des matériaux). Elle représente le taux de courant d'eau dans la nappe aquifère et elle dépend de la communication de porosité effective dans les sédiments ou des fractures dans les roches consolidées. Ce paramètre joue un rôle déterminant dans le mouvement de l'eau de mer vers l'intérieur des terres, car il influence la vitesse d'intrusion de l'eau salée.

Une conductivité hydraulique plus élevée indique une meilleure capacité de l'aquifère à transmettre l'eau, ce qui rendrait l'intrusion d'eau de mer plus significative. En cas de pompage intensif, une conductivité élevée entraînerait également un cône de dépression plus large autour du puits. Cependant, il est important de noter que certaines barrières hydrauliques, telles que des couches d'argile ou des digues imperméables parallèles à la côte, peuvent agir comme des obstacles à l'intrusion d'eau de mer vers la nappe ( (Niazi, 2007)).

### 2.3 L'altitude de la nappe par rapport au niveau de la mer(L)

Cette caractéristique est définie comme l'écart ou bien la distance entre l'altitude de la nappe par rapport au niveau de la mer et elle joue un rôle crucial dans l'évaluation de la vulnérabilité des aquifères côtiers à l'intrusion saline.

En effet, l'altitude de la nappe permet de déterminer si celle-ci se trouve au-dessus ou en dessous du niveau moyen de la mer dans la zone d'étude. Lorsque la nappe est située au-dessus du niveau de la mer, elle est considérée comme non affectée par l'intrusion marine. En revanche, si la nappe est en dessous du niveau de la mer, elle devient vulnérable à l'intrusion d'eau de mer.

Ainsi que, la connaissance de l'altitude de la nappe par rapport au niveau de la mer est essentielle pour comprendre la dynamique de l'intrusion saline et permet aussi de cartographier les zones où la nappe phréatique présente des altitudes propices à l'intrusion saline, identifiant les zones potentiellement vulnérables (Saliha, 2014).

### 2.4 La distance par rapport au rivage(D) :

Généralement l'impact de l'intrusion d'eau de mer diminue à mesure que l'on s'éloigne du rivage vers l'intérieur des terres de manière perpendiculaire.

Dans le cadre de la méthode GALDIT, La distance par rapport au rivage est évaluée en fonction de trois distances : 500 m, 750 m et 1000 m, mesurées perpendiculairement à la ligne de côte et aux cours d'eau.

Pour cette évaluation, une échelle de notation allant de 2.5 à 10 est utilisée. Les valeurs maximales (10) sont attribuées aux points situés à moins de 500 m du rivage, indiquant une forte vulnérabilité à l'intrusion saline. En revanche, les valeurs minimales (2.5) sont assignées aux points situés à plus de 1000 m du rivage, suggérant une moindre susceptibilité à l'intrusion marine dans ces zones plus éloignées. Entre ces distances, les valeurs intermédiaires de 7.5 et 5 sont attribuées respectivement aux zones situées à une distance de 500 à 750 m et de 750 à 1000 m du rivage, cela indique un degré de vulnérabilité modéré à l'intrusion saline pour ces zones.

La prise en compte de ce paramètre permet de savoir l'influence de la distance par rapport au rivage sur le risque d'intrusion d'eau de mer dans les aquifères côtiers.

#### 2.5 L'impact de l'intrusion saline présente dans la zone (I) :

Chachadi et Labo-Ferreira (2001) ont proposé une approche méthodologique qui s'appuie sur l'analyse du rapport  $Cl^- / (HCO_3^- + CO_3^-)$  en conjonction avec d'autres paramètres pertinents tel que le rapport chlorures/conductivité électrique ou le delta ionique. L'objectif principal de cette approche est de fournir une évaluation approfondie de la vulnérabilité des aquifères côtiers, permettant ainsi une gestion durable et éclairée des ressources en eau souterraine dans les régions côtières (Satishkumar V., 2016).

Le rapport  $Cl^- / (HCO_3^- + CO_3^-)$  est déterminé à partir des données d'analyse chimique de l'eau souterraine, où des concentrations élevées de chlorure ( $Cl^-$ ) témoignent d'une intrusion significative d'eau de mer, tandis que des valeurs plus faibles suggèrent une intrusion marine moins prononcée. Ce rapport se révèle être un indicateur crucial pour quantifier l'ampleur de l'intrusion saline dans les nappes aquifères côtiers.

Le rapport de la concentration en chlorure et la conductivité électrique ( $Cl^-/Ce$ ) indique une intrusion marine : la valeur positive de  $\Delta C$  indique la possible d'existence d'une intrusion marine. Elle dépasse la valeur limite de 0,307.

Le delta ionique ( $\Delta C$ ) repose sur la comparaison entre la concentration de l'eau de mer et celle de l'eau souterraine de la nappe étudiée. Dans l'application, on utilise la composition chimique standard de l'eau de mer. En effet, une valeur positive de  $\Delta C$  indique le possible d'existence d'une intrusion marine (**Tableau 3.1**).

Elément Chimique	Concentrations en g/l	Concentrations en mg/l
Calcium	0,418	418
Magnésium	1,330	1330
Sodium	11,035	11035
Potassium	0,397	397
Chlorures	19,841	19841
Sulfates	2,769	2769
Bicarbonates	0,146	146

**Tableau 3.1** : Composition chimique standard de l'eau de mer (Rodier, 2009)

#### 2.6 L'épaisseur de la nappe phréatique ou l'épaisseur saturée d'un aquifère(T) :

Ce paramètre joue un rôle important dans l'évaluation de la vulnérabilité des aquifères côtiers à l'intrusion marine. L'épaisseur de la nappe aquifère est un indicateur essentiel pour l'estimation de la capacité de stockage d'eau, et la distance verticale sur laquelle l'eau douce peut être soutenue au-dessus de la ligne de contact avec l'eau de mer. Plus cette épaisseur est grande, plus l'aquifère a la capacité de stocker une quantité considérable d'eau douce.

Une nappe d'eau épaisse peut fournir une barrière protectrice contre l'intrusion d'eau de mer en maintenant une distance suffisante entre la surface de l'eau douce et la zone d'infiltration d'eau de mer. En revanche, une nappe d'eau mince ou peu profonde peut faciliter l'intrusion d'eau de mer, car la zone d'interface entre l'eau douce et l'eau salée peut être plus proche de la surface, augmentant ainsi le risque de contamination saline (Chachadi & Lobo Ferreira, 2001).

Les équations suivantes permettent de déterminer la longueur de l'extension d'un biseau salé (Chachadi A. , 2005) pour un aquifère captif(confiné) ou libre (non confiné) :

**\*Aquifère libre** :  $L = (K * B^2) / (2 * q * \delta)$  ..... (Pour  $L > B$ ) Avec :

- K : conductivité hydraulique de l'aquifère.
- B : épaisseur de la zone saturée de l'aquifère.
- $\delta = (\rho \text{ eau douce} / \rho \text{ eau de mer} - \rho \text{ eau douce}) = 4$  (où  $\rho \text{ eau}$  représente la densité de l'eau).

**\*Aquifère captif** :  $q = [(K * B^2) / (2 * L) * (1 + \delta) / \delta^2] - W * L / 2$  ..... Si  $W = 0$ , alors :

- $q = [(K * B^2) / (2 * L) * (1 + \delta) / \delta^2]$

Et la longueur d'extension (L) est donnée par :

- $L = (K * B^2) / (q^2) * 0.0257$ .

Avec :

- W : recharge naturelle de l'aquifère.

Il est important de noter que : les valeurs identiques de K (conductivité hydraulique) et B (épaisseur de la zone saturée) dans les deux équations, les longueurs calculées sont pratiquement identiques.

Ces équations sont essentielles pour évaluer la propagation du biseau salé dans l'aquifère en fonction de ses caractéristiques spécifiques et de la recharge naturelle. Lorsque la recharge est nulle, l'intrusion d'eau de mer devient prédominante.

### 3. Comment utiliser la méthode GALDIT

Dans la méthode GALDIT le principe d'attribution de la classe de vulnérabilité repose sur trois composantes principales :

#### 3.1 Le poids (Pondération) :

Chaque paramètre GALDIT se voit attribuer un poids qui reflète son importance relative dans le contexte de l'intrusion d'eau de mer. Ces poids varient de 1 pour une influence faible et 4 pour une influence significative. Les poids permettent de mettre en évidence les paramètres les plus critiques dans l'évaluation de la vulnérabilité.

#### 3.2 Rang (ou Notation)

Un rang est attribué à chaque paramètre en fonction de la valeur qu'il prend. Les valeurs de rang vont de 1 à 10, où une valeur plus élevée indique une vulnérabilité plus grande. Cette notation permet de quantifier la vulnérabilité de chaque paramètre individuellement.

#### 3.3 Classification

L'indice GALDIT, qui est utilisé pour déterminer la classe de vulnérabilité, est calculé comme une somme pondérée des notes de rang attribuées aux six paramètres.

#### 3.4 Indice GALDIT

L'indice GALDIT est basé sur les trois termes précédents :

- Les valeurs de **poids** variant entre 1 et 4.
- Les valeurs de **rang** variant entre 2,5 et 10.
- Les **classes** sont attribuées.

La formule utilisée pour le calcul de l'indice GALDIT est la suivante : (Dorfiger N, 2011).

Indice GALDIT (IG) = (G \* Pg) + (A \* Pa) + (L \* Pl) + (D \* Pd) + (I \* Pi) + (T \* Pt)

➡  $(1 * G + 3 * A + 4 * L + 4 * D + 1 * I + 2 * T) / 15$



Le résultat de l'indice GALDIT permet de classer chaque point d'étude en fonction de sa vulnérabilité à l'intrusion saline, allant du faible à élever. Cette classification est essentielle pour une prise de décision éclairée concernant la protection des aquifères côtiers (**Tableau 3. 2**)

Classe de vulnérabilité	Indice GALDIT
Vulnérabilité fort	$> 7,5$
Vulnérabilité moyenne	$5-7,5$
Vulnérabilité faible	$< 5$

**Tableau 3.2 :** Les classes de la vulnérabilité par l'indice GALDIT

L'échelle des risques dans la méthode GALDIT est établie en fonction de l'indice GALDIT calculé pour chaque point d'étude. Cet indice reflète la vulnérabilité de l'aquifère à l'intrusion d'eau de mer, en prenant en compte les six paramètres GALDIT (G, A, L, D, I, T) et leurs poids respectifs (Pg, Pa, Pl, Pd, Pi, Pt). L'échelle des risques est généralement divisée en plusieurs classes qui correspondent à différents niveaux de vulnérabilité L'attribution des classes se fait en fonction des plages de valeurs de l'indice GALDIT. Exemple :

- Indice GALDIT  $<$  seuil inférieur de la classe "Très Faible" donc Très Faible.
- Seuil inférieur de la classe "Très Faible"  $\leq$  Indice GALDIT  $<$  seuil inférieur de la classe "Faible" : Faible.
- Seuil inférieur de la classe "Faible"  $\leq$  Indice GALDIT  $<$  seuil inférieur de la classe "Modéré" : Modéré.
- Seuil inférieur de la classe "Modéré"  $\leq$  Indice GALDIT  $<$  seuil inférieur de la classe "Élevé" : Élevé.
- Seuil inférieur de la classe "Élevé"  $\leq$  Indice GALDIT  $<$  seuil inférieur de la classe "Très Élevé" : Très Élevé.
- Indice GALDIT  $\geq$  seuil inférieur de la classe "Très Élevé" : Très Élevé.

### Chapitre 3 : Données et Méthodes

Ces seuils sont définis en fonction du contexte spécifique de l'étude et peuvent varier en fonction des conditions locales et des objectifs de gestion. L'échelle des risques ainsi définie permet de communiquer efficacement la vulnérabilité de chaque point d'étude aux parties prenantes et de prendre des mesures adaptées pour la protection et la gestion durable des aquifères côtiers. (Tableau 3.3)

Paramètre	Poids	Rangs			
		Très faible	Faible	Moyen	Elevé
		2.5	5	7.5	10
Type d'aquifère	1	Barrière imperméable	Semi captif	Libre	Captif
Conductivité hydraulique (m/j)	3	<5	05 - 10	10 - 40	>40
Altitude du plan d'eau (m)	4	>2	1.5 - 2	1 - 1.5	<1
Distance par rapport à la côte (m)	4	>1000	750 - 1000	500 - 750	<500
L'impact de l'état de l'intrusion saline	1	<1	1 - 1.5	1.5 - 2	>2
Epaisseur de la nappe	2	<5	5 - 7.5	7.5 - 10	>10

**Tableau 3.3 :** Poids et rangs de la méthode de GALDIT (Chachadi et al, 2005)

## 4. Application de la méthode GALDIT

A l'aide de logiciel ArcGIS, la modélisation cartographique est appliquée à la zone d'étude en s'appuyant sur la méthode GALDIT. Cette approche permet de déterminer la vulnérabilité des eaux souterraines de la Mitidja-est au phénomène de l'intrusion marine.

La méthodologie appliquer est comme suit, on a utilisé Arc-Catalogue 10.4 pour les géoréférences et les traitements des cartes et Arc-Map pour les manipulations sur les cartes les données de base ont été présent au niveau de l'agence national des ressources hydriques (ANRH).

### 4.1. Le type d'aquifère (G)

Les formations géologiques qui composent un aquifère peuvent être classées en tant qu'aquifères confinés, non confinés ou semi-confinés. Dans le cas de la baie d'Alger, l'aquifère est considéré non confiné (libre). Dans ce contexte, le paramètre (G) de l'indice GALDIT est estimé à 7,5. Il est constant sur toute la zone d'étude. (Source ANRH)

### 4.2 la conductivité hydraulique de l'aquifère (A)

La conductivité hydraulique affecte la direction du mouvement de l'eau de mer vers les terres : une conductivité plus élevée entraînerait une intrusion plus notable de l'eau de mer.

Ce paramètre est employé pour évaluer la vitesse du flux d'eau à l'intérieur de la nappe aquifère, les données sont au système géographique de Lambert (source ANRH) (**Tableau 3.4 et tableau 3.5**)

Puits	X	Y	Niv Piéz	Cond	Prof
PZ 32	543550,00	382250,00	1,56	1,1	93
PZ 38	544750,00	382350,00	0,85	2	50
PZ 39	544900,00	381850,00	-11,03	1	66
PZ 41	545375,00	382750,00	-6,14	1,5	42
PZ 42	545900,00	382000,00	-11,02	1,9	68
PZ 45	546850,00	382600,00	-10,28	2	47
PZ 48	546900,00	383850,00	-7,70	7,5	55
PZ 50	547400,00	382800,00	-9,42	2,1	34
PZ 51	547800,00	382250,00	-7,58	1,9	48
PZ 54	548850,00	385050,00	-5,46	4,2	48
PZ 58	549450,00	386050,00	-0,40	14	45
PZ 60	548150,00	383900,00	-7,94	6,9	50
PZ 61	547650,00	383750,00	-5,45	7,5	61
PZ 62	546150,00	383250,00	-8,00	3,1	48
PZ A	544200,00	381850,00	-6,61	1	46

PZ B	549350,00	383600,00	-12,42	3,3	68
PZ C	548500,00	382550,00	-2,72	3,9	55
PZ D	547000,00	382000,00	-10,97	2,1	60
PZ E	546125,00	381450,00	-12,03	1,9	62
PZ F	549200,00	384250,00	-8,65	3	53
PZ G	548450,00	383300,00	-10,57	2	60

**Tableau 3.4:** les données de niveau piézométrique et de la conductivité. (Source ANRH)

### 4.3. Altitude de la nappe(L)

Lorsqu'il s'agit d'estimer le paramètre (L), il est essentiel de prendre en compte la variation temporelle à long terme des niveaux de la nappe dans la région. En général, les valeurs les plus significatives sont celles qui concernent les niveaux d'eau les plus bas, situés en dessous du niveau de la mer, car ils indiquent la plus grande vulnérabilité potentielle à l'intrusion de l'eau de mer.

Les catégories de notation (L) sont les suivantes : 10 pour les niveaux inférieurs à 1 mètre, 7,5 pour les niveaux de 1 à 1,5 mètres, 5 pour les niveaux de 1,5 à 2 mètres, et 2,5 pour les niveaux supérieurs à 2 mètres. (Source : Campagne de prélèvements et de profils de conductivités à différentes profondeurs baie d'Alger juillet 2007 by ANRH) (**Tableau 3.5**)

PZ N°	Profondeurs	Conductivités	Températures	Prélèvements	Observations
PZ B	Ns/rr /28.10				
	28.20 CR	1754	20.4	PE	22/07/2007
	30.00	1801	19.6		
	30.50	1821	19.6		
	31.50	1938	19.5		
	32.00	2110	19.5	PE	
	32.50	2600	19.7		
	33.00	2680	19.6		
	34.50	2600	19.6		
	37.00	2460	19.6		
	39.00	2400	19.7		

### Chapitre 3 : Données et Méthodes

	50.00	2400	19.6	PE	
	55.00	2300	19.7		
	60.00	2400	19.6		
	65.00	2400	19.6		
	68.00	2400	19.6		fond
54	Ns/rr /15.75				
	15.80	853	20	PE	
	22.46 CR	1667	19.8	PE	
	24.00	1810	19.8		
	30.00	1830	19.7		
	40.00	1831	19.8		
	50.00	1806	20.2		
	52.00	1798	20.4		
	56.00	1765	20.6		fond
F	Ns/rr / 23.27				
	23.40	1489	20.2		
	26.00	1613	20.1		
	26.79 CR	1669	20.0	PE	
	27.00	1743	20.0		
	27.50	1906	20.0		
	28.00	2.60	20.0		
	32.00	2.76	20.0	PE	
	50.00	2.73	20.0		
	53.00	2.73	20.0		fond
58	Ns/rr /13.91				
	14.00	3.66	20.1	PE	
	20.00	3.71	20		
	22.00	3.82	20		

### Chapitre 3 : Données et Méthodes

	24.00	4.05	19.9		
	25.44 CR	4.35	20.1	PE	
	26.00	6.06	20.1		
	27.00	7.98	20		
	28.00	8.49	20.1		
	30.00	8.91	20.1		
	31.00	9.32	20.2		
	34.00	10.00	20.5		
	36.00	10.37	20.6		
	38.00	11.26	20.6		
	40.00	12.80	20.6		
	42.00	14.05	20.8		
	43.00	14.57	20.7	PE	
	44.00	14.74	20.9		
	45.00	14.80	20.9		fond
G	Ns/rr / 26.72				
	27.00	1493	20.1		
	28.00 CR			PE	
	30.00	1850	19.1		
	31.00	1938	19.6		
	32.00	2.01	19.5		
	36.00	2.21	19.5	PE	
	40.00	2.24	19.5		
	50.00	2.24	19.5		
	60.00	2.23	19.7		
	63.00	2.23	19.7		fond
38	Ns/rr /18.60				
	18.70	1368	20.6		
	19.65 CR	1372	20.5		

### Chapitre 3 : Données et Méthodes

	30.00	1370	20.5		
	39.00	1425	20.7		
	40.00	1466	20.7		
	45.00	1469	20.8		
	50.00	1468	20.8		fond
32	Ns/rr /25.35				
	25.40	1607	20.6		
	30.00	1796	20.6		
	35.00	1808	20.7		
	40.00	1810	20.7		
	50.00	1810	20.8		
	59.00	1810	20.8		
	60				fond
36	Ns/rr /26.70				
	26.80	484	22.2		
	29.79 CR	517	21.00		
	40.00	573	21.5		
	50.00	692	21.5		
	60.00	742	21.8		
	70.00	710	22.1		
	75.00	710	22.1		
	76.00	710	22.1		fond

**Tableau 3.5** : les profils de conductivité et de profondeurs

Remarque :

1. Le N. Statique est différent par rapport au N. Piézométrique.
2. N. Statique est la profondeur d'eau dans un piézomètre.

3. N. Piézométrique c'est le niveau d'eau par rapport niveau zéro de la mer.
4. NB/1754 en micro siemens/cm      20.4 : en millisiemens/cm(x1000).

#### 4.4. Distance de la côte (D)

Selon la classification GALDIT il y a quatre classes :

**Classe 1 :** La distance du point d'eau de la nappe est inférieure à 500 m avec un rang égal à 10. Elle occupe une bande littorale s'étendant dans une direction WSW-ENE, ce qui correspond à la classe de vulnérabilité Elevée.

**Classe 2 :** La distance du point d'eau de la nappe varie entre 500 et 750 m avec un rang égal à 7.5. Elle correspond à la classe de vulnérabilité moyenne.

**Classe 3 :** La distance du point d'eau de la nappe varie entre 750 et 1000 m avec un rang égal à 5. Elle correspond à la classe de vulnérabilité faible.

**Classe 4 :** La distance du point d'eau de la nappe est supérieure à 1000 m avec un rang égal à 2.5. Elle la majeure partie de l'aquifère surtout la partie sud ce qui correspond à la classe de vulnérabilité très faible.

#### 4.5. L'impact de l'intrusion saline (I)

On a quatre classes :

**Classe 1 :** Les valeurs du rapport  $Cl / (HCO_3^{-1} + CO_3^{2-})$  de l'aquifère sont inférieurs à 1 avec un rang égal à 2.5, donc vulnérabilité faible.

**Classe 2 :** Les valeurs du rapport  $Cl / (HCO_3^{-1} + CO_3^{2-})$  de l'aquifère sont varient entre 1 et 1.5 avec un rang égal à 5, donc vulnérabilité moyenne

**Classe 3 :** Les valeurs du rapport  $Cl / (HCO_3^{-1} + CO_3^{2-})$  de l'aquifère sont varient entre 1.5 et 2 avec un rang égal à 7.5, donc vulnérabilité élevée

**Classe 4 :** Les valeurs du rapport  $Cl / (HCO_3^{-1} + CO_3^{2-})$  de l'aquifère sont varient entre 2 et 2.5 avec un rang égal à 10, donc vulnérabilité très élevée.

Source des données (ANRH) **Tableau 3.6.**



**Tableau 3.6 :** Tableau représente le rapport de la concentration en chlorure et la conductivité électrique dans la zone de sahel

N° PZ	X	Y	Cl-	HCO3-	CO3-2	Le rapport Cl-/((HCO3- +CO3-))	TYPE
PZ 32	543550	382250	162	237,9	0	0,680958386	7,5
PZ 38	544750	382350	77	152,5	0	0,504918033	7,5
PZ 41	545370	382750	223	323,3	0	0,689761831	7,5
PZ 54	548850	385050	183	106,75	0	1,714285714	7,5
PZ 58	549450	386050	265	137,25	0	1,930783242	7,5
PZ 61	547650	383750	700	244	0	2,868852459	7,5
PZ 62	546150	383250	159	274,5	0	0,579234973	7,5
PZ B	549350	383600	1075	231	0	4,653679654	7,5
PZ D	547000	382000	430	198,25	0	2,168978562	7,5
PZ E	546125	381450	193	311,1	0	0,620379299	7,5

#### **4.6. L'épaisseur de la nappe (T)**

L'épaisseur saturée de l'aquifère est uniformément supérieure à 10 mètres, avec un rang de 10 pour l'ensemble de l'aquifère, à l'exception de quelques zones minoritaires. **(Source ANRH)**

#### **5. L'utilisation de logiciel ArcGIS**

Le logiciel ArcGIS est un outil informatique dans le système informatique géographique (SIG) qui est utilisé pour étudier, cartographier et digitaliser les zones.

La méthodologie et les étapes suivies pour la réalisation des cartes finales pour chaque paramètre de l'approche GALDIT, sont bien déterminées dans les figures suivantes :

##### **5.1 Le géoreferencement**

La source des données agence nationale des ressources hydriques (ANRH), la carte topographique a été prise sur le site de USA Army, système géographique utilisé c'est Lambert ancienne version (**Annex 2**).

### 5.2 les étapes suivis pour la réalisation des paramètres GALDDIT

La méthodologie utiliser est bien détaillé dans **les Annex 2**.

#### 5.2.4. Indice GALDIT

La formule utilisée pour réaliser l'indice GALDIT est la suivante : (Dorffiger N, 2011).

$$(IG) = (1 * G + 3 * A + 4 * L + 4 * D + 1 * I + 2 * T) / 15$$

Les étapes suivis sont présentées dans **Les Annex2**.

## 6. Conclusion

En résumé, ce chapitre est consacré à la méthodologie et les données cruciale collecter dans le cadre de notre étude. Il sert de fondement méthodologique à l'exploration du phénomène de l'intrusion d'eau salée dans la baie d'Alger à l'aide du modèle GALDIT en utilisant l'outil de cartographie le logiciel ArcGIS.

Au sein de ce chapitre, nous avons minutieusement exposé et détaillé les six paramètres fondamentaux du modèle GALDIT. Nous avons également décrit en profondeur la manière dont ces paramètres seront appliqués, en incorporant les processus de pondération, de notation, et de classification. Ces éléments méthodologiques s'avèrent essentiels pour la suite de notre recherche, car ils orienteront notre analyse de l'intrusion d'eau salée dans la région. Les résultats obtenus grâce à cette méthodologie seront rigoureusement examinés et interprétés dans le chapitre subséquent.

## *Chapitre IV*

# *Résultats et discussions*

1.Introduction .....	57
2.Résultats : .....	57
2.1. Paramètre (G) : Le type d'aquifère .....	58
2.2. Paramètre (A) : la conductivité hydraulique de l'aquifère .....	59
2.3 Paramètre (L) : altitude de la nappe .....	60
2.4. Paramètre D : Distance de la côte .....	61
2.5 Paramètres I : l'impact de l'intrusion saline .....	62
2.6. Paramètre T : L'épaisseur de la nappe. ....	63
2.7. Carte finale "Indice GALDIT " de vulnérabilité a l'intrusion marine .....	64

## 1.Introduction

Dans ce chapitre on va analyser et traiter les résultats obtenus après l'application de la méthode GALDIT sur la zone d'étude Est de sahel d'Alger. Cette approche nous a permis de déterminer la vulnérabilité des eaux souterraines de la zone Est de sahel d'Alger au phénomène de l'intrusion marine.

## 2.Résultats :

La carte topographique de base a été prise sur le site internet armé USA 1950, les coordonnées géographiques sont sur le système Lambert ancien, source de données ANRH en 2010 (Figure 4.1).

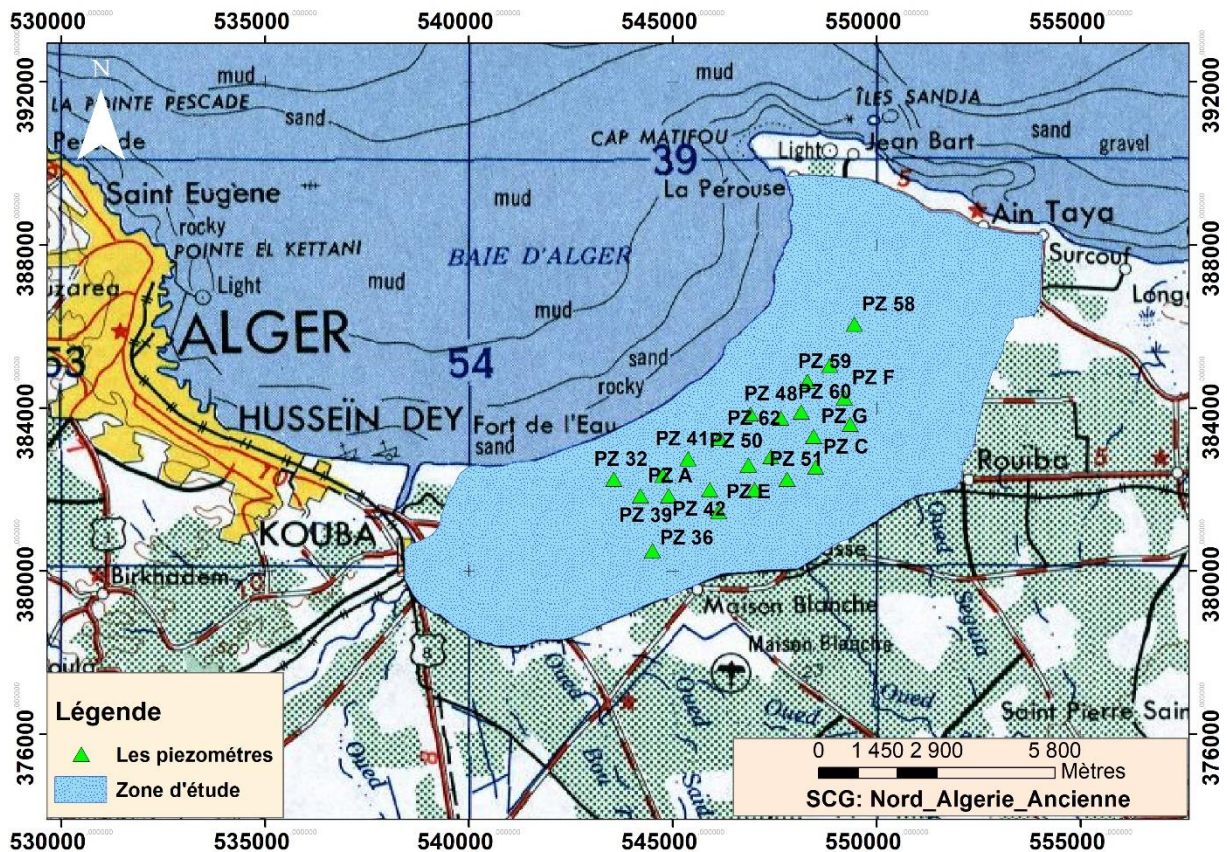


Figure 4.1: Carte topographique représente les piézomètres dans la zone de sahel.

**Discussion :** l'emplacement variable des différents piézomètres sur l'étendue de la zone d'étude a permis d'avoir une idée globale sur l'aquifère, et donc collecter des données nécessaires sur chaque partie de la zone.

L'utilisation de logiciel informatique ArcGIS et l'application de l'approche GALDIT nous a permis d'avoir pour chaque paramètre une carte correspondante comme suit :

### 2.1. Paramètre (G) : Le type d'aquifère

La carte obtenue à l'aide d'ArcGIS (Figure 4.2).

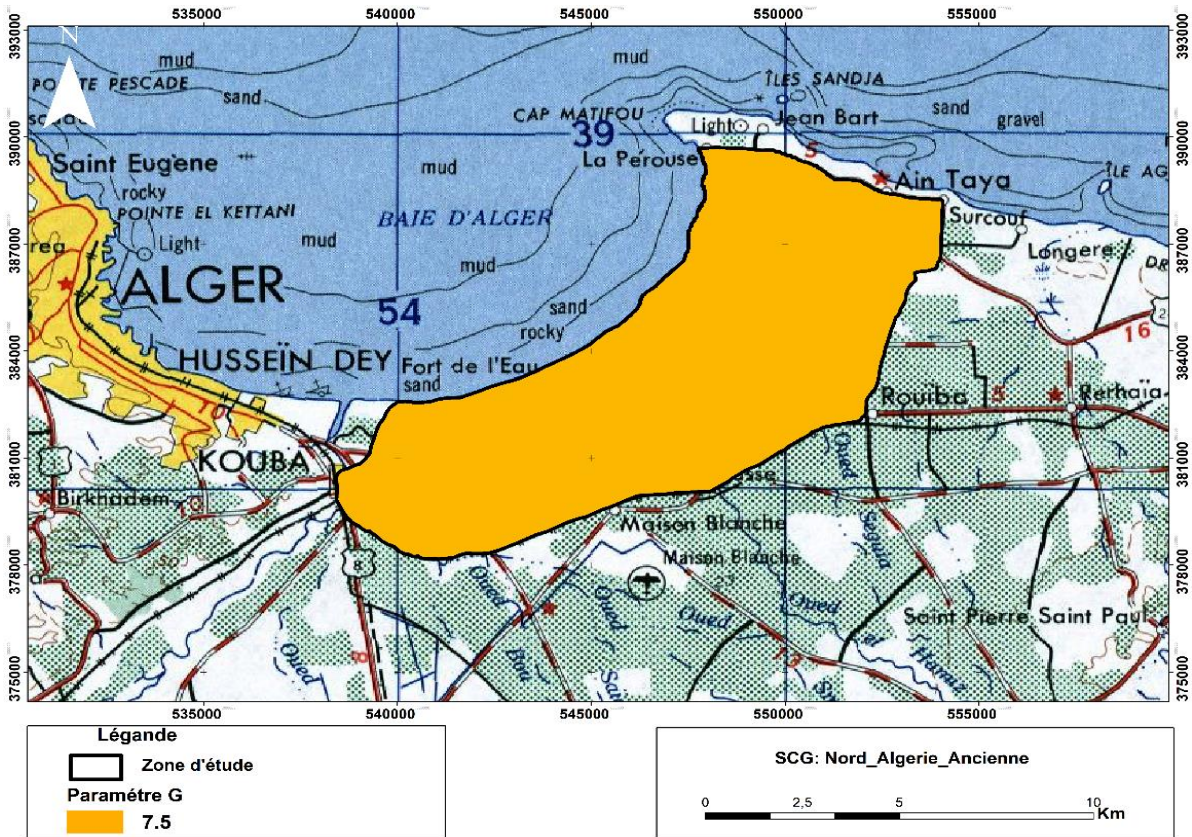


Figure 4.2 : Carte topographique représente le paramètre G

**Discussion :** l'aquifère est de type libre (non confiné) dans toute la zone d'étude, elle correspond au poids 1 et de rang 7.5, donc c'est une classe moyenne, dont lequel le rechargement de l'aquifère est plus rapide par rapport au type confiné (captif), mais le risque de contamination face aux eaux de mer est élevé.

2.2. Paramètre (A) : la conductivité hydraulique de l'aquifère

La carte obtenue est présentée dans la Figure 4.3.

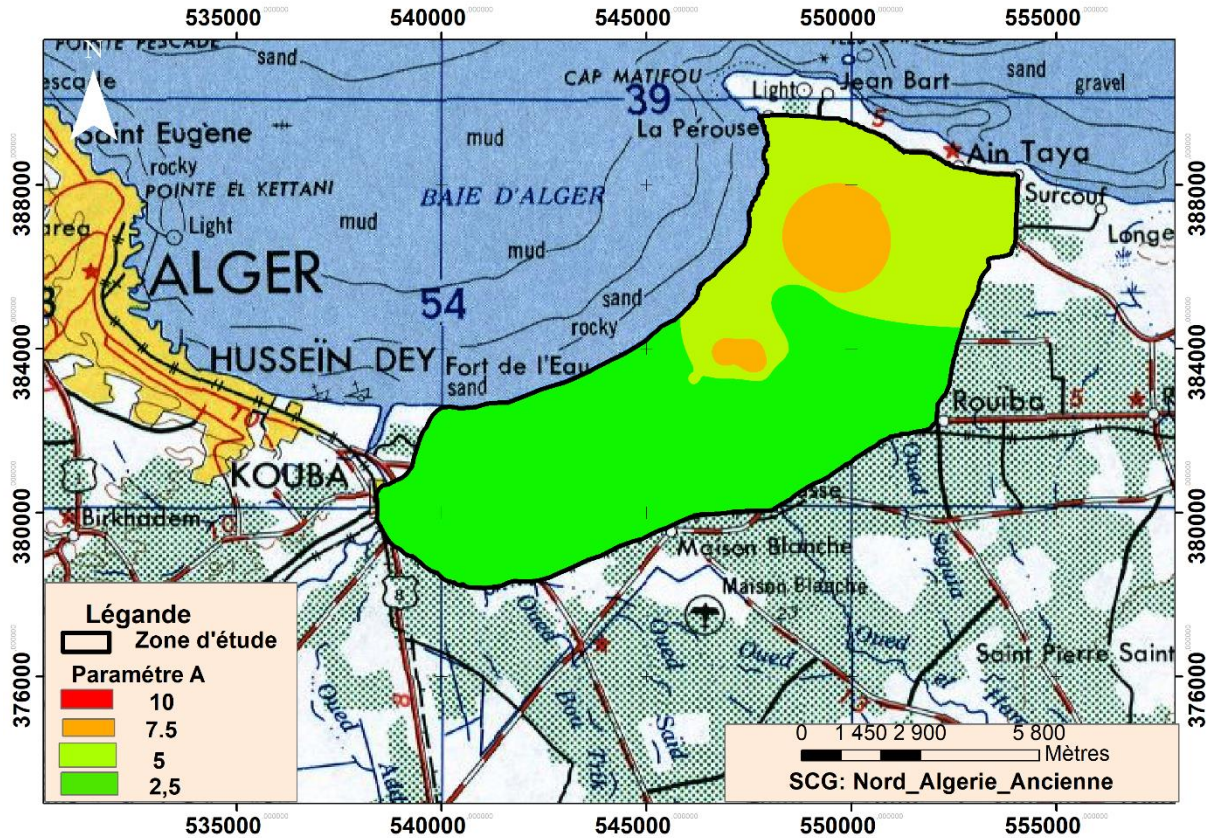
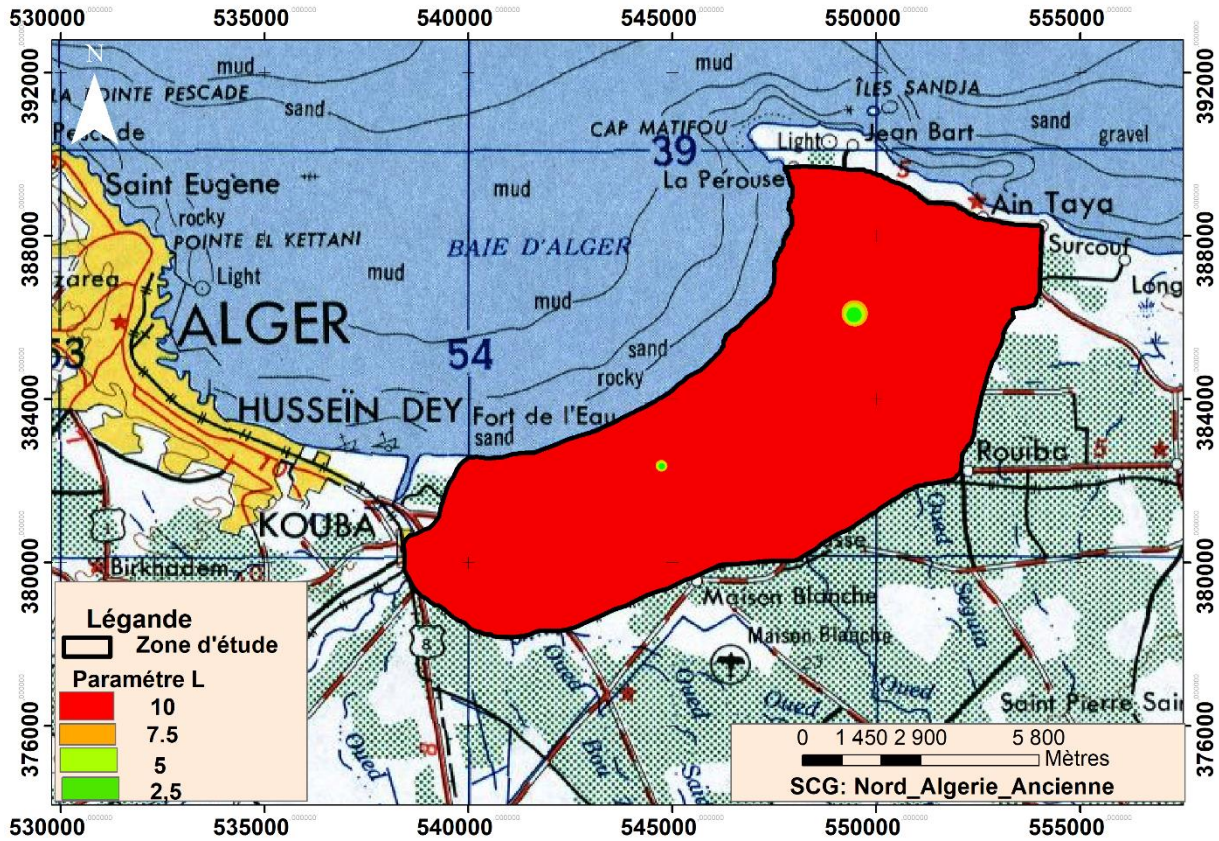


Figure 4.3: Carte topographique représente le paramètre A

**Discussion :** On s'est basé sur les données des essais de pompage réalisées par l'Agence National des Ressource Hydraulique 2010 (ANRH), on distingue que la vitesse du flux d'eau à l'intérieur de la nappe aquifère est plus rapide et remarquable dans le côté EST de la zone d'étude dans le champ captant du Hamiz, comme la conductivité hydraulique est plus élevée donc une intrusion plus notable de l'eau de mer.

### 2.3 Paramètre (L) : altitude de la nappe

La carte obtenue est présentée dans la **Figure 4.4**.



**Figure 4. 4:** Carte topographique représente le paramètre L

**Discussion :** L'altitude est calculée par la différence entre le niveau des points cotés de terrain et le niveau piézométrique, les valeurs les plus significatives sont celles qui concernent les niveaux d'eau les plus bas, car ils indiquent la plus grande vulnérabilité potentielle, la donnée collecter par ANRH en 2007 montre que la grande partie de la nappe de Sahel est située en dessous du niveau de la mer inférieurs à 1 mètre, donc elle est vulnérable à l'intrusion d'eau de mer.



### 2.4. Paramètre D : Distance de la côte

La carte obtenue est présentée dans la Figure 4.5.

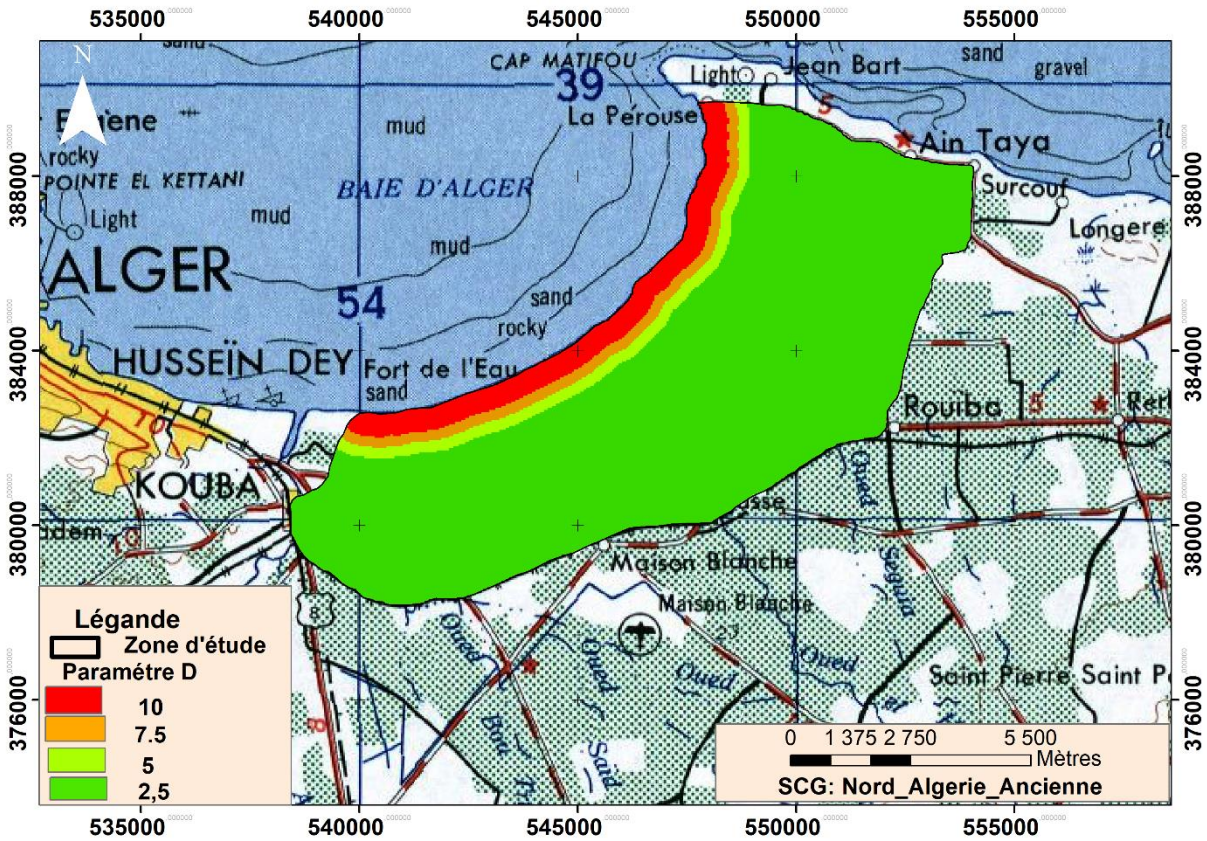


Figure 4.5: Carte topographique représente le paramètre D

**Discussion :** la répartition spatiale présentée dans la Figure 4.5, montre une petite partie de la nappe est proche à la côte ce que correspond à la classe de vulnérabilité très élevée à l'intrusion marine, par contre la grande partie de la nappe est en vert ce qui veut dire, elle est loin de la côte donc la vulnérabilité faible.

2.5 Paramètres I : l'impact de l'intrusion saline

La carte obtenue est présentée dans la Figure 4.6.

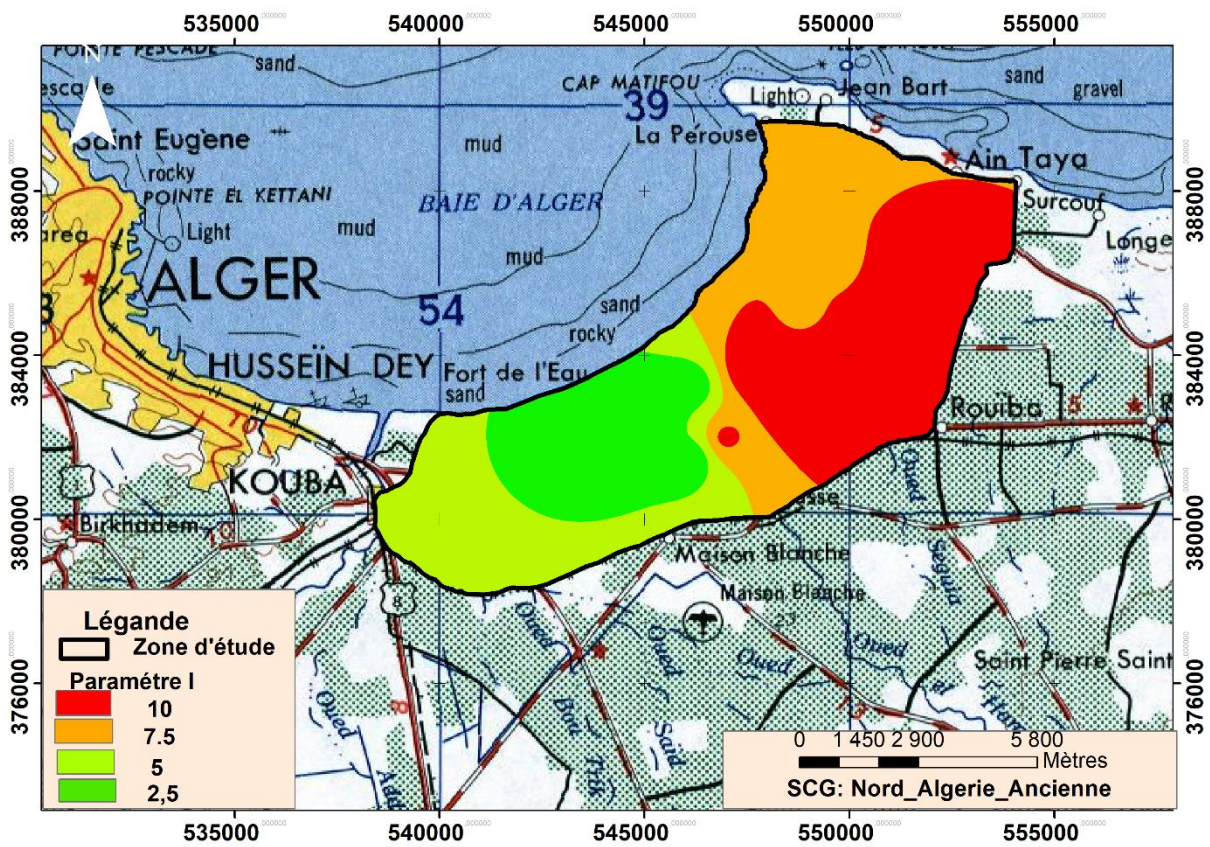
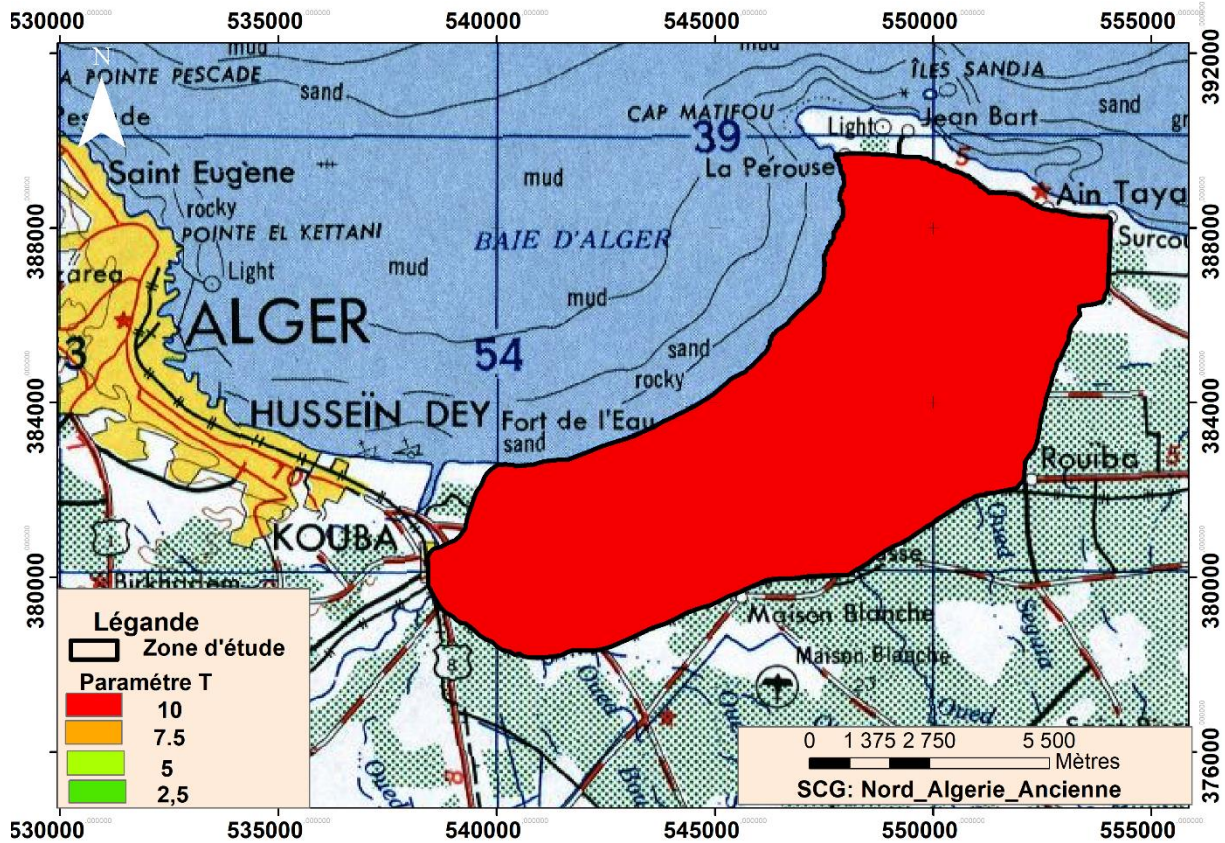


Figure 4.6 : Carte topographique représente le paramètre I

**Discussion :** d'après les résultats obtenus, on estime que les valeurs de rapport ( $Cl / (HCO_3^{-1} + CO_3^{2-})$ ) est plus grand dans la partie EST que la partie OUEST de l'Aquifer de sahel, ça veut dire un impact de l'intrusion saline très remarquable dans la partie EST de l'aquifère donc une vulnérabilité très élevée à cette zone que la partie OUEST.

### 2.6. Paramètre T : L'épaisseur de la nappe.

La carte obtenue est présentée dans la **Figure 4.7**.



**Figure 4.7 :** Carte topographie représente le paramètre T

**Discussion :** d'après le résultats obtenus, L'épaisseur saturée de l'aquifère est uniformément supérieure à 10 mètres, avec un rang de 10 pour l'ensemble de l'aquifère, à l'exception de quelques zones minoritaires donc dans ce cas le rechargement est très lent et difficile.

### 2.7. Carte finale ‘Indice GALDIT ’ de vulnérabilité a l’intrusion marine

Pour avoir la carte finale de l’indice GALDIT, on applique la formule de (Dorfliger. 2011) sur ArcGIS comme suit :  $\text{Indice GALDIT} = (G * P_g) + (A * P_a) + (L * P_l) + (D * P_d) + (I * P_i) + (T * P_t) / 15$ . Le résultat obtenu est présenté dans la **Figure 4.8**.

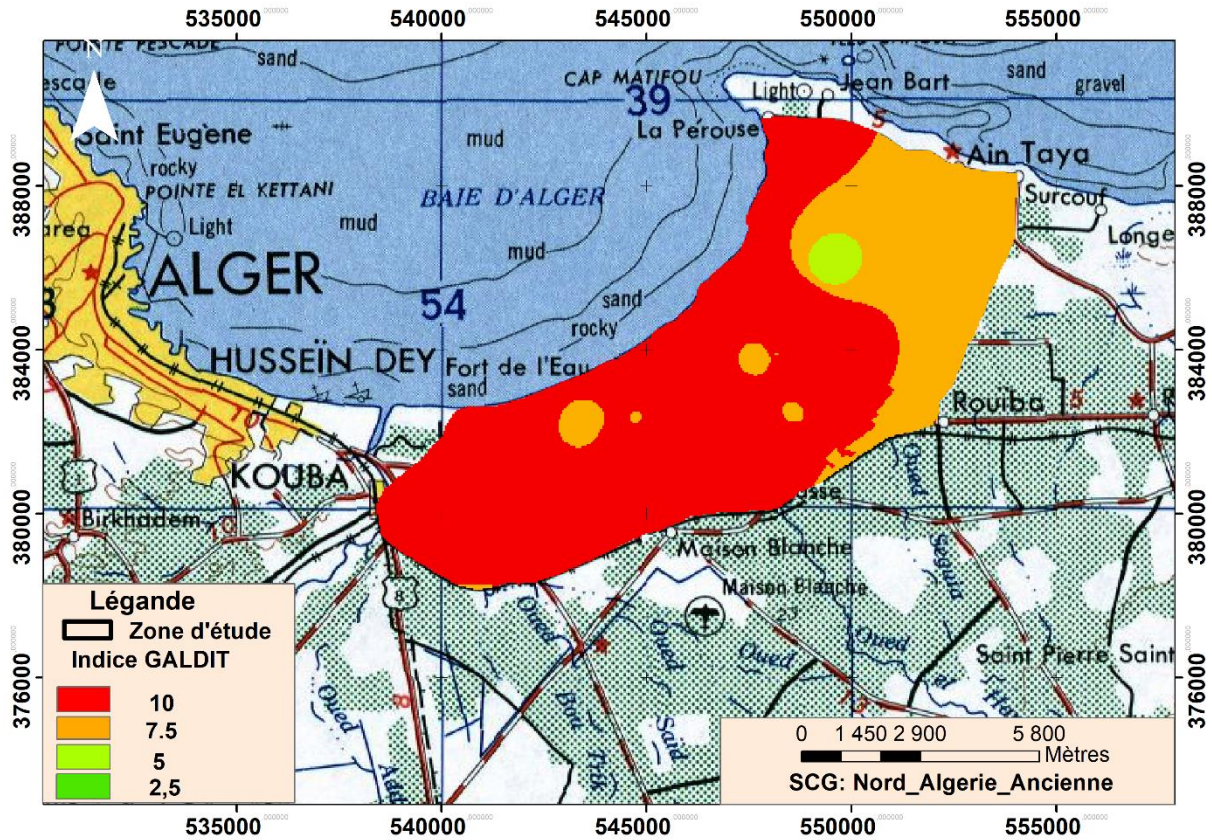


Figure 4.8 : Carte représente la Vulnérabilité dans la zone de Sahel selon indice GALDIT

**Discussion :** le résultat finale obtenu montre que notre zone d'étude présente une forte vulnérabilité a l'intrusion marine , et parmi les paramètres influençant qui ont permis d'obtenir ce résultat final, c'est l'altitudes de la nappe sous le niveau de la mer (L), avec un poids élevé 4,et d'après les résultats fournis par l'ANRH la plupart des niveau piézomètres ce sont situé en dessous de niveau de la mer donc la pression de l'eau de mer est dominante sur celle de l'aquifère, et aussi le paramètre T l'épaisseur de la nappe joue un rôle dans ce résultat, plus que l'épaisseur est grand plus l'intrusion a de grande chance de s'étendre. Dans notre cas l'épaisseur est variée entre 11m et 32m.

# *Conclusion générale*

## Conclusion générale

---

Notre travail avec la méthode GALDIT nous a offrir une analyse complète de la problématique, de la vulnérabilité des aquifères côtiers a l'intrusion marine, dans la région de la baie d'Alger, l'une des régions d'Algérie les plus touchées par ce phénomène.

En mettant en évidence son importance en termes de gestion des ressources en eau souterraine. Les principales conclusions qui émergent dans ce travail sont les suivantes :

- ❖ L'exploitation mal gérer des nappes côtières, est à l'origine d'une baisse significative du niveau de la nappe, ce qui favorise l'intrusion marine. Ce phénomène a un impact majeur sur la santé humaine, l'agriculture et l'environnement.
- ❖ La région de la baie d'Alger est particulièrement vulnérable à l'intrusion marine en raison de son climat méditerranéen, de ses caractéristiques géologiques et hydrogéologiques, ainsi que de la surexploitation des ressources en eau souterraine.
- ❖ L'étude géologique a permis de caractériser deux nappes principales : la nappe de l'Astien et la nappe du Quaternaire. La surexploitation des nappes a entraîné un changement de direction de l'écoulement, favorisant l'intrusion marine. La vulnérabilité des nappes à la pollution par l'eau de mer a été évaluée à l'aide du modèle GALDIT.

En conclusion, il est importants de mettre en lumière la bonne gestion durable pour les ressources en eau souterraine dans la région de la baie d'Alger, et mettre en œuvre des mesures de protection adaptées pour prévenir la dégradation de la qualité des eaux souterraines et atténuer les effets de l'intrusion marine, la méthodologie précieuse suivis dans notre cas d'étude pour évaluer la vulnérabilité des nappes côtières de la baie de Sahel d'Alger, peut être appliqué à d'autres régions confrontées à des problèmes similaires.

### Recommandation

L'intrusion marine est un phénomène irréversible, c'est pour ça on essaie de trouver des solutions afin de minimiser et freiner ce phénomène, dans ce cadre nous formulons les recommandations suivantes :

- ❖ Renforcer la surveillance hydrogéologique : mise en place un plan de gestion de la ressource en eau souterrains qui prend en considération le bilan hydrogéologique de la nappe, aussi maintenir et améliorer les réseaux de surveillance des niveaux d'eau souterraine, qualité de l'eau, et d'intrusion marine. Cela permettra une détection précoce des changements et une réponse rapide aux problèmes émergents.
- ❖ Sensibilisation des citoyens : faire des campagnes d'information et de sensibilisation, informer les populations locales des enjeux liés à la qualité de l'eau souterraine et à la vulnérabilité des aquifères côtiers, peuvent contribuer utilisation rationnelle.
- ❖ Recharge artificielle de la nappe : assurer un volume d'eau (source d'eau ces les barrages) suffisants pour maintenir la pression d'eau à l'intérieure de la nappe à condition que la qualité d'eau artificielle a recharge soit bonne.
- ❖ Station de dessalement : renforcer l'approvisionnement en eau par l'installation des nouvelles stations de dessalements.

### Perspectives :

- Nous aurions souhaité disposer de données plus récentes que celles avec nous avons travaillé, malheureusement dans notre étude nous avons utilisé des données anciennes 2007 et 2010.
- Nous aimerons d'avoir le temps, pour travailler avec deux méthodes différentes, et de les comparer.
- Nous avons souhaité de travailler plus sur le coter pratique que théorique, et avoir le matériel nécessaire pour les essais prospection électrique, et les sortis sur terrain.



### Références bibliographiques

- B. Abdelkader, a. (2012).** Étude de l'évolution de l'intrusion marine dans l'aquifère côtier de nador (tipaza, algerie). Tipaza.
- Boudjlil El-hachemi, D. A. (07 Juin 2018).** Etude de la vulnérabilité à la pollution de la nappe superficielle. Bejaia.
- ENSG-Géomatique. (2024).** La géomatique ? Qu'est-ce que c'est ? france. <https://ensg.eu/fr>
- Green-Ecolog.com. (2024).** Types d'aquifères et leur classification. <https://fr.green-ecolog.com/>
- H.zinet, N. B. (2020).** etude de l'intrusion marine par les profils de conductivité. mémoire master . ressource hydraulique.université blida 1.
- Kouzana, L., Ben Mammou, A., & Gaaloul, N. (2007).** Intrusion marine et salinisation des eaux d'une nappe phréatique côtière (Korba, Cap-Bon, Tunisie). *Geo-Eco-Trop*, p.p 31,et p.p. 57-70.
- Lobo-Ferreira et al. (2005).** Assessing Aquifer Vulnerability to Sea-Water. Portugal.
- Loke M.H., W. P. (2010).** Fast computation of optimized electrode arrays.
- M.Mousselmal. (2015).** contribution à l'étude de la recharge des nappes par procédé artificielles.mémoire de master.alger: École Nationale Supérieure d'Hydraulique.
- O.Haddad. (2017).** Etude de la vulnérabilité d'une nappe d'eau souterraine basée sur. Nord est algérie la nappe de bouteldja: ecole nationale superieure d'hydraulique.
- Ouissam, H. (2017).** Étude de la vulnérabilité d'une nappe d'eau souterraine basée sur l'approche méthodologique GALDIT (Cas de la nappe de BOUTELDJA, Nord EST Algérien.). BOUTELDJA, Nord EST Algérien: École Nationale Supérieure d'Hydraulique.
- Rassou, K. (2009).** Eude des interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface dans le bassin côtier d'oualidia. Maroc.
- ROUX, J.-C. (2006).** Aquifères et eaux souterraines en France. france.
- S.NAJIB. (2015).** Étude de l'évolution de l'intrusion marine dans l'aquifère de la Chaouia. Chaouia MAROC.

- Saidi, S. B. (2011).** Évaluation du risque pour les eaux souterraines à l'aide de la cartographie intrinsèque de la vulnérabilité et des risques : Application à l'aquifère de Souassi, Sahel tunisien. Souassi, Sahel tunisien.
- Tahsin., Z. S. (2016).** Application de la méthode de Galdit pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines : un cas du sud de la Floride. sud de Florida.
- A.Samadi. (2021).** Les ressources hydrique de la plaine de la mitidja et pollution nitrique. Attachée de recherche à l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA).
- Ait-ouali, A.-K. (21/01/2007).** Synthèse hydrogéologique et vulnérabilité à la pollution du système aquifère quaternaire de la mitidja .thèse doctorat . Alger.
- Atkins, \*. (1983).** Schéma d'aménagement des ressources en eau dans la région d'Alger-Sebaou. Missions.
- Chesneau., A. P. (1982).** Note sur les séismes en Algérie. article.
- Fouad, A. (2023).** Caractérisation du phénomène du biseau sale dans un réservoir côtier par le modèle cartographique GALDIT. Cas de la baie d'Alger . Mémoire Master en sciences de la terre et de l'univers. Hydrogéologie. Tizi Ouzou université mouloud maamri.
- H.Zinet, N. e. (2020).** Étude de l'intrusion marine par les profile de conductivité. Bais d'Alger .
- IFTINI-BELAID., N. F. ( 2013).** Variabilité climatique et impacts anthropiques sur la nappe alluviale de la Mitidja orientale . baie d'Alger: Rév. Sci. Technologie. , P.P 21-64.
- Ouali, A. (2007).** Synthèse hydrogéologique et vulnérabilité. article.
- S.Leghlam. (2021).** Analyses statistique multivariees de la qualité des eaux souterraines de la plaine de mitidja. alger.
- Lobo-Ferreira, J. P., Chachadi, A., Diamantino, C., & Henriques, M. J. (2005).** Assessing aquifer vulnerability to seawater intrusion using GALDIT Method. Part, 1, p.p.11-14.
- Chachadi, A., & Lobo Ferreira, J. (2001).** Cartographie de vulnérabilité à l'intrusion d'eau de mer des aquifères à l'aide de la méthode GALDIT .
- Chachadi.al. (1998\_2002).** Assessing the impact of sea-level rise on salt water intrusion in coastal aquifers using GALDIT model. inde.
- Dorfiger N, e. a. (2011).** Montée du niveau marin induite par le changement climatique, conséquences sur l'intrusion saline dans les aquifères côtiers en métropole. france: pp. 35-44.

- Niazi. (2007).** Évaluation des impacts des changements climatiques et de l'élévation du niveau de la mer sur le littoral de Tétouan (Méditerranée occidentale du Maroc): Vulnérabilité et Adaptation. Université Mohammed V-Agdal
- Rassou, K. (2009).** Eude des interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface dans le bassin côtier d'oualidia. Maroc.
- Saliha, N. (2014).** Etude de l'évolution de la salinisation de l'aquifère de la chaouia. Climatologie, hydrogéologie, hydrochimie et tomographie. Maroc. pp. 144-146.
- Satishkumar V., S. S. (2016).** Mapping of Salinity Ingress Using Galdit Model for Sirkali Coastal Region : A Case Study. . Scientific Research publishing. N°: 526-536. P. 531.
- Mancet, J. (1972).** Etude hydrogéologique de la nappe alluviale de l'oued El Hachem.

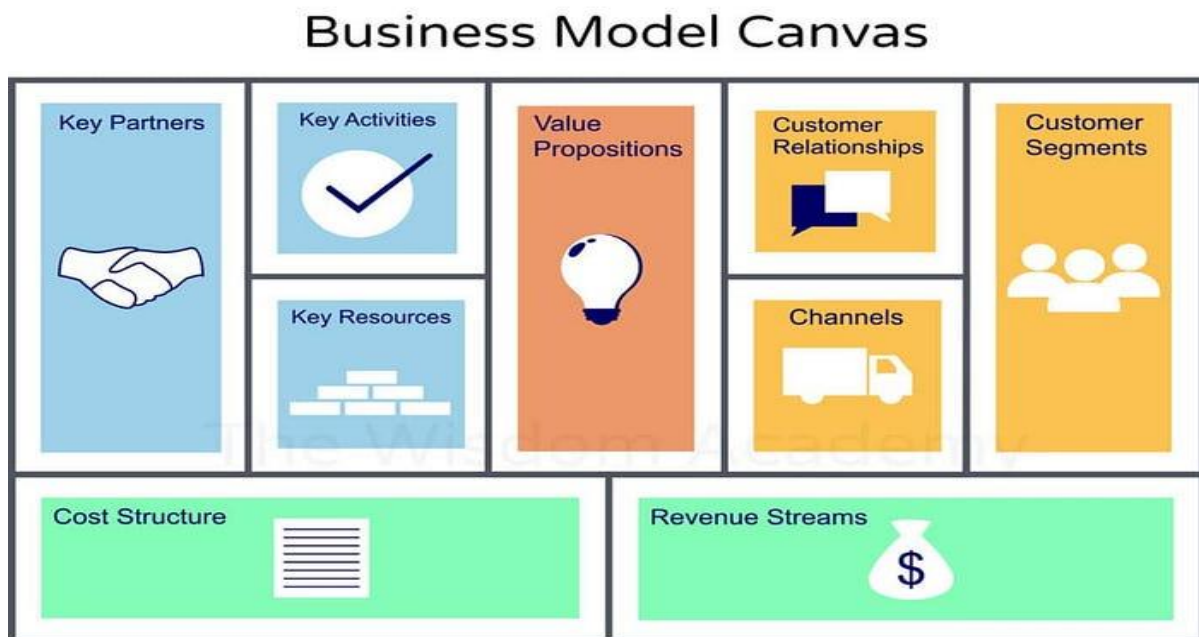
# *Business model Canvas*

## Table des matières

Table des matières .....	73
1.Introduction .....	73
2. Proposition de valeur.....	74
3.Activités clés .....	75
4.Partenaires clés.....	78
5. Segment Clients.....	78
6. Relations Clients .....	79
7. Canaux de distribution : .....	79
8. Sources de revenus .....	80
9. Structure des coûts .....	81
10. Résumé du Business Model Canvas.....	82
Conclusion.....	85

### 1.Introduction

Le Business Model Canvas (BMC) aide à comprendre et à communiquer de manière structurée la logique fondamentale des entreprises. Cet outil révèle les composantes clés du modèle économique et stimule une réflexion approfondie sur les parties prenantes, les revenus, les coûts, les avantages concurrentiels et les opportunités de croissance. Il est utilisé dans la planification stratégique et le développement de nouveaux produits et services. Dans cette partie de notre mémoire, on détaille le BMC de notre startup, en décrivant toutes ses composantes. Cet outil stratégique de gestion est un cadre visuel qui se compose de neuf éléments clés (**figure A.1**).



**Figure A.1:** Business Model Canvas

Dans un monde en constante évolution, la gestion maritime exige l'intégration de l'intelligence artificielle, de la modélisation et de la cartographie pour résoudre des défis complexes et prendre des décisions éclairées. Notre start-up, c'est un bureau d'étude qui vise à éviter la vulnérabilité à l'intrusion marine des Aquifer côtier. En proposant des solutions innovantes pour relever les défis de la gestion côtière et marine. Forts de notre expertise en cartographie

spécialisée et en modélisation précise, nous nous engageons à fournir des analyses de données inégalées et des solutions concrètes pour résoudre une multitude de problématiques côtières.

Notre équipe est composée d'ingénieurs en informatique dévoués, de spécialistes en marketing stratégique, ainsi que de deux ingénieurs spécialisés en gestion et protection du littoral, dont nous même collaborant main dans la main pour créer une synergie exceptionnelle.

Par suite de ce rapport, nous présenterons le modèle économique Canvas de notre bureau d'étude, mettant en évidence nos segments de clients cibles, nos propositions de valeur uniques, nos canaux de distribution stratégiques, ainsi que les sources de revenus et les ressources clés.

### **2. Proposition de valeur**

Cette composante se concentre sur les produits, les services ou les solutions uniques que notre bureau offre à ses clients. Résident des compétences spécialisées en ingénierie maritime, amplifiées par la puissance de l'intelligence artificielle. Nous avons forgé notre identité en combinant une expertise technologique de pointe avec une compréhension profonde des enjeux côtiers. Notre proposition se distinguera de la concurrence par la proposition d'une combinaison unique d'expertise dans le domaine du Génie côtier et de la cartographie basés sur l'Intelligence Artificielle. Cette approche une nouvelle démarche qui n'existe pas encore au niveau de notre marché. Le bureau vise également à fournir des formations à la carte ainsi que des solutions de veille technologique. Cette approche innovante et attractive sera particulièrement intéressante pour les clients à la recherche de solutions de pointe de gestion des risques et de développement côtier.

Nos propositions pour les clients incluent les éléments suivants :

- L'amélioration de l'évaluation des risques côtiers et des stratégies de réduction des risques d'intrusion marine.
- Expertise professionnelle, les clients bénéficient ainsi de conseils et de services de haute qualité.
- L'offre des solutions rentables et efficaces pour la planification côtière et le développement des infrastructures.
- La bonne gestion durable des ressources des eaux souterrain des aquifères côtiers.

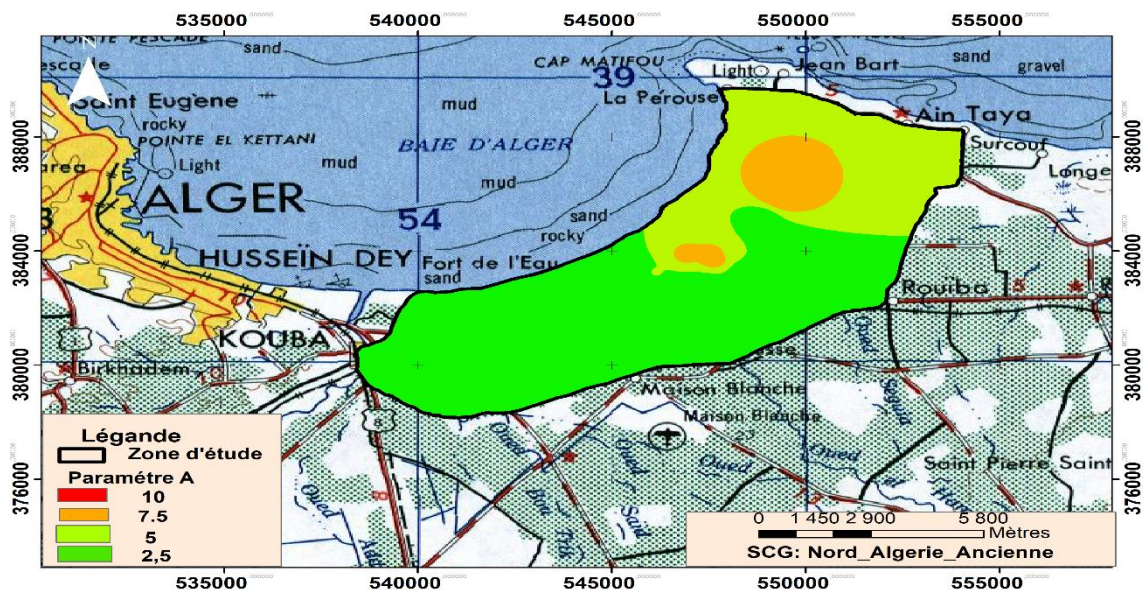
### 3. Activités clés

Les activités clés font référence aux actions, et aux processus clés que on doit entreprendre pour fournir des propositions de valeur. Les activités clés de notre bureau incluent :

- La création des cartes topographique pour divers paramètres influençant la vulnérabilité a l'intrusion marine.
- L'offre de formations en programmation utilisant les logiciels spécialisés en cartographie et Système d'informations Géographiques SIG en présentiel et en ligne ArcGIS.
- Le traitement des grandes bases de données.
- Placements des détecteurs haut sensibilisation (sondes multi paramètres), dans chaque puits qui vont indiquer le niveau piézomètres, la conductivité, la quantité du rapport de salinité  $Cl/(HCO_3+CO_3)$ . Les détecteurs vont déclencher et arrêter le pompage automatiquement, Si un de ces paramètres dépasse les limites selon la méthode GALDIT, pour le niveau piézomètres il ne faut pas qu'il soit au-dessous 1 mètre, pour la conductivité ne dépasse pas  $40 \mu S$ , et pour le rapport de la salinité ne soit pas supérieur à 2, jusqu'à la nappe se reprenne.

Les illustrations (**Figure B, C, D**) montre Les résultats des applications effectuées sur la Baie d'Alger (l'aquifère de Sahel).

Figure A. 2 : illustration B





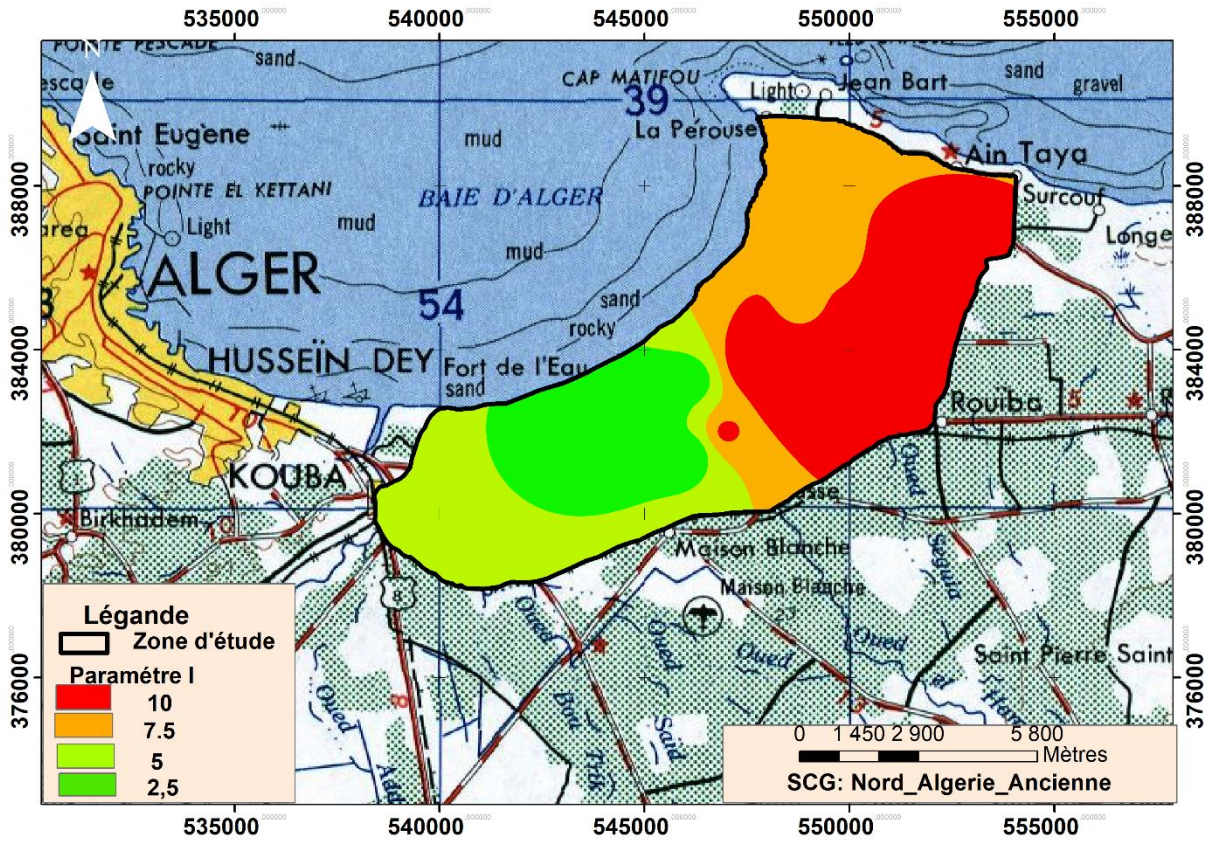


Figure A.4 : illustration C

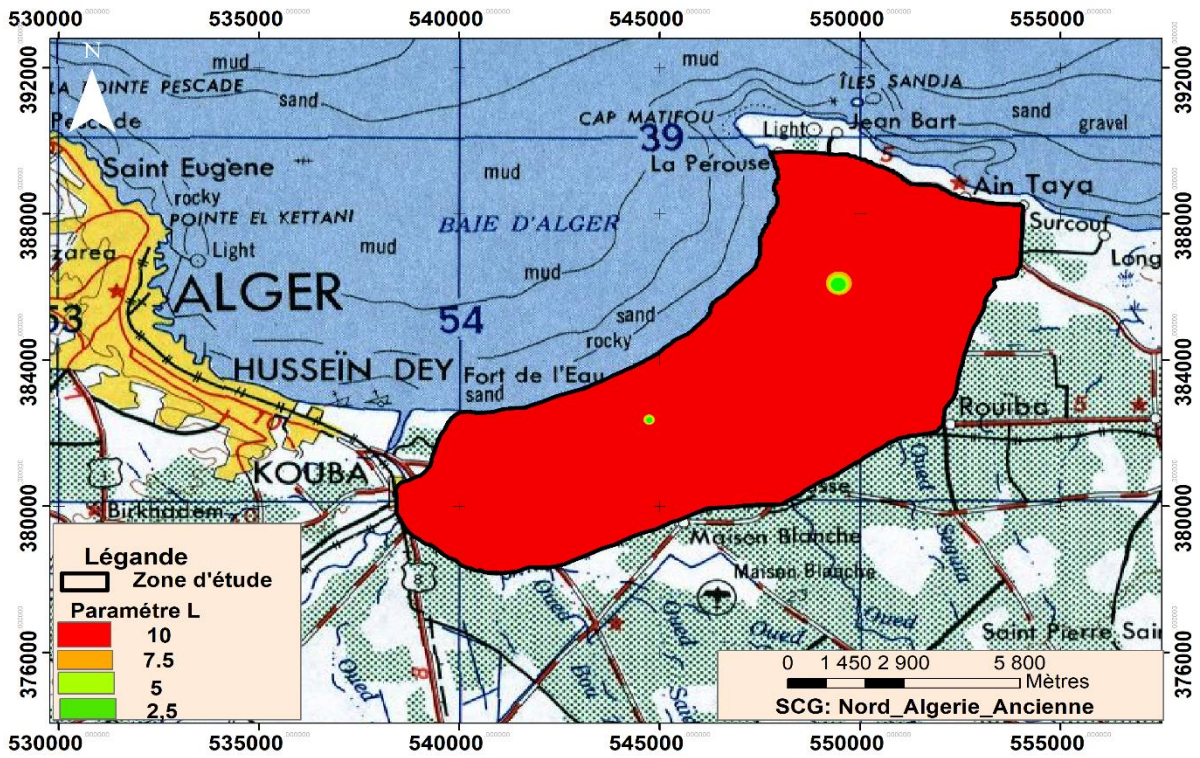


Figure A.3 : illustration D

### 4. Partenaires clés

Il s'agit des partenariats stratégiques et des alliances que notre bureau d'étude établit. Cela rentre dans le but de créer, distribuer et optimiser la proposition de valeur, qui nous enrichissent notre expertise, élargissent notre portée et renforcent notre impact dans le domaine de l'ingénierie maritime. Notre bureau vise à établir des partenariats avec :

- Laboratoire d'Étude Maritime (LEM) : nos collaborations avec des experts du Laboratoire d'Étude Maritime enrichissent notre compréhension, alimentent nos analyses, affinent nos modèles et ouvrent de nouvelles perspectives sur la résolution des problèmes côtiers.
- Les agences gouvernementales de la gestion côtière, en leur fournissant des services, afin de renforcer leurs capacités de gestion côtière en utilisant des modèles prédictifs des problèmes côtiers. Cela leur permettrait également d'améliorer la sécurité des zones côtières, de prendre des décisions éclairées en matière de planification et de réduction des risques, et de mieux protéger les communautés vivant le long des côtes.
- Les entreprises de construction et d'aménagement côtier : Elles s'intéresseraient à l'achat de nos services pour bénéficier de solutions pour la prédiction et la cartographie précise des processus côtiers. Cela les aiderait dans la planification et l'exécution de leurs projets de construction et d'aménagement côtier de manière plus efficace, en réduisant les risques, en optimisant les ressources et en améliorant la durabilité.
- Les Partenaires Financiers (Banques, Investisseurs) : Notre bureau d'étude est pavé de ressources financières. Nos partenaires financiers sont les soutiens qui nous permettent d'investir dans la recherche, le développement technologique et l'expansion de nos opérations. Cette collaboration transforme les idées en réalisations tangibles.

### 5. Segment Clients

Cet élément consiste à la description des différents groupes de clients que notre bureau vise à atteindre et à servir. Il comprend l'identification des besoins, des comportements et des préférences de chaque segment de clientèle.

Après avoir effectué une étude de marché, on a sélectionné ces clients cibles :

- Agence Nationale des Changements Climatiques : Elle serait intéressée par nos services pour disposer sur l'état des ressources des eaux souterraines.

- Délégation Nationale aux Risques Majeur : Elle serait intéressée par nos services pour renforcer les capacités nationales de prévention et de gestion des risques côtiers, et la préparation aux situations d'urgence.
- Agence National des ressources hydraulique : Elle serait intéressée par nos services pour enrichie leur base de données.
- Directions de travaux publics : Elle s'intéresse à nos services pour améliorer l'évaluation des risques côtiers dans le cadre de la planification et de la gestion publiques.
- Société des eaux et de l'assainissement d'Alger (SEAAL) : elle serait intéressée par nos service pour développer leurs compétences à la gestion durable, la surveillance et préservation des eaux des ressources souterrains.

### 6. Relations Clients

Cette composante fait référence aux types de relations que le bureau d'étude établit pour maintenir une relation durable avec ses clients. Les relations avec nos clients reflètent notre engagement à fournir des solutions adaptées à leurs besoins et à dépasser leurs attentes. Dans la collaboration et le succès partagé, grâce à une communication continue, des retours d'information et des réductions sur les formations proposées. Pour maintenir une relation durable avec nos clients, notre bureau met l'accent sur une collaboration étroite avec les clients. On proposera des consultations personnalisées pour comprendre les besoins spécifiques des clients et leur offrir des solutions adaptées. Des mises à jour régulières sur les nouvelles technologies de cartographie dans le domaine seront fournies aux clients afin de les maintenir informés des dernières avancées.

### 7. Canaux de distribution :

Les ressources clés représentent les actifs tangibles et intangibles nécessaires pour faire fonctionner l'entreprise. Les ressources nécessaires au bon fonctionnement de notre bureau d'étude sont :

- Matériel informatique puissant et performant.
- Personnel qualifié en cartographie et en programmation.
- Distributeurs et grossistes de la fourniture nécessaire (papier, stylos, marqueurs, etc.).
- Accès à des données sur le génie côtier et l'environnement.

### 8. Sources de revenus

Cette partie concerne les différentes sources de revenus de l'entreprise. Ces sources peuvent être résumées dans les points suivants :

- Ventes Directes des Cartes des zones côtières à risques élevés, et le Traitement des Bases de Données aux agence gouvernementales.
- Ventes des Formations spécialisés en cartographie Logiciel SIG.
- Contrats de Réalisation de Différentes Études.
- Location de PC performants pour les simulations d'opérations complexes.
- Revenus publicitaires sur la plateforme en ligne.

Le tableau 1 présente la production envisagée de notre bureau sur les trois premières années, tandis que le Tableau 2 expose les prix fixés pour nos services.

**Tableau 1:** Production envisagée les trois premières années

Période	Etude	Formation	Vente de cartes	Location d'un PC puissant
1 <sup>ère</sup> année	6 Etudes	5	15	5
2 <sup>ème</sup> année	8 Etudes	15	30	10
3 <sup>ème</sup> année	12 Etudes	20	45	15

**Tableau 2:** Prix fixé pour chaque service.

Service	Prix	Nombre	Total de la 1 <sup>ère</sup> année
Etude	200,000 DA	6	120,000 DA
Formation	12,000 DA	5	60,000 DA
Carte	2000 DA	15	10,000 DA
Location	2000 DA	5	10,000 DA

### 9. Structure des coûts

Cette composante concerne les coûts associés à l'exploitation de l'entreprise. Cela comprend les coûts fixes et les coûts variables.

#### 1. Coûts fixes

- Loyer.
- Assurance.
- Salaires et charges sociales du personnel.
- Eau et électricité.
- Internet

#### 2. Coûts variables

- Réparation et maintenance du matériel bureautique et informatique.
- Publicité.
- Distribution.
- Fourniture.
- Frais d'exploitation et de maintenance de la plateforme.

Le Tableau 3 détaille les ressources essentielles avec leurs coûts pour créer et mettre au point notre entreprise.

**Tableau 3 :** : Liste des besoins pour la création de l'entreprise

<b>Besoins</b>	<b>Nombre</b>	<b>Prix</b>
Local (40m <sup>2</sup> )	1	1.080.000 DA/an
<b>Matériels Informatiques :</b>		
PC	5	950.000 DA
ImprimanteScanner	1	45.000 DA
Logiciels (Mike 21, Arcgis)	2	0 DA
<b>Matériels Bureautiques :</b>		
Bureaux	5	100.000 DA
Chaises	8	86.000 DA
Armoires	3	60.000 DA
Tableau	1	6000 DA
<b>Fourniture :</b>		
Papiers	6 Rames/an	4500 DA/an
Encre	50 Cartouches/an	15.000 DA/an
Stylos / Marqueurs / Registres	/	12.000 DA/an
<b>Autres :</b>		
Climatiseur	1	70.000 DA
Electricité / Eau	/	≈62.000 DA/an
Abonnement Internet	/	48.000 DA/an
Ingénieur en informatique	1	600.000 DA/an
Spécialiste en marketing	1	600.000 DA/an
Création de plateforme pour vente de services	1	400.000 DA
Site web de l'entreprise	1	300.000 DA
<b>Total</b>		<b>4.438.700 DA</b>

## 10. Résumé du Business Model Canvas

Le tableau 4 résume les neuf éléments clés de notre modèle économique en une page, offrant ainsi un aperçu global de notre concept d'affaires.

Tableau4 : Model Business Canvas

<p><b>Partenaires Clés</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laboratoire étude Maritime (LEM)</li> <li>• Les agences gouvernementales de la gestion côtière.</li> <li>• Les entreprises de construction et d'aménagement côtier.</li> <li>• Les Partenaires Financiers (Banques, Investisseurs).</li> </ul>	<p><b>Activités Clés</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La création des cartes topographique pour divers paramètres influençant la vulnérabilité à l'intrusion marine.</li> <li>• L'offre de formations en programmation utilisant les logiciels spécialisés en cartographie et Système d'informations Géographiques SIG en présentiel et en ligne ArcGIS.</li> <li>• Le traitement des grandes bases de données.</li> <li>• Placements des détecteurs haut sensibilisation (sondes multi paramètres), dans chaque puits qui vont indiquer le niveau piézomètres, la conductivité, la quantité du rapport de salinité Cl<sup>-</sup>/(HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub>). Les détecteurs vont déclencher et arrêter le pompage automatiquement, Si un de ces paramètres dépasse les limites selon la méthode GALDIT, pour le niveau piézomètres il ne faut pas qu'il soit au-dessous 1 mètre, pour la conductivité ne dépasse pas 40 µS, et pour le rapport de la salinité ne soit pas supérieur à 2, jusqu'à la nappe se reprenne.</li> </ul>	<p><b>Proposition de Valeur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'amélioration de l'évaluation des risques côtiers et des stratégies de réduction des risques d'intrusion marine.</li> <li>• Expertise professionnelle, les clients bénéficient ainsi de conseils et de services de haute qualité.</li> <li>• L'offre des solutions rentables et efficaces pour la planification côtière et le développement des infrastructures.</li> <li>• La bonne gestion durable des ressources des eaux souterrain des aquifères côtiers.</li> </ul>	<p><b>Relation Client</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maintenir une relation durable avec nos clients, notre bureau met l'accent sur une collaboration étroite avec les clients.</li> <li>• Des consultations personnalisées pour comprendre les besoins spécifiques des clients et leur offrir des solutions adaptées.</li> <li>• Des mises à jour régulières sur les nouvelles technologies de cartographie dans le domaine seront fournies aux clients afin de les maintenir informés des dernières avancées.</li> </ul>	<p><b>Segments Clients</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Agence Nationale des Changements Climatiques.</li> <li>➤ Délégation Nationale aux Risques Majeur.</li> <li>➤ Agence National des ressources hydraulique (ANRH).</li> <li>➤ Directions de travaux publics.</li> <li>➤ Société des eaux et de l'assainissement d'Alger (SEAAL)</li> </ul>
	<p><b>Ressources Clés</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ressources Humaines :</b> Personnel hautement qualifié en ingénieur et informatique, spécialiste en marketing, Réseau de partenaires et d'experts externes</li> <li>• <b>Ressources Technologiques et Matérielles :</b> Les logiciels (Mike 21, SIG, ArcGIS).  Les matériels (équipements informatiques et bureautiques, local etc.).</li> </ul> <p><b>Ressources de Partenariat :</b> - Capital Social. - Investissements. - Les Prêts Bancaires. - Le Gouvernement.</p>		<p><b>Canaux de distributions</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Site web professionnel.</li> <li>• - Participation aux Appels d'Offres.</li> <li>• Articles et Publications Techniques.</li> <li>• Assister aux conférences et aux salons professionnels.</li> <li>• Collaboration avec des Agences Gouvernementales.</li> <li>• Vente directe et consultation avec des entreprises de construction et d'ingénierie maritime.</li> <li>• Distributeurs : Collaboration avec des distributeurs spécialisés dans le secteur.</li> <li>• Disponibilité Multicanal : Accessibles par téléphone, e-mail, et WhatsApp pour répondre à toutes les questions et fournir un support clientèle complet.</li> </ul>	

## Business Model Canvas

### Structure de Coûts

- **Equipements** : 1.247.000 da
- Matériels informatiques et bureautiques Fonds de roulement : 3.191.700 (Fourniture, factures, salaires, marketing, loyer, etc.)
- Les sondes multi paramétrés : 2,308,800 da.

### Sources de revenus

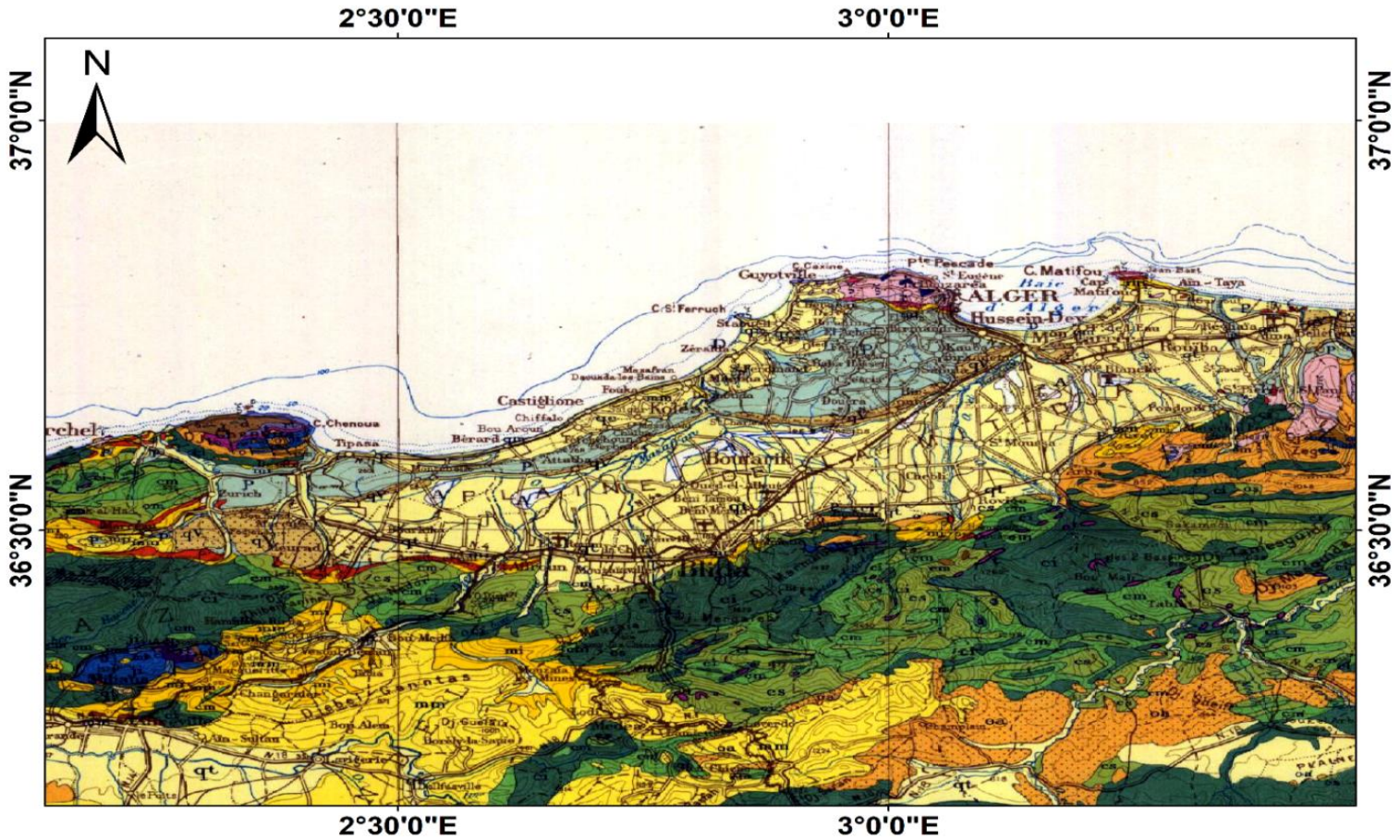
- Ventes Directes des Cartes des zones côtières à risques élevés, et le Traitement des Bases de Données aux agence gouvernementales.
- Ventes des Formations spécialisés en cartographie Logiciel SIG.
- Contrats de Réalisation de Différentes Études.
- Location de PC performants pour les simulations d'opérations complexes.
- Revenus publicitaires sur la plateforme en ligne.



### **Conclusion**

En conclusion, la création de notre Business Model Canvas (BMC) nous a fourni une vue claire et complète de l'ensemble de notre modèle économique. Grâce à ce modèle regroupant les neuf composantes clés, nous disposons désormais d'une approche structurée et visuelle qui constitue un outil puissant pour comprendre, analyser, expliquer et communiquer efficacement notre idée de startup.

*Annexe*



**Légende**

**TERRAINS SÉDIMENTAIRES**

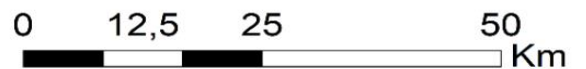
- qt** Quaternaire continental: alluvions, regs, terrasses
- qm** Quaternaire marin: plages anciennes et formations dunaires consolidées qui les accompagnent
- qc** Calabrien: gres marins et formations dunaires associées
- p** Pliocene marin
- A** Alluvions actuelles: lacs, marécages, dayas, chotts, sebkhas, limons et croutes gypso-salines
- qv** Villafranchien: calcaires lacustres, argiles à lignite, couches rouges
- mi** Miocene inférieur marin (Burdigalien)
- O** Oligocene marin

- cs** Crétacé supérieure marin
- cm** Crétacé moyen
- d** Dévonien

**TERRAINS MÉTAMOROPHIQUES**

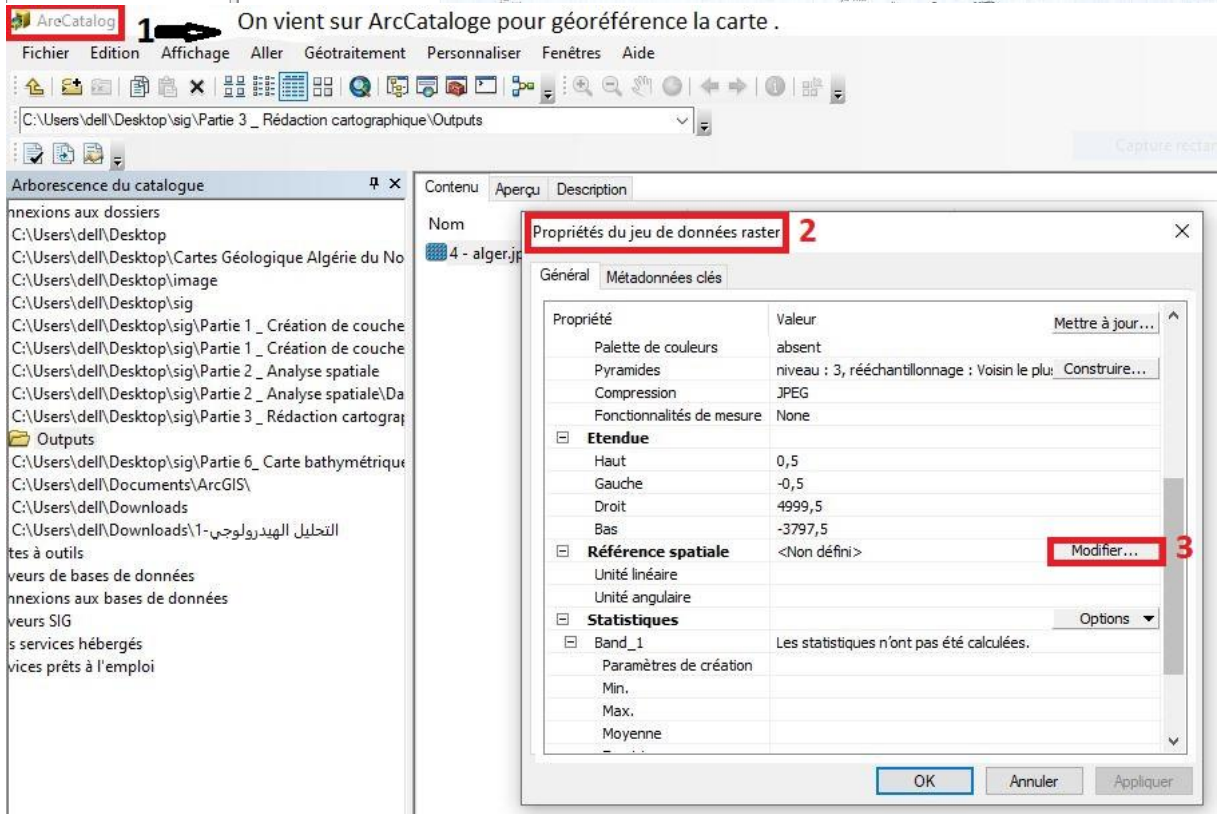
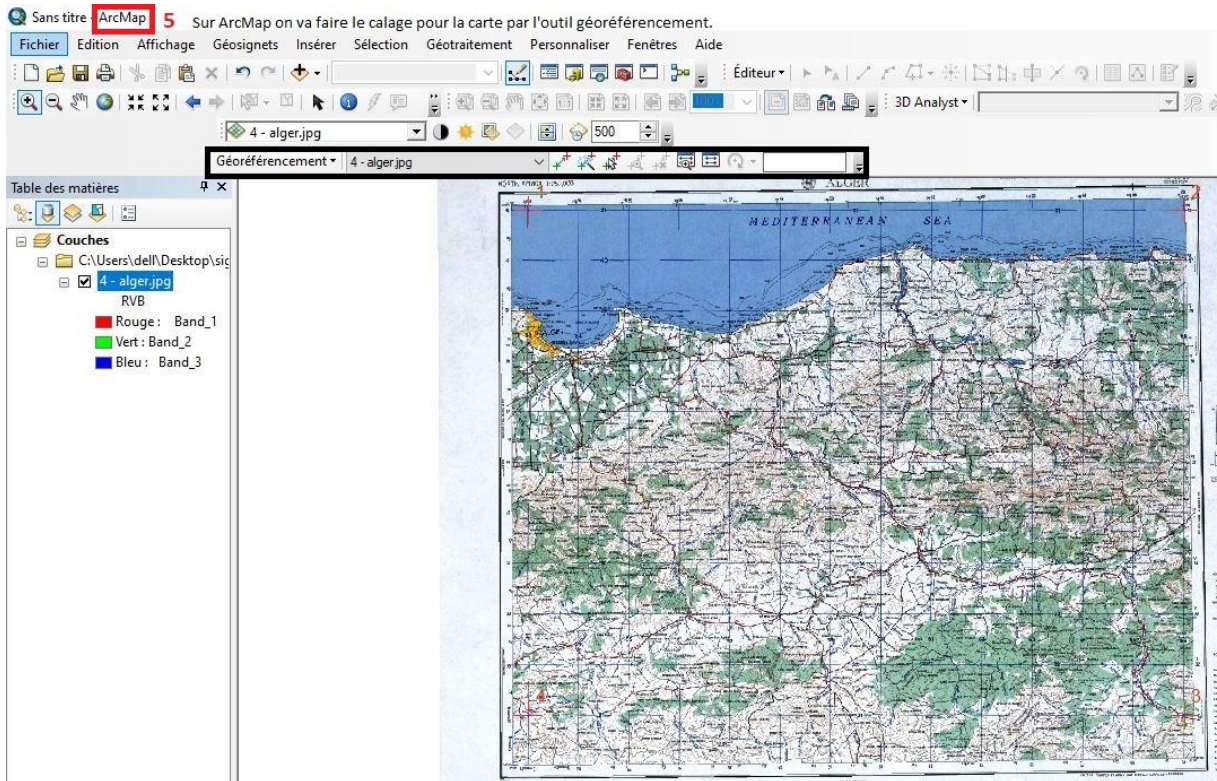
- ξ** Micaschistes, schistes satinés

**SCG: WGS 1984 UTM Zone 31**



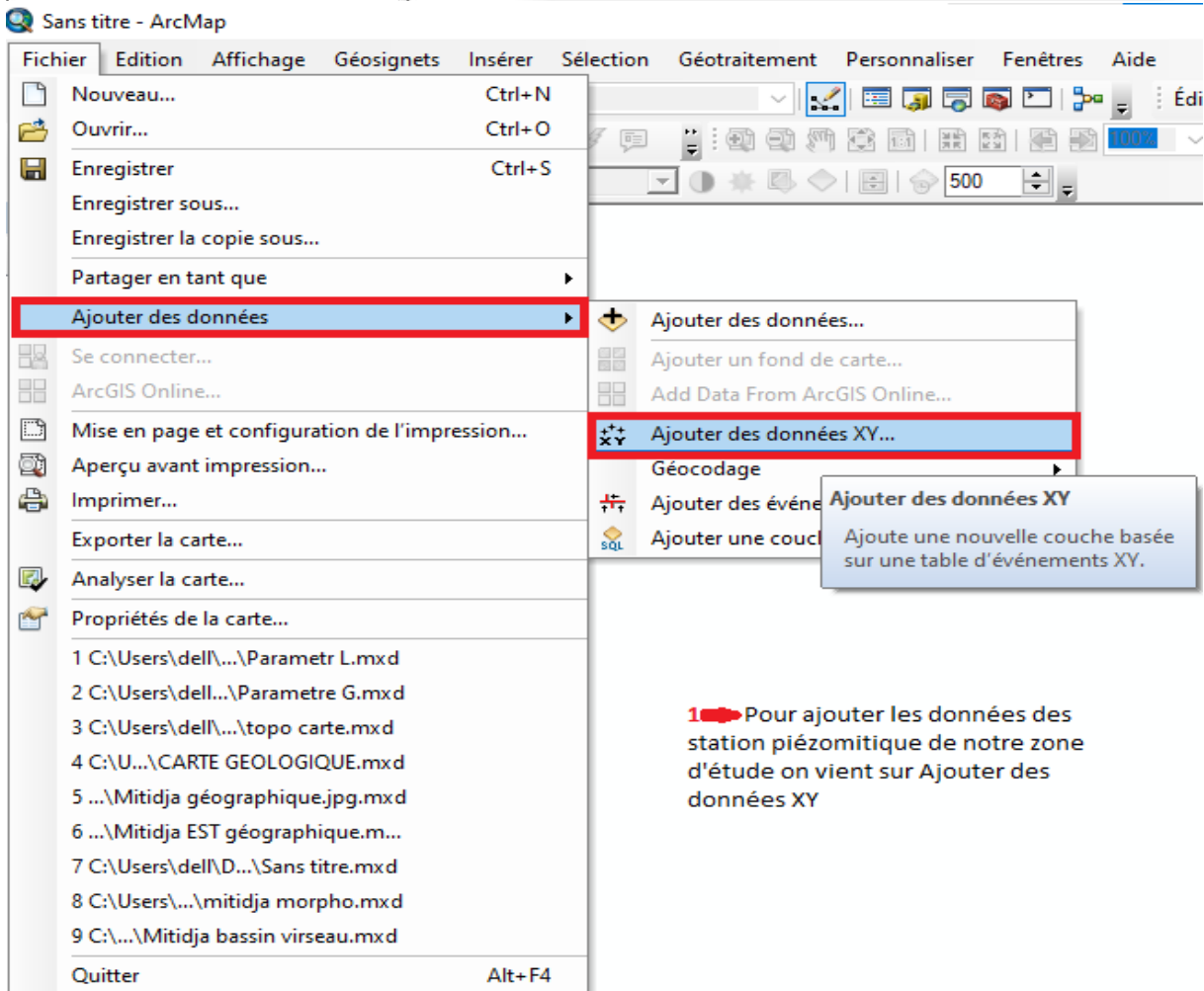
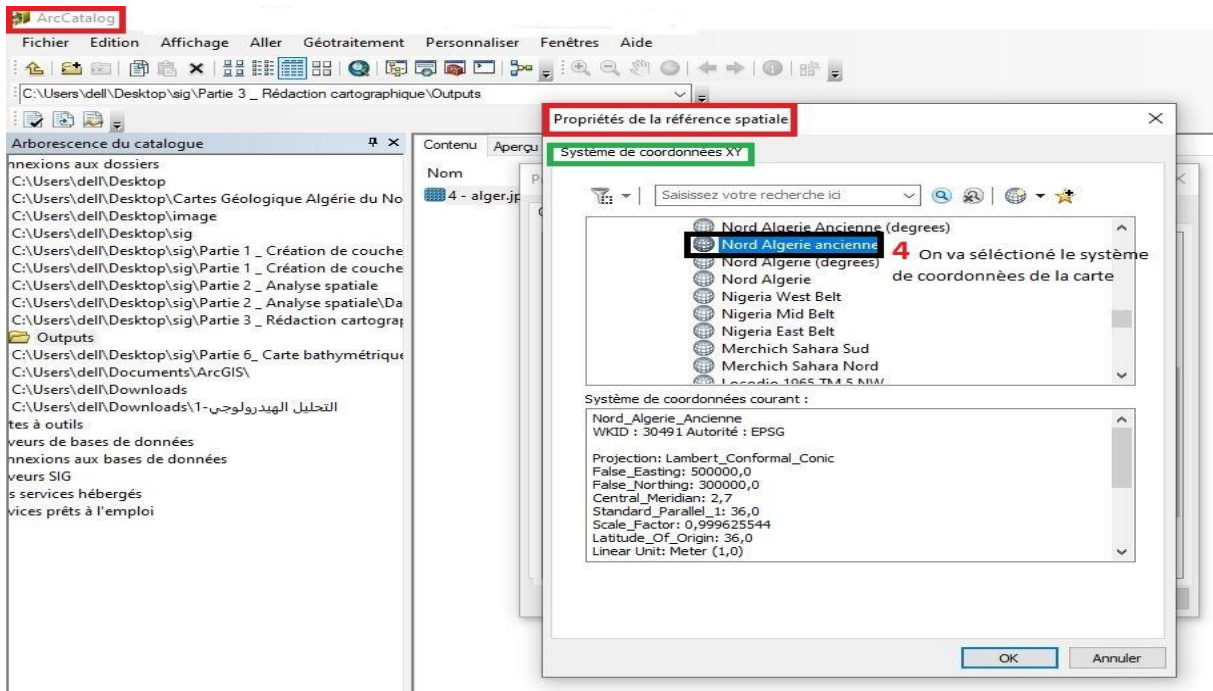
Carte géologique de la zone de la Mitidja.

# Annexe

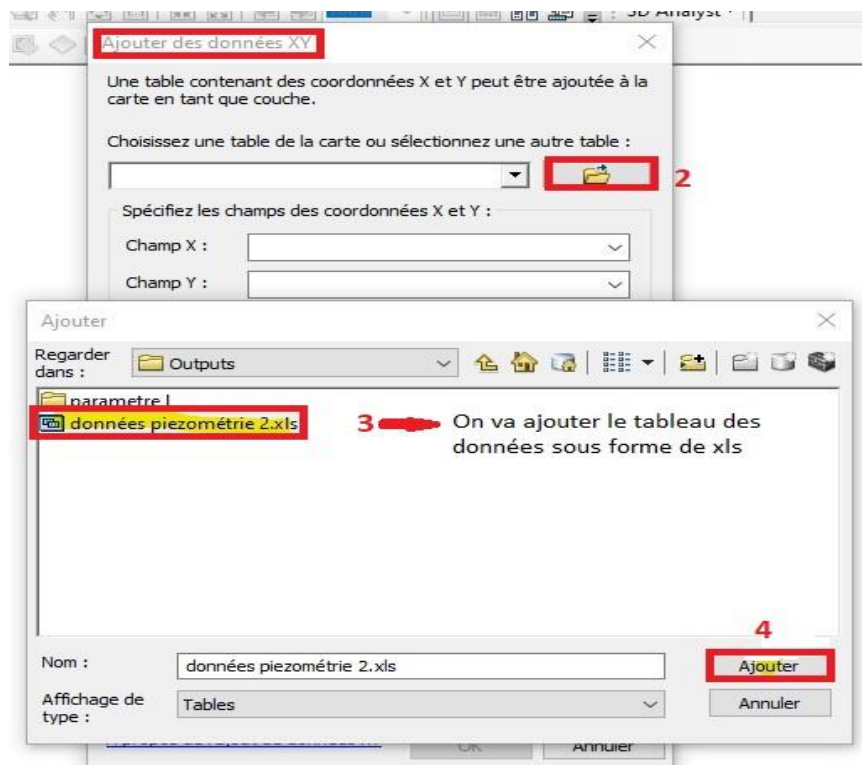
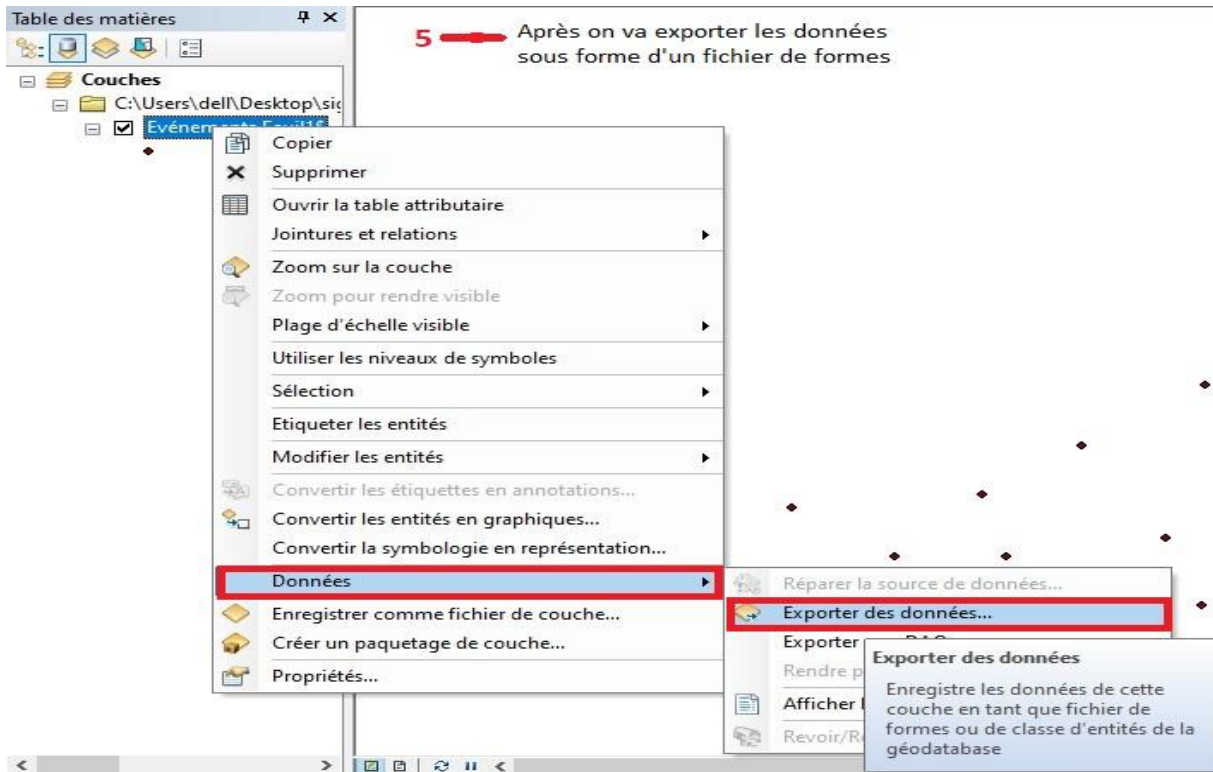


Annex 2

# Annexe



## Annexe



# Annexe

**Exporter des données**

Exporter:

Utiliser le même système de coordonnées que:

- les données de la source de cette couche
- le bloc de données
- le jeu de classes d'entités dans lequel vous exportez les données (s'applique uniquement si vous exportez vers un jeu de classes de géodatabase)

Classe d'entités en sortie :

Table des matières

- Couche
- C:\Users\dell\Desktop\sig
- données\_pié

Ouvrir la table attributaire

Ouvre la table d'attributs de cette couche. Raccourci : appuyez sur CTRL + double-cliquez sur le nom de la couche OU appuyez sur CTRL + T.


FID	Shape *	N° PZ	X	Y	Z	prof	NS	RR	m	Npiézo
0	Point ZM	PZ 32	543550	382250	27,01	65			26,52	0,49
1	Point ZM	PZ 36	544500	380500	18,07	80			25,1	-7,03
2	Point ZM	PZ 38	544750	382350	19,65	50			17,1	2,55
3	Point ZM	PZ 39	544900	381850	17,67	70			26,15	-8,48
4	Point ZM	PZ 41	545370	382750	19,38	50			25,65	-8,27
5	Point ZM	PZ 42	545900	382000	23,67	80			32,2	-8,53
6	Point ZM	PZ 45	546850	382800	17,82	50			26,05	-3,23
7	Point ZM	PZ 48	546900	383850	14,2	65			20,35	-6,15
8	Point ZM	PZ 50	547400	382800	16,01	50			21,85	-5,84
9	Point ZM	PZ 51	547800	382250	17,38	50			22,5	-5,12
10	Point ZM	PZ 54	548850	385050	10,69	60			16,9	-6,21
11	Point ZM	PZ 58	549450	386050	13,72	45			11,1	2,62
12	Point ZM	PZ 59	548300	384650	13,73	60			18,8	-5,07
13	Point ZM	PZ 60	548150	383900	15,11	50			18,7	-3,59
14	Point ZM	PZ 61	547650	383750	14,28	65			18,7	-4,42
15	Point ZM	PZ 62	546150	383250	15,11	60			21,32	-6,21
16	Point ZM	PZ A	544200	381850	19,24	50			20,2	-0,96
17	Point ZM	PZ B	549350	383600	16,38	70			26,55	-10,17
18	Point ZM	PZ C	548500	382550	18,34	60			20,35	-2,01
19	Point ZM	PZ D	547000	382000	15,49	70			25,4	-9,91
20	Point ZM	PZ E	546125	381450	16,77	75			24,05	-7,28
21	Point ZM	PZ F	549200	384250	15,07	55			23,5	-8,43
22	Point ZM	PZ G	548450	383300	16,43	70			25,15	-8,72

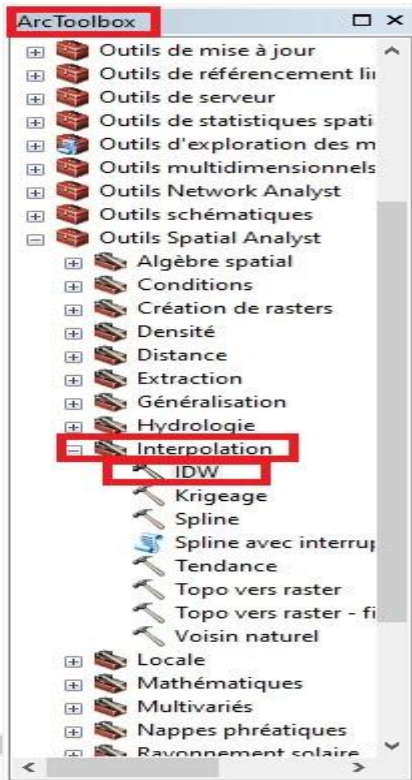
Paramètres d'environnement


- Nombres aléatoires
- Cartographie
- Couverture
- Analyseur raster**
  - Taille de cellule
    - Maximum d'entrées
  - Masque
    - Zone d'étude**
- Stockage des données raster
- Geostatistical Analysis
- Jeu de données de MNT
- Serveur de traitement à distance
- TIN

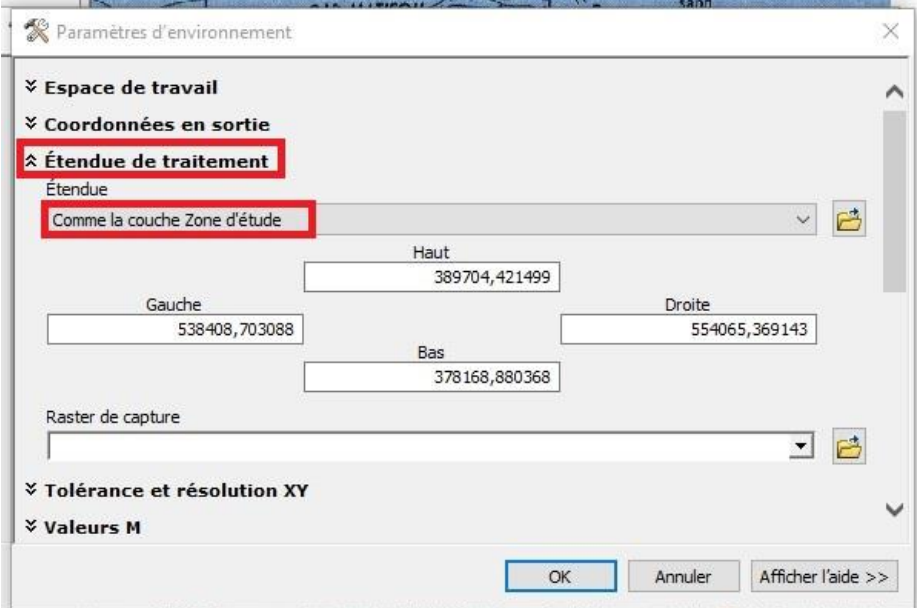
5 → Enfin on clique sur OK pour exécuté .

## Annexe

2  Puis on vient sur Arc Toolbox Outils Spatial Analyst .On utilise l'outil IDW (Outil de géotraitement qui permet d'interpoler une surface à partir de points).



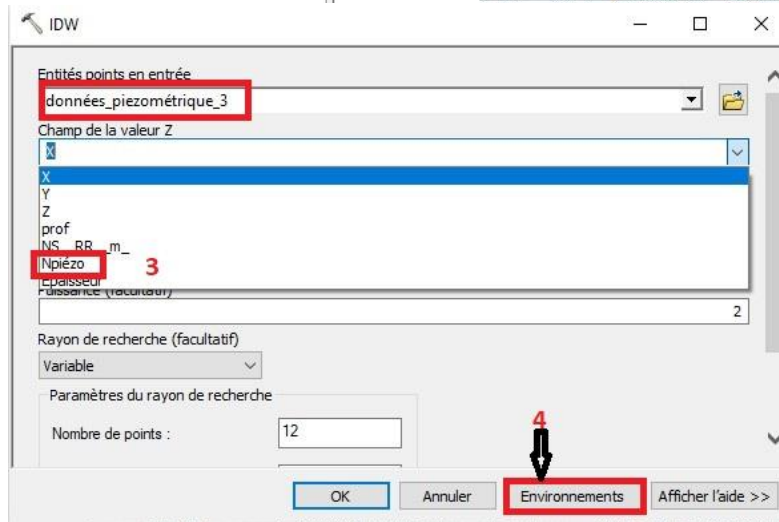
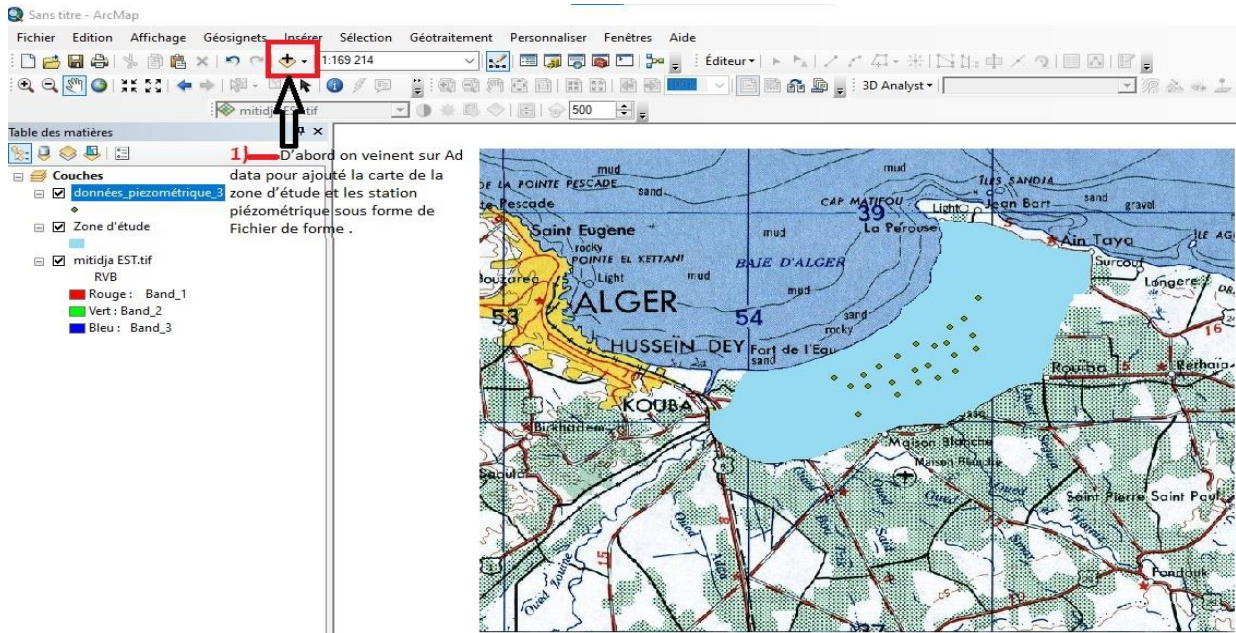
4  Après on vient sur Environnements pour déterminer l'étendue de traitement .



Coordonnée	Valeur
Haut	389704,421499
Gauche	538408,703088
Droite	554065,369143
Bas	378168,880368



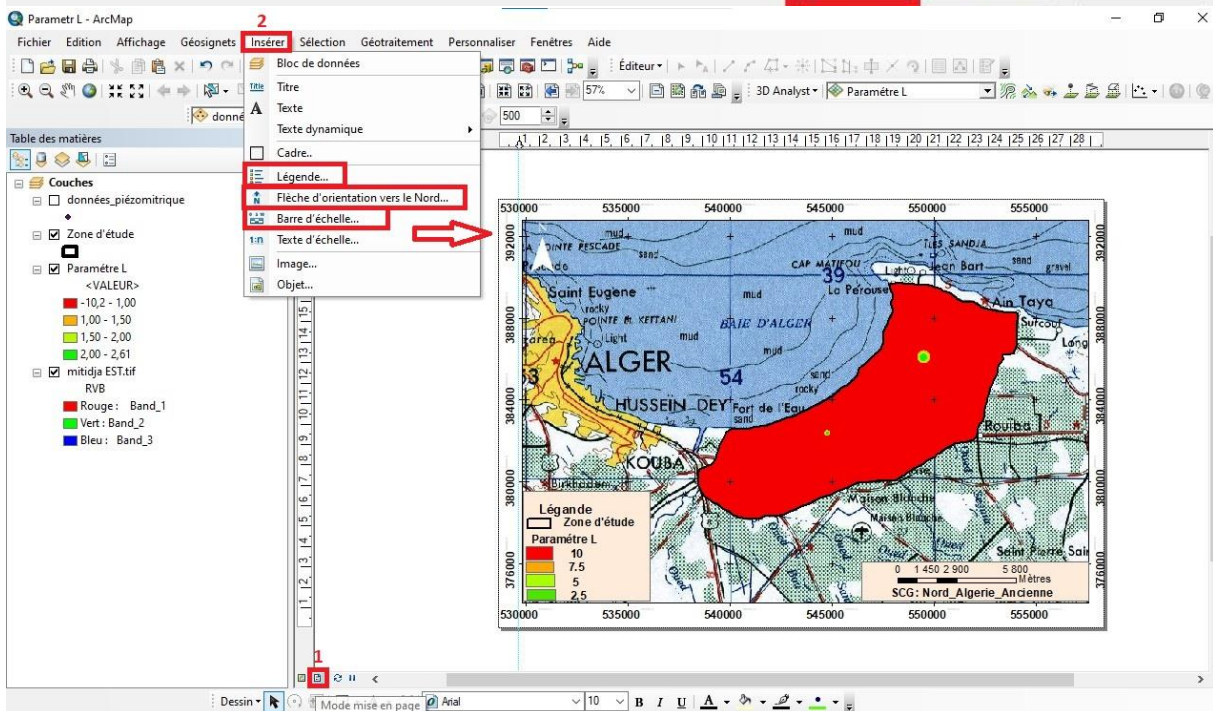
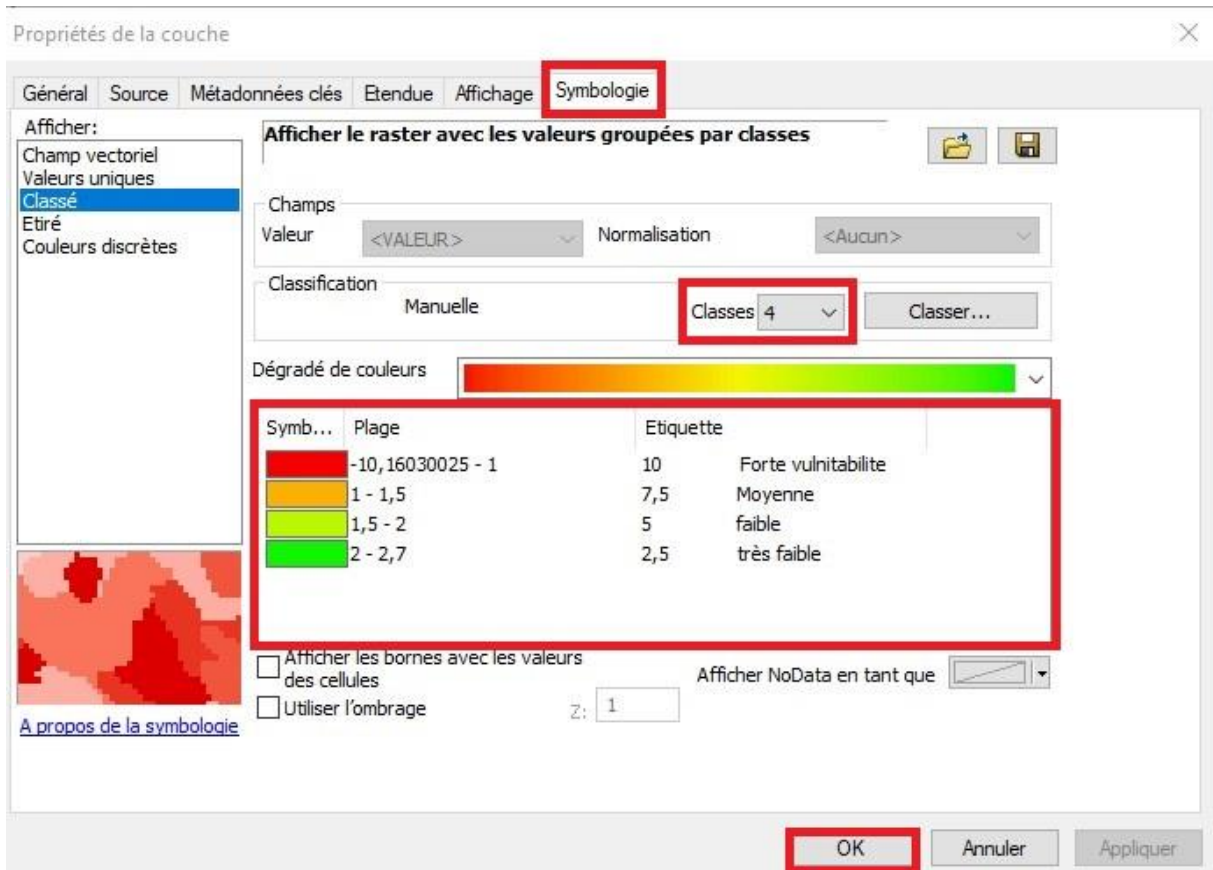
# Annexe



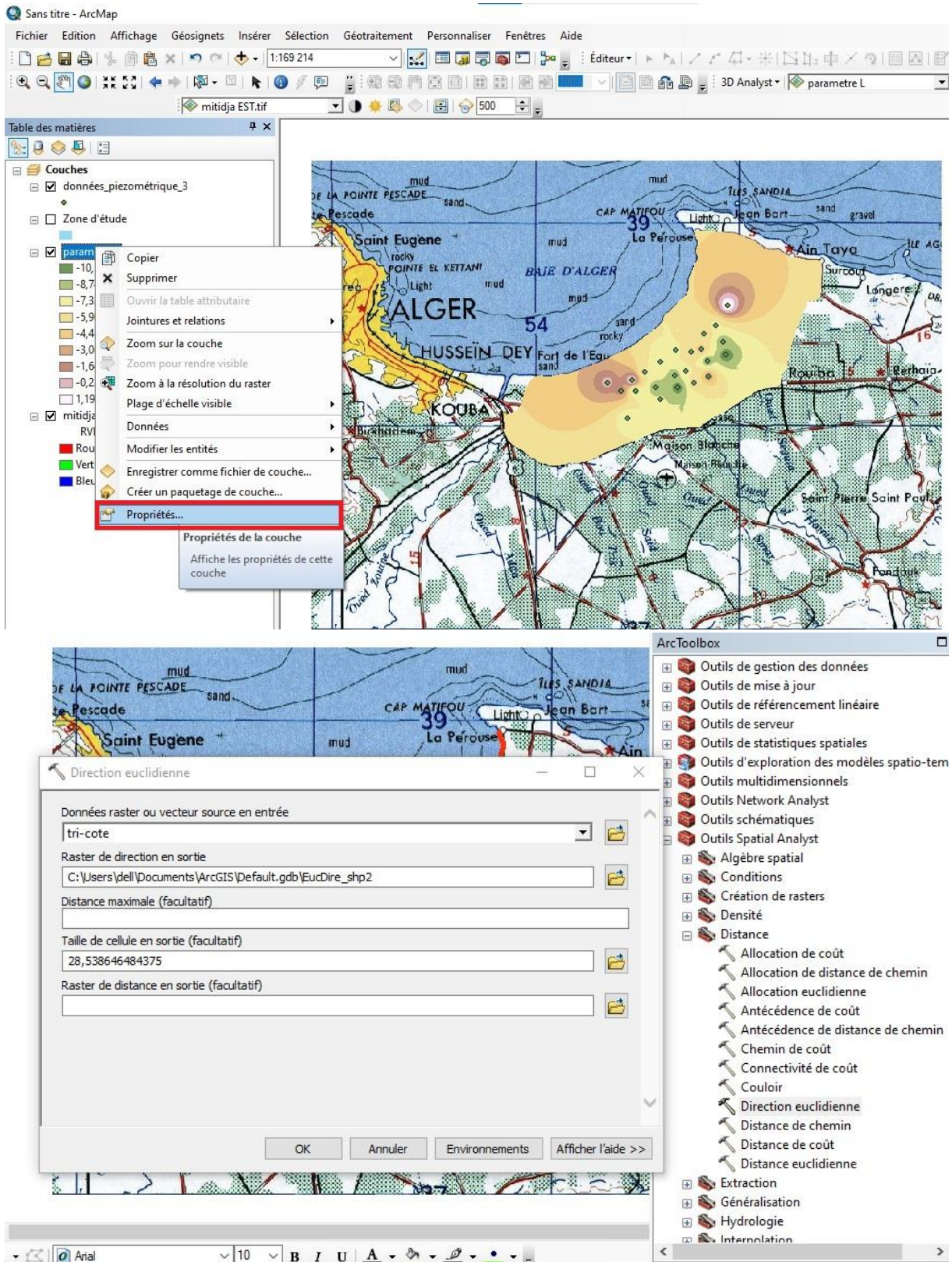
3 ➡ Ensuite on va sélectionné le champs de paramètre que nous voulons traité.

Annex 2

# Annexe

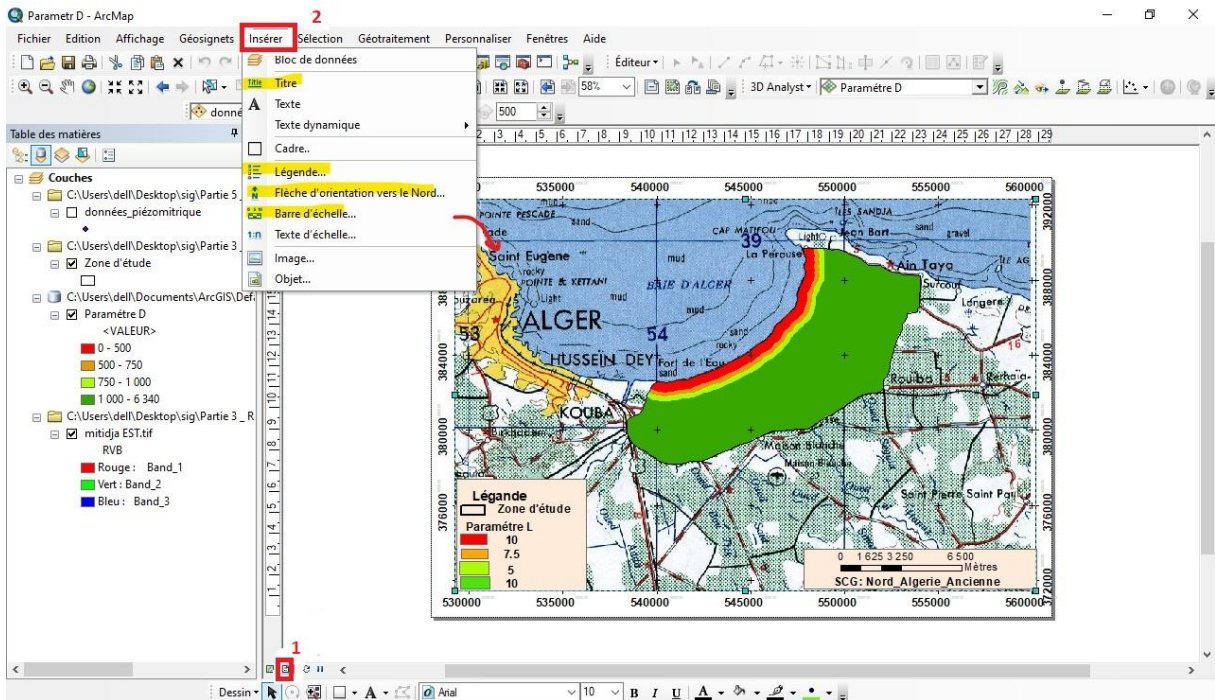
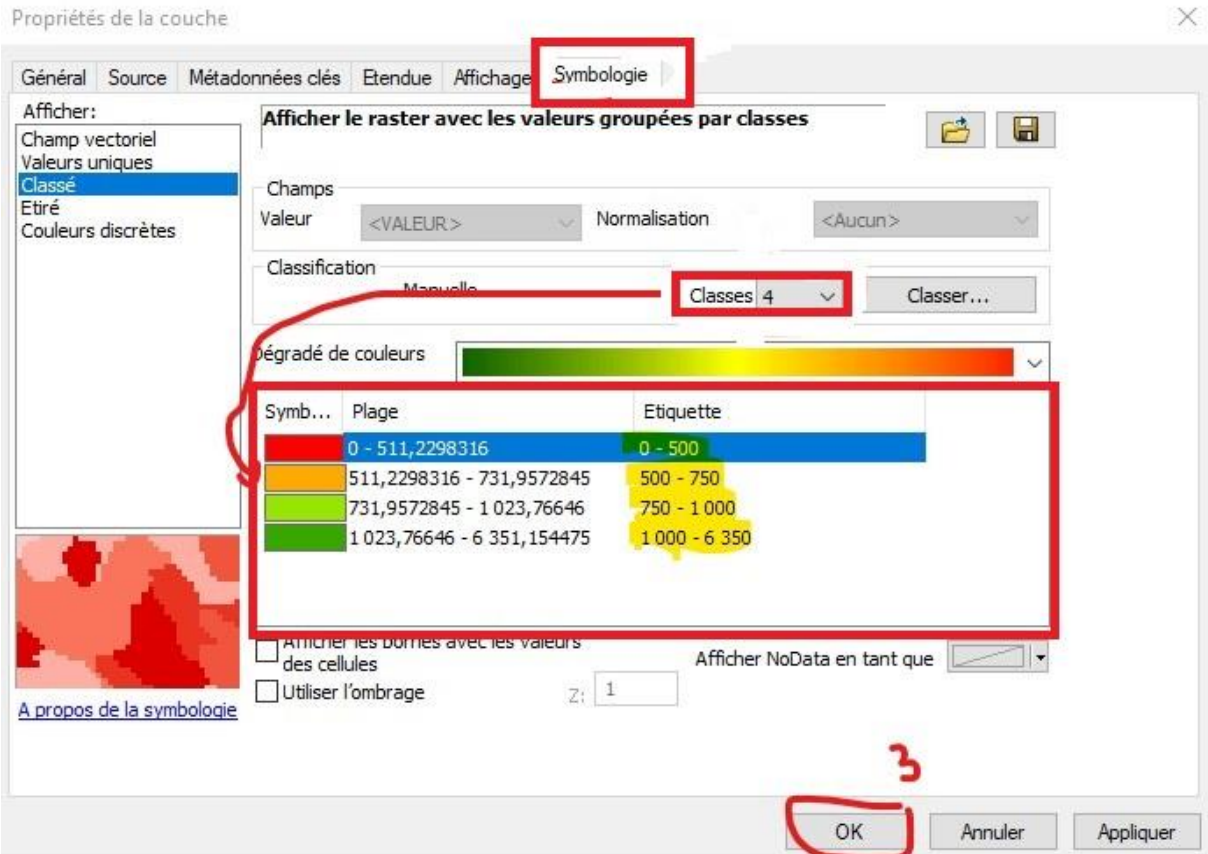


# Annexe

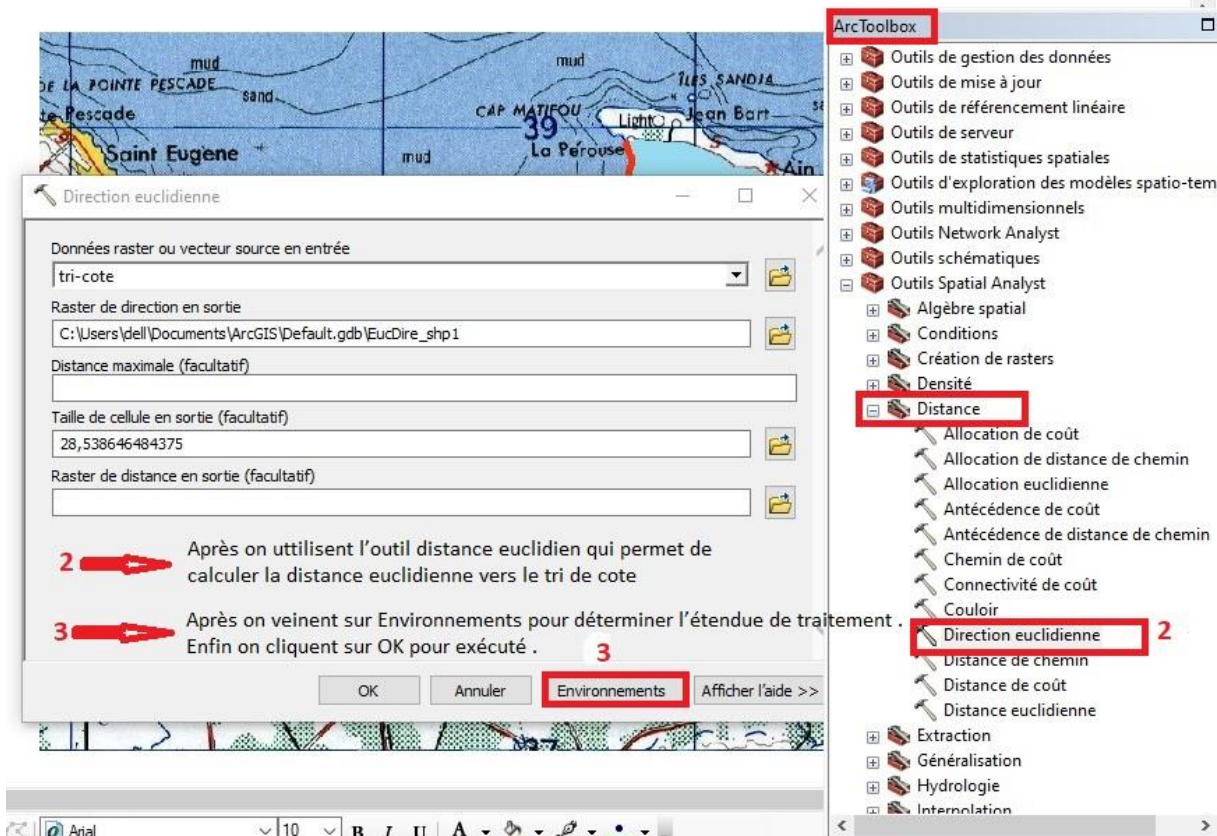
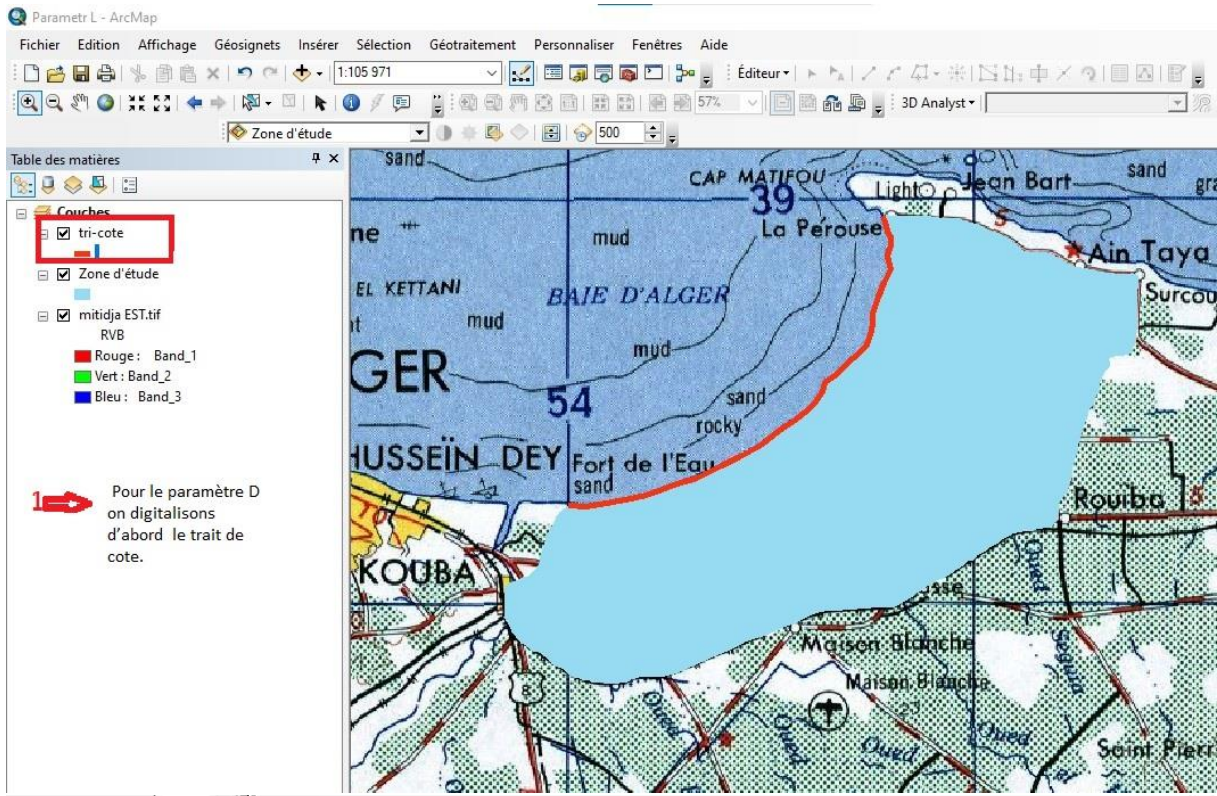


Annex 2

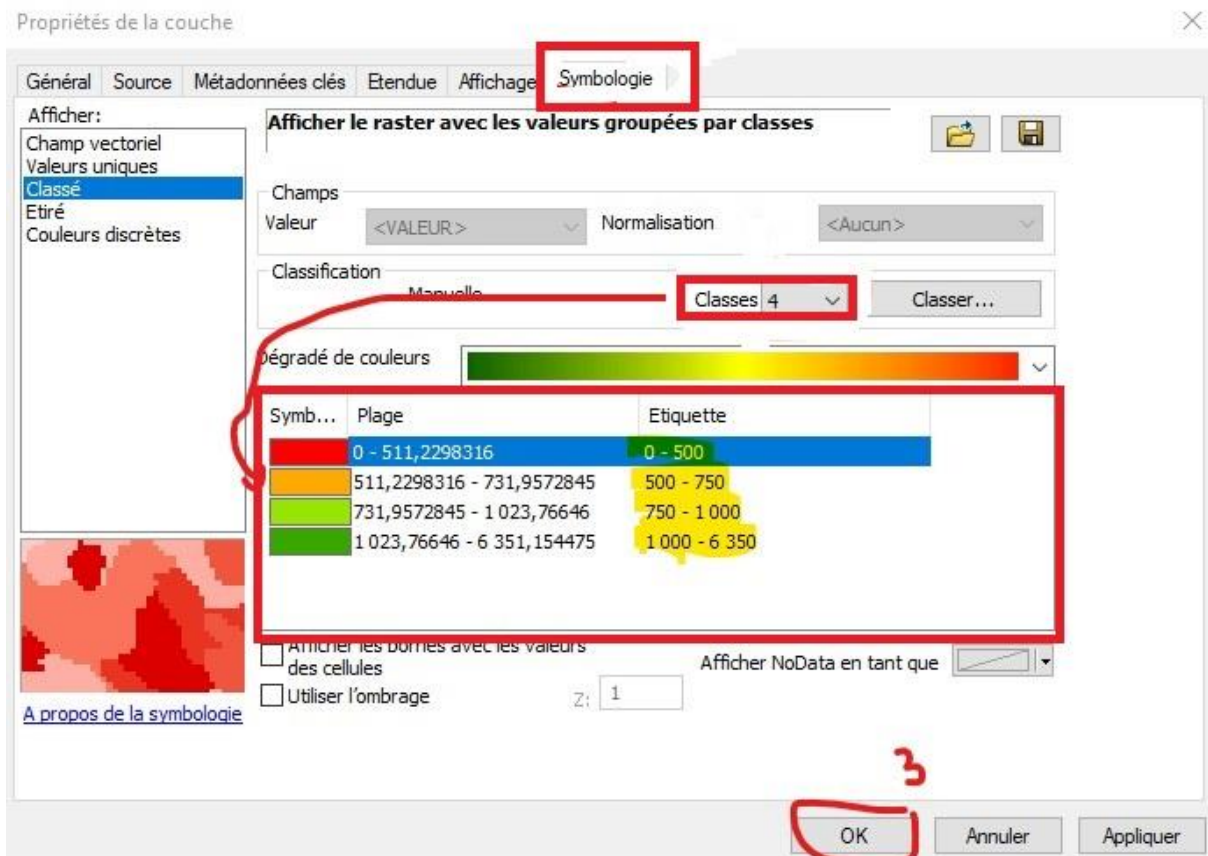
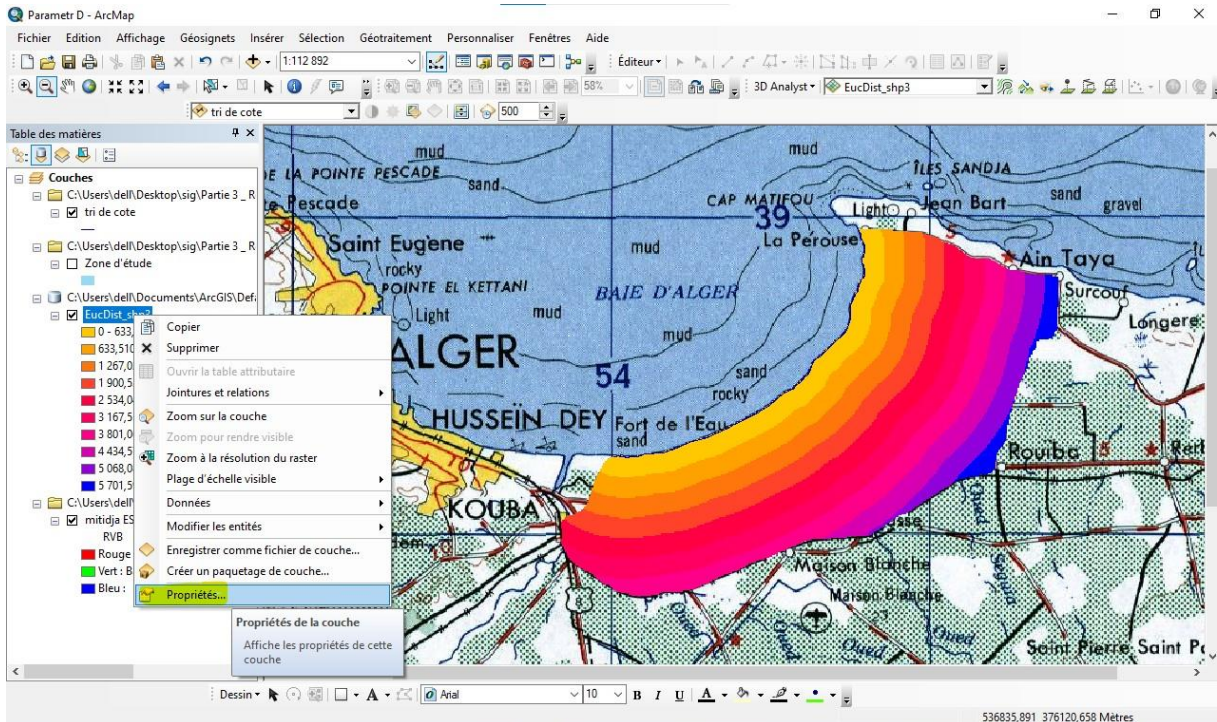
# Annexe

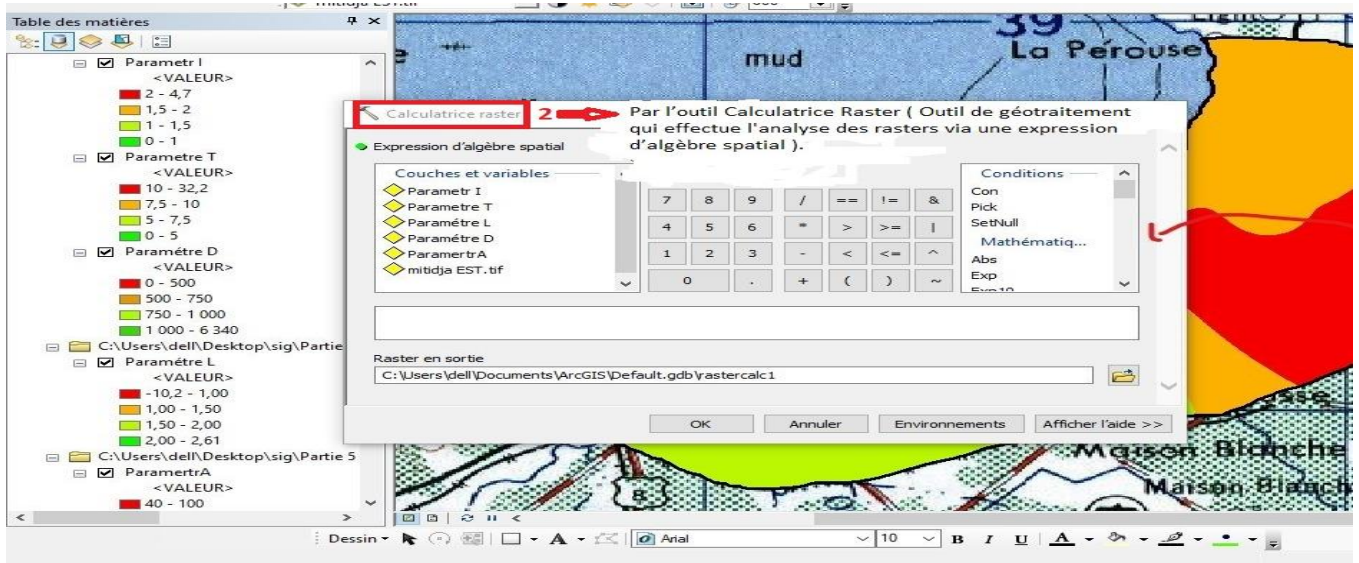
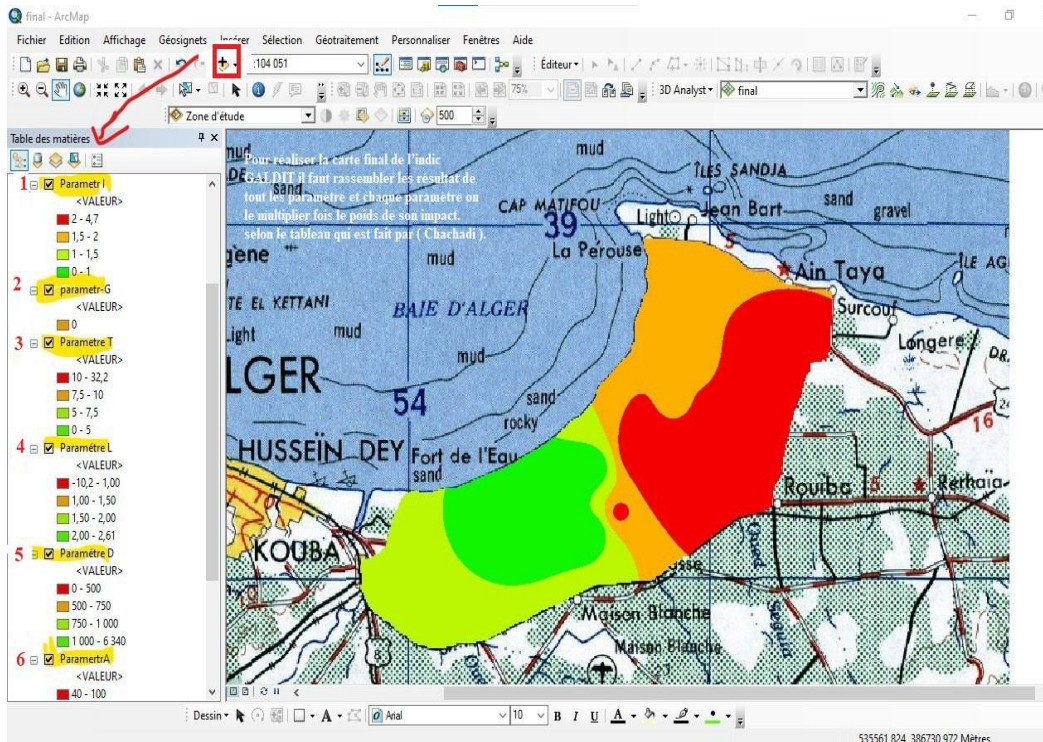


# Annexe

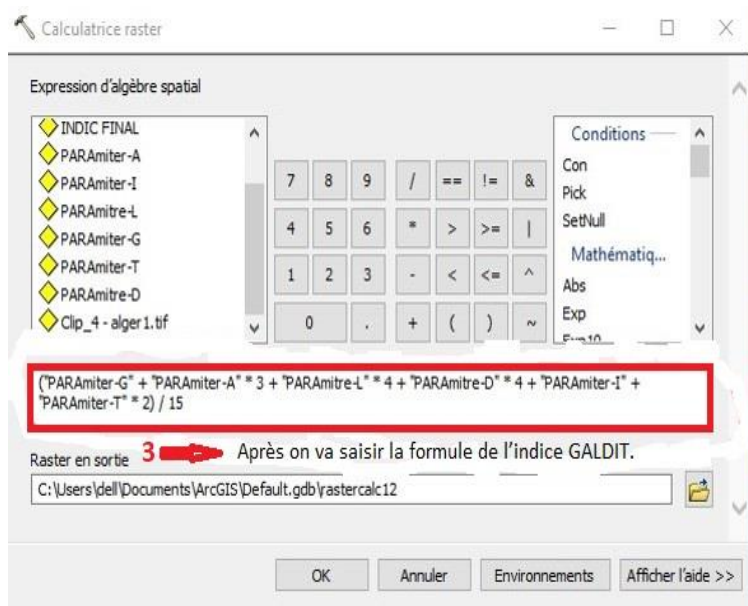


# Annexe





## Annexe



## Annex 2