



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique



**Université Amar Thelidji- Laghouat**

**FACULTE DE GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE**

**DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL**

**MEMOIRE DE MASTER**

**Présenté par : Zahi Rachida et Cherifi Fatima Zohra**

**DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE**

**FILIERE : GENIE CIVIL**

**OPTION : STRUCTURE**

## **Thème**

**ETUDE DE LA VULNERABILITE A L'ENSABLEMENT  
DES HABITATIONS ET INFRASTRUCTURES DE LA  
VILLE DE IN SALAH: DESORDRES STRUCTURELS ET  
ANALYSES PATHOLOGIQUE**

**Jury de soutenance :**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
Dr. Djoudi Amina	MCB	Président
Mr. Nouioua Taher	MAA	Examineur
Mme. Belghmane Farida	MAA	Encadreur

**Promotion : septembre - 2019**

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mon très cher père ,*

*A celle qu'elle a veillée sur moi pendant toujours, ma chère mère,*

*A mes frères ,*

*A mon mari,*

*A toute ma famille (mes tantes mes oncles),*

*A toute la famille de mon marie,*

*A mon binôme Fatima Zohra,*

*A Tous ceux qui me connaissent.*

***RACHIDA.***

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A l'âme de mon père.*

*A ma chère mère qui a toujours crue en moi et mes études,*

*A mes sœurs: Naima, Hanane , Nacira , Fadhila, Amel, Sara et Soumia.*

*A mes frère: Boumeddiene, Mohamed*

*A toute ma famille (mes tantes mes oncles)*

*Les petits de ma famille "Chahid, Djihane, Toufik, Bachir, Ritadj "*

*A mon binôme Rachida qui n'a pas cessé de m'encourager tout le temps et sa respectueuse famille.*

*A toute ma promotion de Génie Civil 2018/2019.*

*A toutes mes amis : Fatiha , Hadjira , Nassima Hafes, Nassima Sghair.*

*A Tous ceux qui me connaissent.*

***FATIMA ZOHRA.***

## **Remerciement**

*A l'issu de ce modeste travail, nous remercions tout d'abord le bon DIEU tout puissant de nous avoir procuré patience et volonté, et pour son aide miséricordieuse durant toute notre années d'étude.*

*J'exprime ma profonde gratitude à notre promotrice Mme.F.BOULGHMAN., pour ses conseils, ses remarques et le temps qu'elle mon 'a consacré.*

*J'exprime ma profonde gratitude aux mes enseignants Mr.NOUIOUA examinateur Melle A.DJOUDI président de jury .*

*J'adresse mes sincères remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé au niveau de la conservation des forêts d'In Salah.*

*Enfin, je tiens à exprimer ma reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

***Zahi Rachida / Cherifi Fatima Zohra.***

## ملخص

يعتبر الاهتمام بدراسة الأخطار الطبيعية وتأثيرها على المجال الحضري ذو أهمية كبرى، خاصة مع التغيرات المناخية التي يشهدها العالم، ومن بينها ظاهرة الترمل. تعد مشكلة الترمل من أهم معيقات التنمية في عديد من دول العالم ومن بين التحديات التي تواجهها الجزائر هي الطبيعة الصحراوية، وخصوصا بالمدن الصحراوية ومن بين هذه المدن مدينة عين صالح التي تعاني من ظاهرة الإطماء.

قد أسهمت تقنيات الاستشعار عن بعد ومنها صور الأقمار الصناعية بشكل جلي في إثراء الدراسات التطبيقية المتعلقة بالرمال من حيث توزيعها وتحديد المناطق المتضررة من جراء الترمل وذلك بالتقاط صور متكررة للمكان نفسه لفترات طويلة.

**الكلمات المفتاحية:** الترمل، نظم المعلومات الجغرافية، الكثبان، هشاشة ومدينة.

## Résumé

L'attention portée à l'étude des risques naturels et de leur impact sur la sphère urbaine revêt une grande importance, en particulier face aux changements climatiques observés dans le monde, notamment l'ensablement. Le problème du l'ensablement est l'un des obstacles les plus importants au développement dans de nombreux pays du monde et l'Algérie est confrontée au défi que représente la nature désertique, en particulier les villes désertiques, une de ces villes est Ain Saleh, qui souffre du phénomène de l'ensablement.

L'utilisation du système d'informatique géographique, y compris l'imagerie par satellite, ont clairement contribué à la réalisation d'études sur le sable en termes de répartition et d'identification des zones touchées par l'empiètement du sable, en prenant des photographies fréquentes du même lieu pendant de longues périodes.

**Mots clés :** ensablement, sig, sable de dune, dunes, vulnérabilité et ville.

## Abstract

The attention to the study of natural hazards and their impact on the urban sphere is a great importance, particularly in the face of global climate change, including silting.

The problem of silting is one of the most important obstacles to development in many countries of the world and Algeria is facing the challenge of the desert nature, especially the desert cities, one of these cities is Ain Saleh who suffers from the phenomenon of silting.

The use of the geographic information system, including satellite imagery, has clearly contributed to conducting sand studies in terms of distribution and identification of areas affected by sand encroachment, taking frequent photographs of the same place for long periods.

Key words: silting, sig, sand dune, dunes, vulnerability and city.

## Table des matières

Dédicaces .....	
Dédicaces .....	
Remerciements.....	
ملخص.....	<b>i</b>
Résumé.....	<b>i</b>
Abstract.....	<b>ii</b>
Liste des figures .....	<b>vi</b>
Liste des tableaux.....	<b>viii</b>
Introduction générale .....	1
<b>1. Chapitre 1 : Concepts généraux .....</b>	<b>2</b>
1.1. Introduction .....	2
1.2. Concepts généraux .....	2
1.2.1. Les risques naturels.....	2
1.2.2. Développement urbain .....	2
1.2.3. Vulnérabilité .....	3
1.2.4. Type de vulnérabilité .....	3
1.2.5. Résilience.....	4
1.2.6. Ville.....	4
1.2.7. Désert .....	4
1.3. L'ensablement.....	4
1.3.1. L'ensablement .....	4
1.3.1.1. Définition.....	4
1.3.1.2. Origine de sable .....	4
1.3.1.3. Facteurs d'ensablement.....	5
1.3.2. Érosion éolienne.....	5
1.3.2.1. Origine de l'érosion éolienne .....	6

1.3.2.2.	Facteurs de l'érosion éolienne .....	6
1.3.2.3.	Effets de l'érosion éolienne .....	7
1.3.2.3.1.	Effets mécaniques.....	7
1.3.2.3.2.	Effets physiologiques .....	7
1.3.2.4.	Mécanismes de l'érosion éolienne .....	8
1.3.2.4.1.	Les mécanismes de mouvement à l'échelle des particules .....	8
1.3.2.4.2.	Les mécanismes à l'échelle des mouvements globaux .....	9
1.4.	Le vent.....	10
1.4.1.	Définition .....	10
1.4.2.	Classification des vents .....	12
1.4.2.1.	Les vents inactifs .....	12
1.4.2.2.	Les vents actifs .....	12
1.4.3.	Quantité de sable mise en mouvement et facteurs influençant le transport du sable .....	13
1.4.3.1.	La composant granulométrique .....	13
1.4.3.2.	Vitesse du seuil.....	13
1.4.3.3.	Hauteur de transport du sable .....	14
1.4.3.4.	Principales formes d'accumulation des sables.....	14
1.4.5.	La physique des dunes .....	21
1.5.	Conclusion.....	22
<b>2.</b>	<b>Chapitre 2 : Etude analytique de la ville d'In Salah .....</b>	<b>23</b>
2.1.	Introduction .....	23
2.2.	L'emplacement.....	23
2.3.	Le côté naturel .....	24
2.3.1.	Le plateau de Tademaït .....	24
2.3.2.	La dépression d'In Salah.....	25
2.3.3.	Les dunes de sables .....	26

2.3.4.	Reg .....	26
2.3.5.	Sebkha.....	26
2.3.6.	Les pistes.....	26
2.3.7.	Réseau hydrologique.....	26
2.4.	Géologie de la région.....	27
2.5.	Hydrogéologie .....	28
2.6.	La végétation .....	29
2.7.	Etude du climat .....	30
2.7.1.	La température .....	30
2.7.2.	La Précipitation.....	31
2.7.3.	Le vent .....	32
2.8.	Conclusion.....	34
<b>3.</b>	<b>Chapitre 3 : Concept de base sur le système d'informations géographiques.....</b>	<b>35</b>
3.1.	I. Introduction.....	35
3.2.	Définition de système d'information géographique .....	35
3.3.	Les principales composantes d'un SIG.....	36
3.4.	Les fonctionnalités d'un SIG.....	37
3.5.	Quelques logiciels SIG.....	38
3.5.1.	Les logiciels « commerciaux » les plus courants.....	38
3.5.2.	Les logiciels « gratuits » .....	39
3.6.	Domaines d'application du SIG.....	39
3.6.1.	Pour les grandes échelles .....	39
3.6.2.	Pour les échelles moyenneset petites .....	39
3.7.	Conclusion.....	40

<b>4. Chapitre 4 : Résultats,analyse et discussions .....</b>	<b>41</b>
4.1. Introduction .....	41
4.2. Définition du projet.....	41
4.3. Les objectifs de l'étude .....	41
4.4. Les données dans les sig .....	41
4.4.1. Modes d'acquisition de données.....	42
4.5. Types de données dans un SIG .....	44
4.5.1. Données spatiales.....	45
4.5.2. Données associées.....	46
4.6. Historique de la zone d'étude.....	47
4.7. Evaluation des changements de sable dans la région d'étude.....	49
4.8. Evaluation des changements de sable dans la région d'étude dans les années 2002, 2007, 2013 et 2019 .....	52
4.9. Désordres structurels et analyses pathologique des constructions.....	53
4.10. Analyse et discussion .....	57
4.11. Conclusion.....	66
<b>5. Conclusion Générale.....</b>	<b>67</b>
<b>6. Références bibliographiques.....</b>	<b>68</b>

## Liste des figures

### Chapitre 1

Figure I. 1. schéma représentative de Dynamique de l'avancée du sable.....	5
Figure I. 2. La nature du mouvement des particules varie selon leur dimension. ....	10
Figure I. 3. Les modes d'entraînement des particules par le vent.....	11
Figure I. 4. Les formes de ripple marks sur les dunes. ....	15
Figure I. 5. Le voile sableux dans la région el Zaouïa.....	16
Figure I. 6. schéma représentative des dunes linéaires .....	17
Figure I. 7. schéma représentative des Barkhanes. ....	18
Figure I. 8. Les barkhanes dans la entrée de la ville, partie Est de la ville (Daghamcha) .....	18
Figure I. 9. schéma représentative de Nebkas.....	19
Figure I. 10. Les nebkas sur le bordure de la route de Tamanrasset.....	19
Figure I. 11. schéma représentative des cordons longitudinaux .....	20
Figure I. 12. schéma représentative de dune pyramidale.....	21
Figure I. 13. Morphologie de la barkhane.....	22

### Chapitre 2

Figure II. 1. localisation de la zone d'étude.....	24
Figure II. 2. Les grands ensembles des reliefs de la région In Salah. ....	25
Figure II. 3 . Image satellitaire de la zone d'étude .....	27
Figure II. 4 . coupe piézométrique de la nappe aquifère de la région. ....	29
Figure II. 5 . Température moyenne (°C) à Ain Saleh pour la période 2008-2017 .....	31
Figure II. 6. Quantités de précipitations (mm) pour mois à Ain Saleh pour la période 2008-2017. ....	32
Figure II. 7. Quantités de précipitations (mm) pour chaque saison à Ain Saleh pour la période 2008-2017.....	32
Figure II. 8 Vitesse du vent (m/s) de la station d'Ain Saleh pendant la période 2008-2017..	33
Figure II. 9. La rose des vents de la station d'In Saleh pendant la période 2008-2017 .....	33

### Chapitre 3

Figure III. 1 le rôle du sig .....	36
Figure III. 2. Les principales composantes de SIG .....	37
Figure III. 3. Superposition sous un SIG .....	38
Figure III. 4. Domaines d'application des SIG .....	40

### Chapitre 4

Figure IV.1. Extraction des couches.....	42
Figure IV. 2. Image aérien pour la zone d'étude..	43
Figure IV. 3. Exemple d'importation de fichiers vers le SIG.....	44
Figure IV. 4. Types de données dans un SIG..	45
Figure IV. 5. Données spatiales.....	46
Figure IV. 6. Données associées .....	47
Figure IV. 7. Image satellitaire pour la zone d'étude l'année 2002.....	48
Figure IV. 8 . Image satellitaire pour la zone d'étude l'année 2007.....	48
Figure IV. 9. Image satellitaire pour la zone d'étude l'année 2013.....	48
Figure IV.10. Image satellitaire pour la zone d'étude l'année 2019.....	49
Figure IV.11. Carte d'ensablement de la région d'étude en 2002... ..	49
Figure IV.12.Carte d'ensablement de la région d'étude en 2007. ....	50
Figure IV.13.Carte d'ensablement de la région d'étude en 2013.. ..	51
Figure IV.14.Carte d'ensablement de la région d'étude en 2019... ..	51
Figure IV. 15 Carte d'ensablement de la région d'étude dans les années 2002, 2007, 2013 et 2019.....	52
Figure IV.16. l'ensablement des maisons avec le temps.. ..	53
Figure IV.17. Accumulation de sable sur les murs extérieurs.....	53
Figure IV.18.l'ensablement des maisons avec le temps... ..	54
Figure IV.19. Exemple sur les l'ensablement dans la région.. ..	54
Figure IV.20. Le sable a enseveli les maisons restantes et a sculpté les toits des bâtiments.....	55
Figure IV. 21. Le sable rampant des oasis de palmiers à In Saleh. ... ..	55
Figure IV. 22. Des fissures causé par les charges exercé par les sables sur les murs..	56
Figure IV.23. Exemple de lutte contre l'ensablement par Feuilles de palmier.....	57

Figure IV.24. Exemple de lutte contre l'ensablement par Feuilles de palmier.....	58
Figure IV.25. La technique des carrés utilisée dans le nord-est de la ville d'Ain Saleh.....	60
Figure IV.26. Planter des Tamaris.. ..	64
Figure IV.27. Le processus d'élimination du sable de la route par les autorités municipales à l'aide de machines.....	65
Figure IV. 28. Tamarix arbres.....	65

## Liste des tableaux

### Chapitre 1

Tableau I. 1. Vitesse du vent nécessaire au déplacement du sable à la fonction des dimensions des grains. ....	13
Tableau I. 2. Transport du sable dans le courant éolien à vitesse du vent de 5 m/s .....	14

### Chapitre 2

Tableau II. 1. Température moyenne (°C) à Ain Saleh pour la période 2008-2017.....	30
Tableau II. 2. Quantités de précipitations (mm) à Ain Saleh pour la période 2008-2017.....	31
Tableau II. 3. Vitesse du vent (m/s) de la station d'Ain Saleh pendant la période 2008-2017 .....	33

### Chapitre 4

Tableau IV. 1. Projets de lutte contre l'intrusion de sable dans la municipalité d'Ain Saleh pour l'année 2016.....	64
---	----

**INTRODUCTION**

**GENERALE**

# Introduction générale

L'attention portée à l'étude des risques naturels et de leur impact sur la sphère urbaine revêt une grande importance, en particulier face aux changements climatiques observés dans le monde, qui exigent la préparation, une bonne préparation, une planification scientifique et une formation continue pour pouvoir réagir rapidement à ces risques naturels. Nombre de ses effets augmentent, notamment la densité de population dans les zones menacées et le non-respect des règles de sécurité publique.

La phénomène de l'ensablement et de la formation de dunes de sable est l'un des problèmes environnementaux les plus importants auxquels sont confrontés la plupart des pays du monde situés dans les zones arides et semi-arides.

L'Algérie fait partie des pays qui subissent des aléas naturels et l'une des difficultés auxquelles elle est confrontée est la nature désertique, en particulier les villes désertiques exposées au sable, qui entrave le tissu urbain des villes désertes, qui se distingue des autres pays par son ingénierie et ses matériaux de construction locaux. C'étaient principalement des palais du désert construits le long des oasis de palmiers, facteurs qui formaient un patrimoine urbain local qui donnait à ces villes leur identité urbaine.

Parmi ces villes se trouve la ville d'Ain Saleh, connue pour son terrain sablonneux, son terrain plat et ses simples déclins appelés oasis, ainsi que pour la diminution des précipitations de mousson, les températures élevées en été, les températures froides en hiver, la dégradation de la végétation et la salinité élevée des sols. .. Elle souffre du phénomène d'empiètement du sable, causé par des vents violents et des tempêtes de sable tout au long de l'année qui menacent la population dans leurs foyers et leur gagne-pain, rendant ainsi difficile le contexte de dégradation de la région. Il était donc nécessaire de rechercher des solutions pour faire face à l'empiètement du sable. Il est basé sur le suivi des pratiques des paysans en tant que décision paysanne et acteur important.

Cette étude cherche à tirer parti des techniques modernes des systèmes d'information géographique pour déterminer l'emplacement des dunes de sable à Ain Saleh au cours des années 2002, 2007, 2013 et 2019 et à connaître l'étendue de l'urbanisation et l'impact de la ville, grâce à l'efficacité et la précision de ces technologies.

# CHAPITRE 1

# Chapitre 1 : Concepts généraux

## 1.1. Introduction

Ces dernières années, le monde a connu une nette augmentation du nombre de catastrophes naturelles de divers types et degrés. En ce sens, les pays ont commencé à réfléchir aux moyens d'étudier et de gérer ces catastrophes avec de nouveaux systèmes et des techniques d'analyse hautement efficaces pour prévenir les dangers dangereux. Ce chapitre contient deux parties de concepts:

- Une partie sur les concepts de risques naturels et les moyens de les affronter.
- L'autre concerne le phénomène du veuvage par définition, les facteurs qui en sont à l'origine, les problèmes qui en résultent et les moyens de transférer la classification des résultats et les facteurs influençant et contribuant à la formation de ce phénomène.

## 1.2. Concepts généraux

### 1.2.1. Les risques naturels

Les événements survenant dans l'environnement résultent-ils de facteurs naturels entraînant des pertes humaines et matérielles, dont beaucoup sont locales et globales, à très haut risque, à risque moyen ou faible, y compris des effets directs ou indirects sur la vie et la propriété, et n'ont pas d'effet.

Sont les risques d'atteinte aux personnes ou aux biens qui résultent d'une disposition exceptionnelle des agents naturels [1].

### 1.2.2. Développement urbain

L'environnement urbain n'est pas seulement l'environnement naturel, et ce n'est pas un domaine qui est souvent du à l'activité humaine, c'est le moyen de production. Chaque société a son propre domaine, car la puissance de production (effort) ne produit pas seulement choses (bâtiment), mais aussi à ce que sont ces choses, y comparés le centre, selon d'autre chercheurs.

L'environnement construit ou modifiée, constitué de l'infra structure physique de base construite par les êtres humains à partir de systèmes institutions sociales et institutionnelles.

On peut dire que la zone urbaine a une extension et une taille relations, structure visuelle et cachée.

### 1.2.3. Vulnérabilité

Les caractéristiques et les circonstances d'une communauté ou d'un système qui le rendent susceptible de subir les effets d'un danger. La vulnérabilité ne concerne pas seulement le présent ou le futur mais est également, et intimement, un produit du passé.

La vulnérabilité peut-tout d'abord être vue comme étant le taux d'endommagement attendu d'un équipement donné (bâtiment, activité, société...) [2]. Elle peut également être vue comme étant l'ensemble des facteurs de fragilité qui contribuent à la réalisation des dommages en cas de survenue de l'aléa.

Deux explications de vulnérabilité sont possibles :

- **Vulnérabilité analytique** : représenté la mesure d'endommagement potentiel, le niveau de conséquences sur les hommes, leurs biens, les milieux affectés par un aléa.
- **Vulnérabilité synthétique** : vise à cerner les conditions ou les facteurs propices aux endommagements ou influant sur la capacité de réponse à une situation de crise. Elle a deux composantes :
  - La résistance : liée à l'efficacité des mesures visant à prévenir, à éviter ou à réduire les dommages.
  - La résilience d'un système : sa capacité à absorber le changement et à recouvreront fonctionnement après la crise.

Les mesures et travaux de réduction de la vulnérabilité concernent principalement les vulnérabilités physiques et systémiques [3]. Les travaux sur la résilience vont tout particulièrement s'intéresser aux vulnérabilités sociale et systémique, qui sont des facteurs fondamentaux pour garantir un retour à la normale le plus rapide et le plus facile possible [3].

### 1.2.4. Type de vulnérabilité

Cette vulnérabilité se décline en [4] :

- Vulnérabilité physique : (qui s'intéresse à la résistance des bâtiments et des installations).
- Vulnérabilité systémique : (qui s'intéresse à l'organisation du territoire, aux effets dominos et d'interdépendance).
- Vulnérabilité sociale : (qui s'intéresse à la population exposée et à l'organisation de la société).

- Vulnérabilité économique : (qui s'intéresse à la réponse des acteurs économiques, aussi bien à l'échelle individuelle qu'à une échelle macroéconomique : PIB, croissance, chômage...etc.).

### **1.2.5. Résilience**

La capacité d' un système , une communauté ou une société exposée aux risque de résister , d'absorber , d'accueillir et de corriger les effets d' un danger , en temps opportun et de manière efficace , notamment par le préservation et la restauration de ses structure essentielles et de ses fonctions de base .

### **1.2.6. Ville**

‘La ville est à la fois territoire et population, cadre matériel et unité de vie collective, configurations d'objets physiques et nœuds de relations entre sujets sociaux’’, Selon Grafmeyer (1994).

### **1.2.7. Désert**

Est un biome aride, le plus sec, caractériser par des précipitations inférieures à 200 mm par an et une végétation xérophytique clairsemée. Ils peuvent être chauds (Sahara, centre de l'Australie) ou froids (Atacama au Chili). Les déserts constituent la plus grande surface de la terre : plus de 50 millions de km carres occupent près de d'un tiers de celui-ci.

## **1.3. L'ensablement**

### **1.3.1. L'ensablement**

#### **1.3.1.1. Définition**

L'ensablement est le mouvement des dunes de sables actives vers la communauté urbaine et l'accumulation de sable dans le tissu urbain par le vent, le désert est l'environnement naturel de ce phénomène.

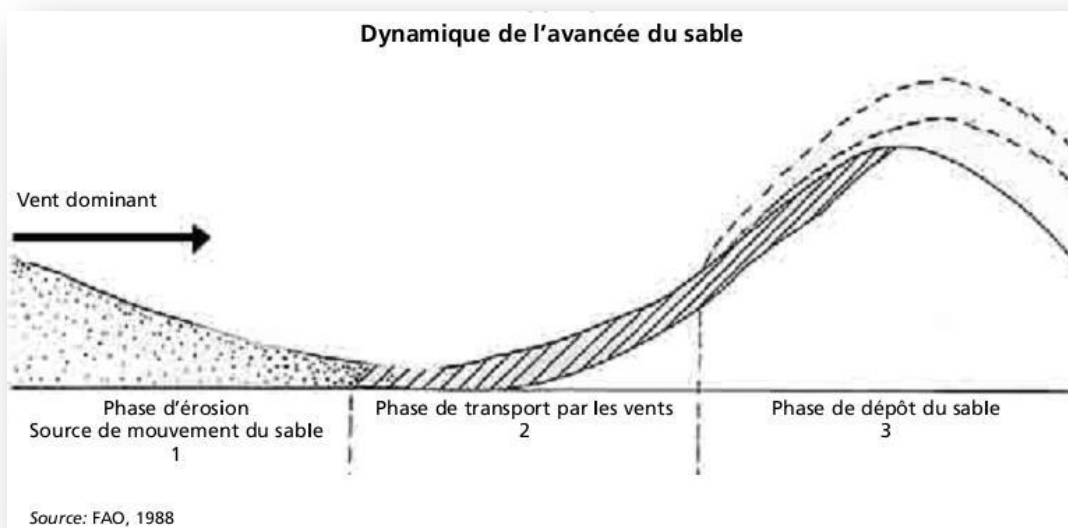
Le risque de sable rampant est plus grand que celui des dunes en raison de la capacité du sable à ramper à une vitesse est relativement lent et peut voyager plus longtemps que ceux coupées par des dunes.

#### **1.3.1.2. Origine de sable**

Les sources de sable peuvent avoir plusieurs origines [5] :

- Le sable autochtone : d'origine locale, pouvant provenir de la décomposition des roches (grès) de montagne, de la désagrégation de sols alluvionnaires suite à la disparition du couvert végétal.
- Le sable est allochtone : d'origine lointaine, avec un diamètre des particules inférieur 0,05 mm.
- Le sable est auto-allochtone quand l'origine du sable est mixte.

Lorsqu' un site est menacé d'ensablement, il est nécessaire d'identifier avec soin les sources de sable, les zones de transport et les secteurs d'accumulation.



**Fig.1.1. schéma représentative de Dynamique de l'avancée du sable.**

### 1.3.1.3. Facteurs d'ensablement

Il y a ensablement quand les particules de sable sont transportées par les vents ou par les eaux et s'accumulent quelque part :

- au bord d'un cours d'eau.
- sur des terres cultivées, S'il provient de l'intérieur des terres, il forme des dunes continentales.

### 1.3.2. Érosion éolienne

Les principales causes de l'érosion éolienne sont [5] :

- un vent violent soufflant sur de grandes surfaces.
- une végétation rabougrie ou rare.
- un sol dégradé, meuble, dénudé et sec.

### 1.3.2.1. Origine de l'érosion éolienne

Les vents violents sont à la base de cette érosion. L'arrachage, le transport et dépôt des particules de sols sont fonction de la vitesse du vent, de la taille et de la densité de ces particules, de l'humidité du sol et du couvert végétal.

### 1.3.2.2 Facteurs de l'érosion éolienne

#### A)- Les facteurs causaux : le vent

Le facteur déterminant dans la manifestation de l'érosion éolienne est particulièrement l'intensité érosive de la force du vent.

Dans le cas de l'érosion éolienne, le vent est une force qui agit sur la surface du sol. L'effet de ce vent sur la surface dépend des caractéristiques et de l'état du sol dans la couche superficielle. La vitesse éolienne requise donc, pour engendrer le mouvement des particules les plus sensibles est fonction de la taille et de la densité des particules détachables. Sur une surface égale, ces particules émergent à une hauteur suffisante pour absorber une force assez appréciable, mais leur légèreté permet au vent de les déplacer plus facilement. Par ailleurs, les particules les plus petites présentent une forte cohésion et n'émergent pratiquement pas dans la zone de turbulence. (D'après FAO, 1996).

Lors de l'érosion éolienne, l'effet du vent entraîne :

- La disparition d'une grande proportion de la couverture végétale.
- La détérioration de la structure du sol.
- L'érosion de la couche la plus riche en éléments nutritifs.

Généralement, l'érosion éolienne se passe dans des conditions de vents qui soufflent sur une surface de sol sèche composée de particules à texture grossière.

#### B)-Les facteurs de conditionnement

- Nature du sol (texture, structure, teneur en M.O) : La texture et la structure du sol interviennent comme facteurs de risque de l'érosion éolienne. Les sols argileux et sableux sont généralement plus résistants à la désagrégation et par la suite à l'érosion éolienne. Il est à noter que les sols les plus fragiles et les plus sensibles à l'effet de l'érosion éolienne sont les sols sableux.
- Topographie : agit dépendamment de plusieurs cas de figures notamment : L'augmentation de la rugosité du terrain par la présence de billons ou des bandes de labour intervient à réduire l'effet de l'érosion éolienne et ce, en agissant comme un

obstacle de réduction de la vitesse du vent (donc selon l'orientation par rapport au vent dominant). Aussi, la pierriste à la surface du sol, en formant un "pavage", réduit les risques d'érosion éolienne. C'est le cas dans les regs.

- Couvert végétal : La couverture végétale protégée contre l'érosion éolienne par son action à réduire la vitesse du vent à la surface du sol. La plupart des sols ont besoin une couverture végétale d'au moins de 30% pour prévenir l'action destructrice de l'érosion éolienne.
- L'humidité du sol : augmente la cohésion des particules du sol, rendant ceux -ci temporairement indisponibles pour l'arrachage et le transport par l'érosion éolienne.
- L'aridité du climat : on constate en Afrique que l'érosion éolienne se manifeste là où les pluies sont < à 600 mm sur des sols dénudés et en présence des vents avec des vitesses dépassant un seuil de l'ordre de 20 km/h ou de 6 m/s sur sols secs [5].

### 1.3.2.3. Effets de l'érosion éolienne [5]

#### A)- Sur le sol

Le vent entraîne en premier lieu les parties fines du sol, c'est-à-dire le limon, le sable fin et la matière organique. Il détériore ainsi la structure du sol, qui devient plus sableuse, donc plus sensible à son action, et il diminue sa capacité de rétention d'eau. La coloration du sol passe du gris au blanc puis au rouge, au fur et à mesure de son décapage. De petites buttes se créent autour de la végétation ligneuse et herbacée, rendant ainsi le terrain accidenté. Le sol devient progressivement impropre à la culture.

#### B)- Sur la végétation

L'action du vent sur la végétation est à la fois mécanique et physiologique.

#### 1.3.2.3.1. Effets mécaniques

Les particules de sol transportées heurtent les tiges et les feuilles avec force, entraînant l'abrasion de leurs tissus. Dans les zones où les particules sont prélevées, les racines se déchaussent et la végétation risque d'être déracinée.

#### 1.3.2.3.2. Effets physiologiques

Le vent augmente l'évaporation et dessèche les plantes, principalement pendant la saison sèche. Le pouvoir évaporant de l'air est proportionnel à la racine carrée de la vitesse du vent. De plus, la capacité de rétention d'eau du sol est diminuée et conduit à un déficit hydrique.

### 1.3.2.4. Mécanismes de l'érosion éolienne

Du point de vue mécanique, le vent a plusieurs modes d'action suivant l'échelle considéré [6] :

#### 1.3.2.4.1. Les mécanismes de mouvement à l'échelle des particules

*La déflation* : qui est l'enlèvement des particules légères et sables fins du sol. En fait, elle entraîne le départ en suspension des particules légères du sol (argiles, limons et matières organiques). Ces poussières sont aspirées par les tourbillons jusqu'à plusieurs milliers de mètres d'altitude pour être ensuite dispersées sous forme de brume sèche ou pour circuler sous forme de nuage sur plusieurs milliers de kilomètres. Le transport des particules mises en mouvement par le vent peut s'opérer de trois façons différentes suivant la dimension des matériaux, la vitesse du vent et son degré de turbulence.

- Dans la saltation

Les particules avancent par bonds ou sauts. Celles qui se meuvent de cette façon ont généralement de 0.05 à 0.5 mm Ce mode de transport consiste en une succession de sauts balistiques dont la concavité des trajectoires est toujours dirigée vers le bas. Un grain est arraché du lit par le cisaillement, puis retombe plus loin en délogeant statistiquement dix grains. La plupart du matériel érodé est transporté entre 0 et 0.3 m au-dessus de la surface du sol par saltation. Elle présente 7 à 25 % du transport.

- Dans la reptation

En surface le second type de mouvement, les particules de plus grande dimension roulent ou glissent à ras de terre. Trop lourdes pour être soulevées par le vent, elles sont mises en mouvement par l'impact des particules en saltation plus que par la force éolienne directe. Les particules qui se déplacent de cette façon peuvent mesurer de 0.5 à 2 mm de diamètre, suivant leur densité et la vitesse du vent. Il représente 50-80% du transport et est le principal déplacement des grandes mantas dunaires.

- La suspension

Troisième mode de déplacement, correspond au flottement dans l'air de particules fines de diamètres faibles  $< 0,1$  mm dont le mouvement initial est également déclenché par l'impact des particules en saltation. Ce type de transport apparaît pour un cisaillement supérieur à la vitesse de sédimentation. Les grains ont des trajectoires quasi rectilignes, de sommet ondulé, situées bien au-dessus du lit granulaire. En d'autres termes, c'est un transport sous forme de poussière, même par vent léger sous des grandes distances (milliers de Km).

### 1.3.2.4.2 Les mécanismes à l'échelle des mouvements globaux

Les particules en mouvement sont le siège d'interactions dont il faut citer principalement :

- L'effet d'avalanche

Ce phénomène est la conséquence de la saltation. Les particules qui ont sauté provoquent, en retombant, le départ d'une quantité plus importante de particules. Plus le terrain n'est étendu, plus les impacts des particules déplacées par le vent sont nombreux. En conséquence, à mesure que le processus gagne du terrain dans le sens du vent, le nombre des particules mises en mouvement s'accroît. C'est ce qu'on appelle l'effet d'avalanche.

- Le triage

Le vent déplace les particules très fines et très légères beaucoup plus rapidement que les grosses. Plus les particules sont fines, plus leur vitesse est grande et plus la distance qu'elles parcourent et les hauteurs qu'elles atteignent sont importantes. Le vent sépare ainsi les différents éléments du sol en catégories suivant leurs dimensions : mottes non érodables, gravier, sable, argile et lœss. Il emporte ainsi les éléments fins et ne laisse sur place que les éléments grossiers.

- La corrasion

Est l'attaque mécanique de la surface sur laquelle souffle un vent chargé de particules. C'est dans les régions arides telles que notre zone d'étude, une cause aggravante de l'érosion des sols.

- Dans un matériau cohérent et homogène la corrasion se traduit par des stries parallèles ou par un remarquable poli. Le polissage affecte les affleurements comme les cailloux des regs, plus ou moins alvéolés ou façonnés en facettes.

- Par ailleurs, dans les roches meubles et en particulier dans les terres agricoles (argile et limons), les vents creusent des sillons parallèles mettant à nu les racines des jeunes plantes.

Dépôt de poussière et sables transportés quand le vent perd de la vitesse ou quand il est trop chargé pour donner naissance à des dunes de formes les plus simples aux plus complexes.

Il apparaît que la zone d'accumulation est toujours associée à la zone de déflation et la conséquence est qu'une dune mobile avance par le mouvement de ses propres sables et est à la fois zone d'alimentation et d'accumulation. Les formes d'accumulation sont nombreuses pour ne citer que certaines notamment : Voile éolien, Nebka, Barkhane, Dunes linéaires ou sif, Dunes en pyramide ou "ghourds", Aklé, Dune parabolique, Cordons longitudinaux : Sandridge, etc... [1]

## 1.4. Le vent

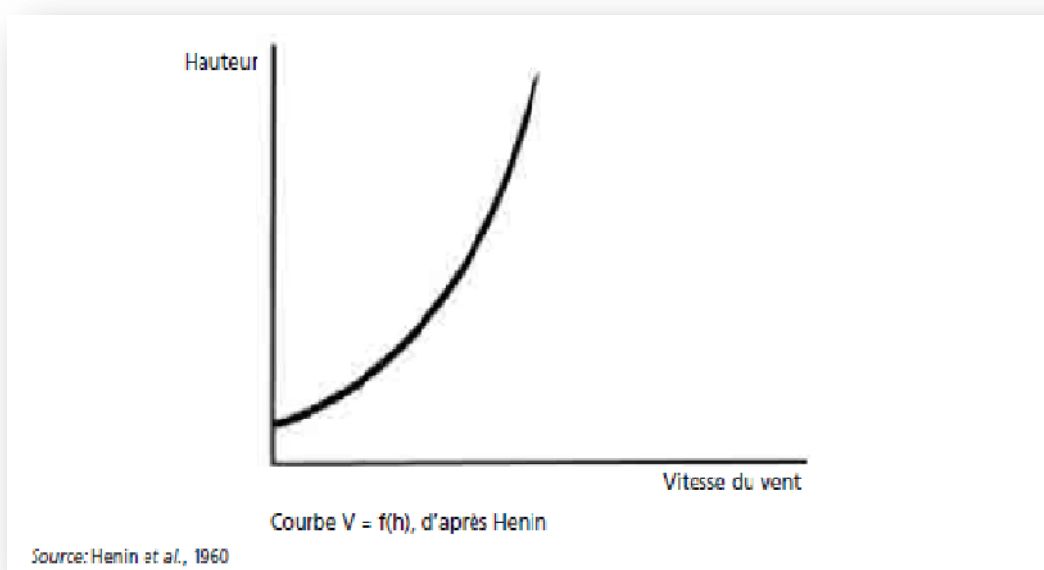
### 1.4.1. Définition

Le vent est un des éléments les plus caractéristiques du climat, La connaissance du vent local en vitesse et en direction est fondamentale pour l'étude de migrations des sables.

Lorsqu' un vent souffle avec plus de fréquence dans une direction privilégiée, on parle de vent dominant. Au niveau du sol, la vitesse du vent est nulle .le vent est d'autant plus fort qu'on s'éloigne de la surface du sol, est sa vitesse augmente comme le logarithme de la hauteur comme montre la figure

Un vent ne peut soulever des particules de sable que lorsque sa vitesse, mesurée avec un anémomètre à 30 cm au dessus du sol, atteint ou dépasse 6 m par seconde .la vitesse de vent est un facteur essentielle, car elle détermine la force d'entraînement du sable. Plus celle vitesse augment, plus la capacité de transport s'accroît.

Le second facteur est la taille et la densité des particules de sable. Les particules dont le diamètre avoisine 0.1 mm sont entraînées les premières, tandis que les particules plus grosses ne peuvent être déplacées que par des vents violents.



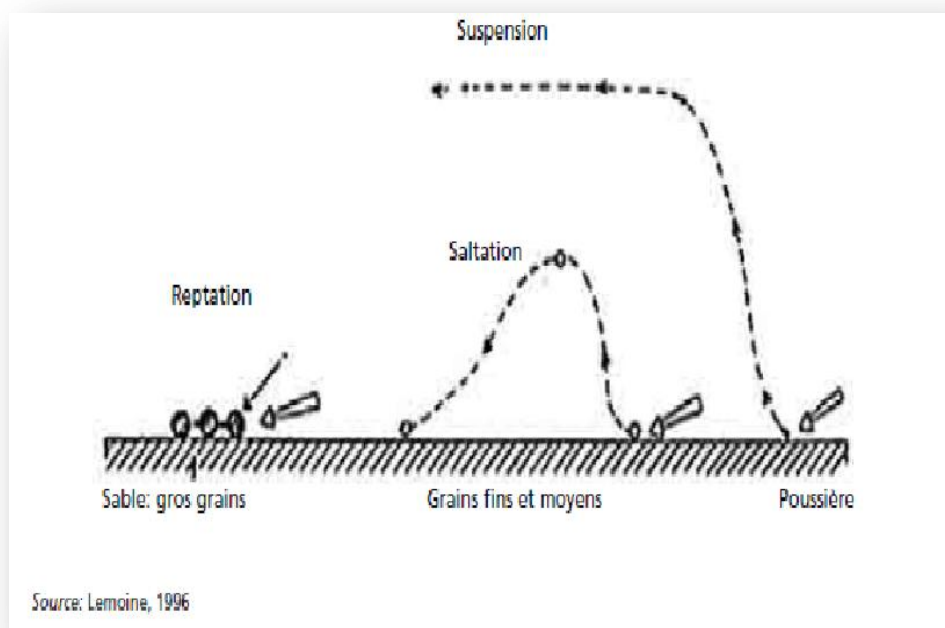
**Fig1.2. La nature du mouvement des particules varie selon leur dimension.**

La nature du mouvement des particules varie selon leur dimension

- Les plus grosses particules roulent ou glissent à ras de terre, c'est le phénomène de reptation .les grains de sable qui se déplaçant de cette façon on un diamètre compris

entre 0.5 et 2 mm, suivant leur densité et la vitesse du vent. lorsqu' ' ils commencent à avancer plus difficilement, suite à l'effet de freinage de la masse sableuse, le mécanisme de saltation devient possible.

- Les particules du sol de dimension moyenne (de 0.5 à 1.1 mm de diamètre) avancent par bonds successifs, selon un mécanisme appelé saltation. Après avoir sauté, ces particules retombent sous l'effet de la pesanteur, 90% d'entre elles atteignent une altitude ne dépassant pas 30 cm, avec une amplitude au sol comprise en moyenne entre 0.5 et 1 m. le phénomène de saltation est primordial pour déclencher l'érosion éolienne.
- Les particules très fines, d'un diamètre égal ou inférieur à 5 microns, sont projetées en l'air sous forme de poussière par l'impact des grains plus gros. ces particules restent en suspension et peuvent être entraînées très loin sous forme de nuage de poussière, atteignant souvent 3000 à 4000 m d'altitude.



**Fig.1.3. Les modes d'entraînement des particules par le vent.**

Le vent peut être défini comme une masse d'air en mouvement dans une composante horizontale. L'air circule de haute pression à basse pression.

On peut définir le tourbillon comme un déplacement d'air autour d'un axe d'inclinaison variable. Dans ce cas, la vitesse du vent est multipliée au moins par cinq d'où sa grande efficacité comme agent d'érosion et de transport.

La vitesse du vent s'approche de zéro à la surface de la terre et augmente progressivement lorsque la personne s'éloigne. La plus grande variation de vitesse a été observée dans les premiers centimètres ou millimètres au-dessus de la surface de la Terre. Sont des tourbillons qui se produisent dans cette région qui stimule le mouvement des grains de sable.

Lorsque la vitesse du vent dépasse un seuil critique, nous l'appelons vent actif, ou l'élimination des particules de sol sont possibles.

Cette vitesse varie en fonction de la taille des particules et se situe entre 4 et 6 m / s.

La vitesse de vent est un facteur clé dans la détermination de la force motrice du sable.

Plus cette vitesse augmente, plus la capacité de transport s'accroît.

Le vent est un flux d'air en mouvement selon une composante horizontale, il est dû à des différences de température qui engendrent des densités différentes. Il s'écoule des hautes pressions vers les basses.

### **1.4.2 Classification du vent [6]**

Dans l'étude sur le déplacement du sable, il faut considérer les leçons de vent pour connaître les méthodes de son fonctionnement et son efficacité dans la formation des inscriptions et le transport du sable.

#### **1.4.2.1. Les vents inactifs**

Ce sont les vent dont la vitesse est inférieure à 3 m/s qui sont incapable de déplacer les particules du sol donc ne peuvent avoir un rôle géomorphologique et une influence sur le façonnement du modèle éolien ( DAMENGEOT , 198 I ). Cette classe se subdivise en deux deux-sous classes :

- les vents calmes : dont la vitesse est inférieure à 1 m / s.
- les vents très forts : dont la vitesse est supérieure à 8 m / s.

#### **1.4.2.2. Les vents actifs**

ce sont des vents capable de mettre les particules du sol en mouvement. Ces vents sont responsables de l'accumulation du sable dans les cordons dunaires, leur efficacité sur la morphologie est certaine. Cette classe se subdivise en deux sous-classes :

- Les vents forts : dont la vitesse varie de 4 à 8 m/s.
- Les vents très forts : dont la vitesse est supérieure à 8 m/s.

### 1.4.3. Quantité de sable mise en mouvement et facteurs influençant le transport du sable

R.A BAGNOLD (1953) à montré expérimentalement que la vitesse de vent, très faible à nulle au niveau de sol s'accroît très très rapidement lorsque on s'élève de quelque mm à 4 cm au niveau de sol. la quantité du sable en mouvement est proportionnelle à la vitesse du vent et dépend aussi des caractéristiques superficielles du sol et d'autre paramètres tels que :

#### 1.4.3.1. La composant granulométrique

Les grains de sable de diverses dimensions " hétérométriques " favorisent le transport de sable. C'est-à-dire la présence du sable grossier dans un ensemble à grains fins, permet au vent de trier les particules fines en laissant sur place les particules grossières. Par contre un ensemble de sable homométrique (grains de dimension semblable) est beaucoup plus stable, en effet, la plus part des accumulations sableuses sont formées de sable homométriques. Il s'agit des rôles sélectif du vent, en transportant les particules fines et en lissant celles les plus grossier. Cette action est appelée triage.

#### 1.4.3.2 Vitesse du seuil

Les grains de sable de dimension hétérométrique ne commencent à se déplacer seulement quand la vitesse du vent atteint 4 m/s. l'entraînement des grains de sable ne commence qu'à partir d'une certaine force du vent, qui doit être d' autant plus ' forte que le grain est plus gros [6].

**Tab1.1.Vitesse du vent nécessaire au déplacement du sable à la fonction des dimensions des grains.**

Type de sable	Diamètre des grains en (mm)	Vitesse de mise en marche (m/s)
Sable fin	0.1 à 0.25	4.5 à 6.7
Sable moyen	0.25 à 0.50	6.7 à 8.7
Sable à gros grain	0.5 à 1.0	9.8 à 11.4
Sable grossier	1.0 à 2.0	11.4 à 13.0

Source. I. Svintsov (1986).

### 1.4.3.3. Hauteur de transport du sable

On estime environ 90% de la quantité totale du sable en mouvement avance par bonds (saltation) dans l'espace situé jusqu'à 50 cm du sol. D'une façon générale, c'est à partir d'une vitesse de 20 à 25 Km/h que le vent commence à mettre en mouvement les particules hétérogènes[6].

**Tab.1.2. Transport du sable dans le courant éolien à la vitesse du vent de 5 m/s.**

Hauteur (cm)	Quantité de sable en (%)
0 à 5	58
5 à 10	30
10 à 15	10
15 à 30	02

- Rugosité du sol

C'est un facteur très important, qui explique l'absence des édifices sableuse dans certaines aires planes, ou leur présence dans autre aires. Un sol ayant en surface des mottes stables, dont leurs fréquence est étende il est moins attaques par le vent Dans d'autres zones, l'apparition du moindre obstacle déclenche souvent l'accumulation d'une traînée de sable en queue de comète.

- Couvert végétal

La végétation joue un rôle considérable dans la protection des sols des zones arides et semi arides. En effet, un taux de recouvrement végétal supérieur à 30% peut assurer une protection suffisante aux particules fines du sable .Par contre ; lorsque ce taux est inférieur à 30%, la végétation peut constituer des obstacles favorisant la formation des Nebka et des champs de Nebka...etc, et de ce fait elle n'assure plus une protection suffisante aux particules fines du sol.

- L'humidité du sol

Le transport du sable est en rapport avec la teneur en humidité du sol, en effet un sol humide n'est pas emporté. Pendant les précipitations, le transport du sable devient nul.

### 1.4.3.4. Principales formes d'accumulation des sables

Quand le vent perd de vitesse d'entraînement du sable, cers dernières particules se déposent et donnent des formes d'accumulation très complexes qui sont fonction de la structure du courant

éolien, de la nature de la surface du sol, de la topographie, de la végétation et la dimension des particules de sable. Quelques formes des caractéristiques de ces accumulations sont les suivant [5]:

- **Les ripples marks ou rides**

Ce sont des rides transversales que l'on rencontre sur les dunes. Ces micro-ondulations de quelques centimètres de hauteur sont disposées perpendiculairement à la direction du vent qui a été à leur origine.



**Fig.1.4. Les formes de ripple marks sur les dunes.**

- **Voiles sableux ou éolien**

Qui est un saupoudrage diffus des grains de sable à la surface du sol. Les surfaces très rugueuses ou couvertes de végétation et les pentes sont les lieux privilégiés de formation des voiles sableux.

Ce type d'accumulation éolienne est à l'origine de l'ensablement superficiel et prend de l'extension suite aux défrichements, aux feux de brousse et au surpâturage.



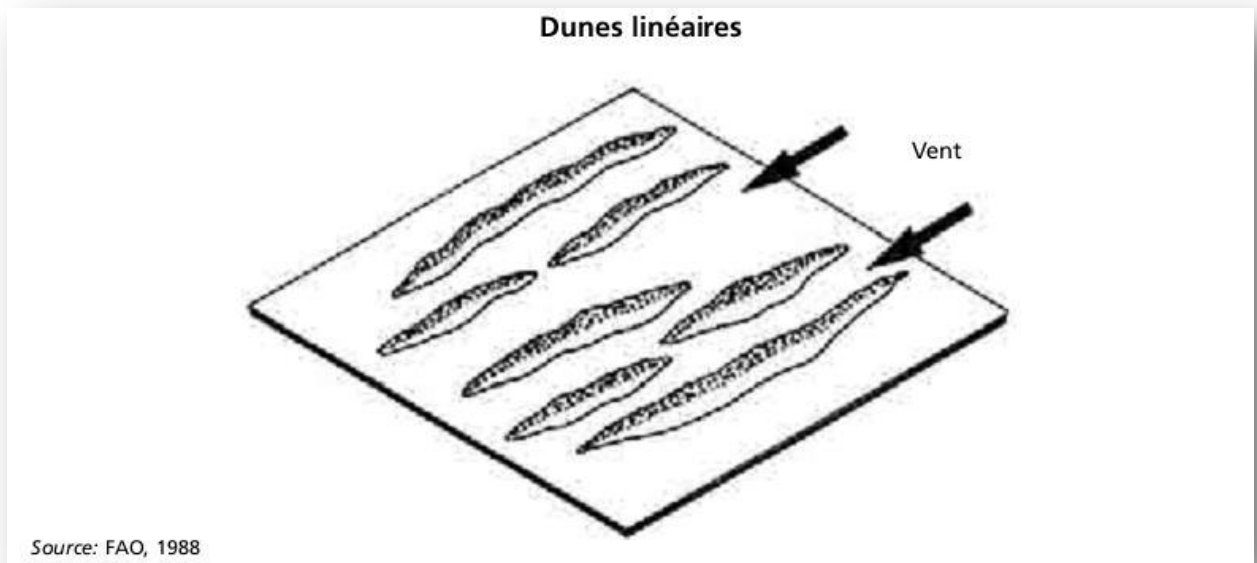
**Fig.1.5. Le voile sableux dans la région el Zaouïa.**

- **Les sifs ou dunes linéaires**

Les dunes linéaires sont des accumulations de sable, de forme allongée, étirées sur toute la longueur comme une épée (appelée SIF en arabe). La longueur est toujours de huit à dix fois plus importante que la largeur.

Ce type d'accumulation éolienne se produit dans un environnement aride parcouru par deux vents dominants de direction différente (nord-est et sud-ouest, par exemple) ou par un seul vent dominant dont les écoulements d'air ont été divisés par des irrégularités topographiques. La direction de ces dunes est oblique par rapport à la résultante des vents dominants. Le mouvement d'une dune linéaire.

Se fait par allongement, au fur et à mesure des nouveaux apports de sable par le vent.



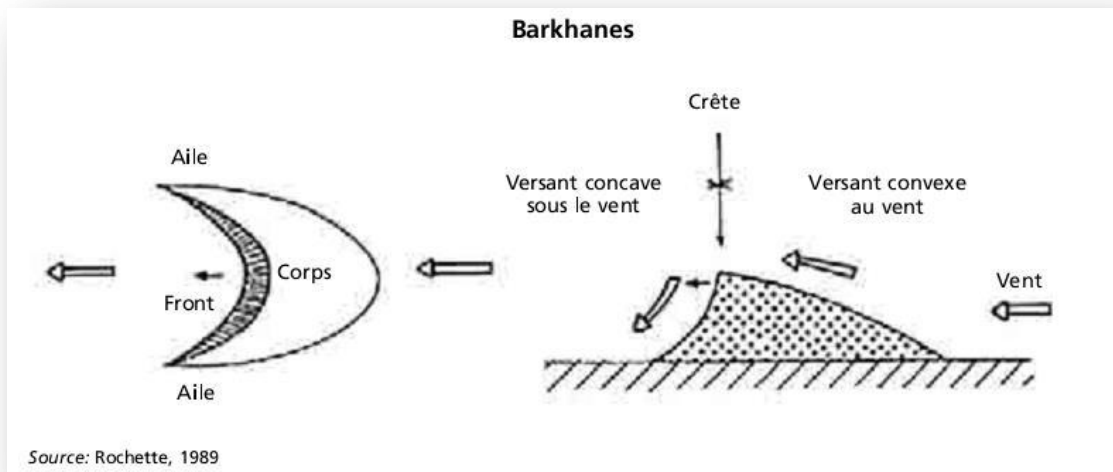
**Fig.1.6. schéma représentative des dunes linéaires.**

- **Les barkhanes**

Il est bien connu que ces accumulations sableuses résultent de l'activité d'un seul vent efficace (dominant), dont sa fréquence est souvent constante. La direction du vent s'obtient en tranchant la bissectrice de l'angle formé par les deux ailes de la Barkhane et son corps. Il s'agit de dunes massives en forme de croissant à convexité au vent. Leur formation passe par plusieurs stades: le bouclier sableux, puis le bouclier barkhaniques.

Suivi du dièdre barkhaniques et enfin l'état de barkhane. En général, les barkhanes ne restent pas isolées ; elles peuvent se rejoindre et former des ensembles complexes, allant des trains barkhaniques à de véritables massifs dunaires.

La migration des barkhanes requiert trois conditions : un vent constant monodirectionnel, une source de sable importante et de granulométrie allant de 0,12 à 0,25 mm de diamètre, et une surface plane et dure. Les barkhanes étant des constructions instables, mobiles et sans cesse remodelées par le vent, leur vitesse de déplacement peut atteindre plusieurs dizaines de mètres par an.



**Fig.1.7.schéma représentative des Barkhanes.**



**Fig1.8.Les barkhanes dans la entrée de la ville, partie Est de la ville (Daghamcha).**

- **Les nabka**

Ces accumulations sont dues à la présence d'un obstacle rocheux, végétal ou autre sur la trajectoire des particules sableuses en mouvement. On distingue deux types de nebkas :

Les nebkas à flèche de sable, qui sont des formes dunaires ovoïdes de petites dimensions (50 cm de hauteur, 150 cm de longueur et 40 cm de largeur), allongées dans le sens du vent dominant.

Les nebkas buissonnantes, du même genre que les précédentes, mais pouvant atteindre 2 m de hauteur et 3 à 4 m de longueur.

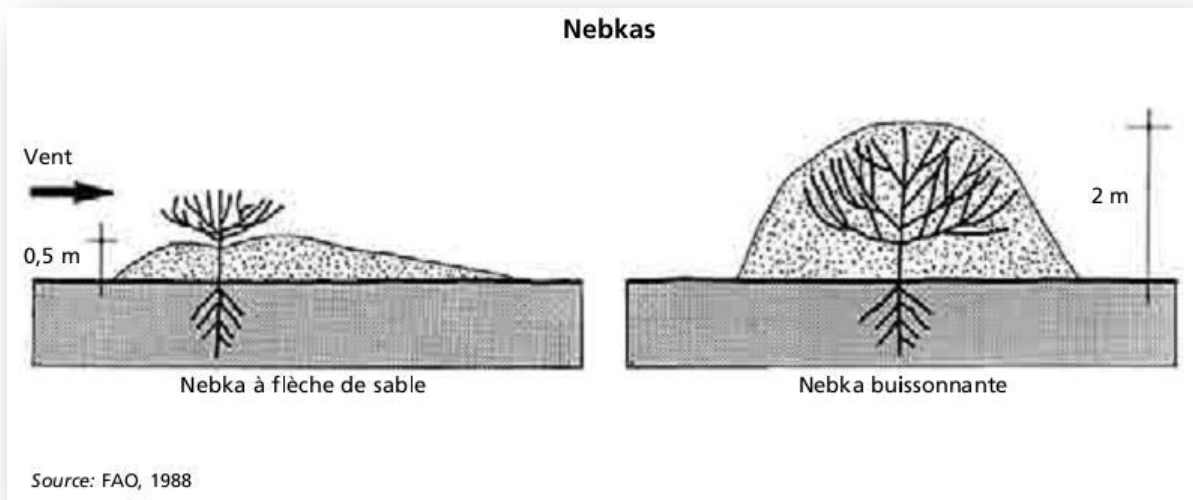


Fig.1.9. schéma représentative de Nebkas.

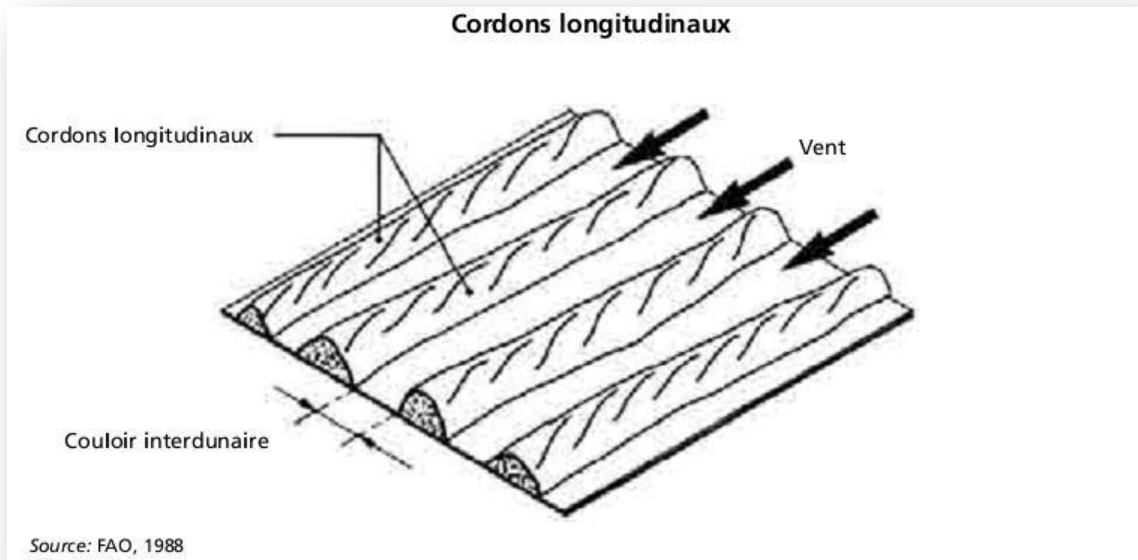


Fig.1.10. Les nebkas sur le bordure de la route de Tamanrasset.

- **Les cordons longitudinaux**

Ces accumulations sableuses se prolongent ou s'alignent, suivant la direction des vents efficaces dominants. Ces cordons sont des monticules sableux larges et volumineux, de forme longitudinale, situés côte à côte et séparés par des couloirs de déflation. Ils sont plus ou moins

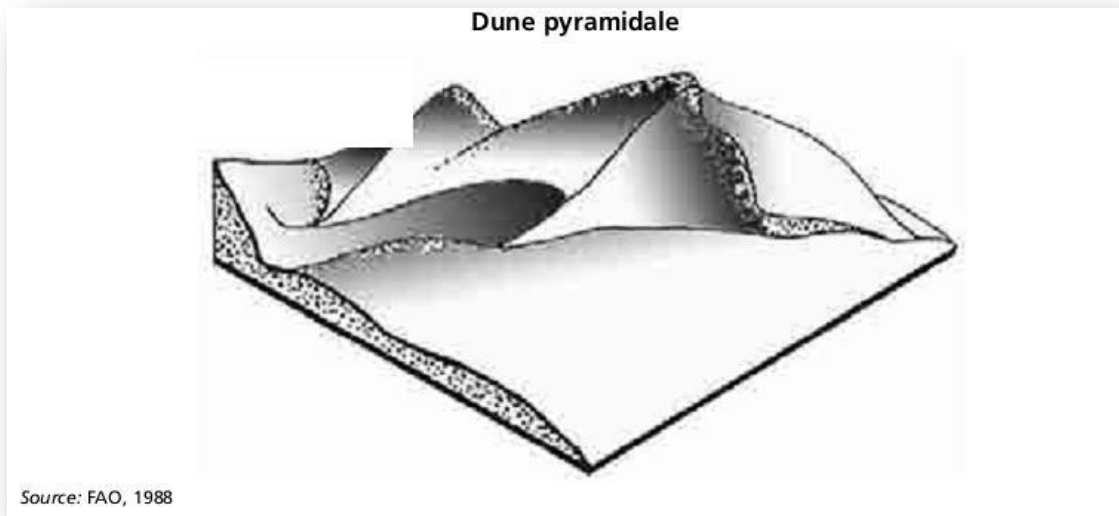
stables et peu mobiles. Ils s'alignent dans la direction des vents dominants, contrairement aux dunes linéaires, qui sont obliques par rapport à la direction résultante annuelle. La déstabilisation de ces cordons est liée à la disparition du couvert ligneux et herbacé.



**Fig.1.11. schéma représentative des cordons longitudinaux.**

- **Les ghourds ou dunes pyramidales**

Ce sont des accumulations sableuses résultant des apports de plusieurs vents. Ce sont des collines de sable, souvent en forme de pyramide étoilée, pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres de hauteur (Figure n°24). Elles naissent à la convergence de plusieurs flux éoliens et sont pratiquement stables et immobiles. Elles deviennent donc des sources de sable qui peuvent donner naissance à des barkhanes ou à des dunes linéaires.

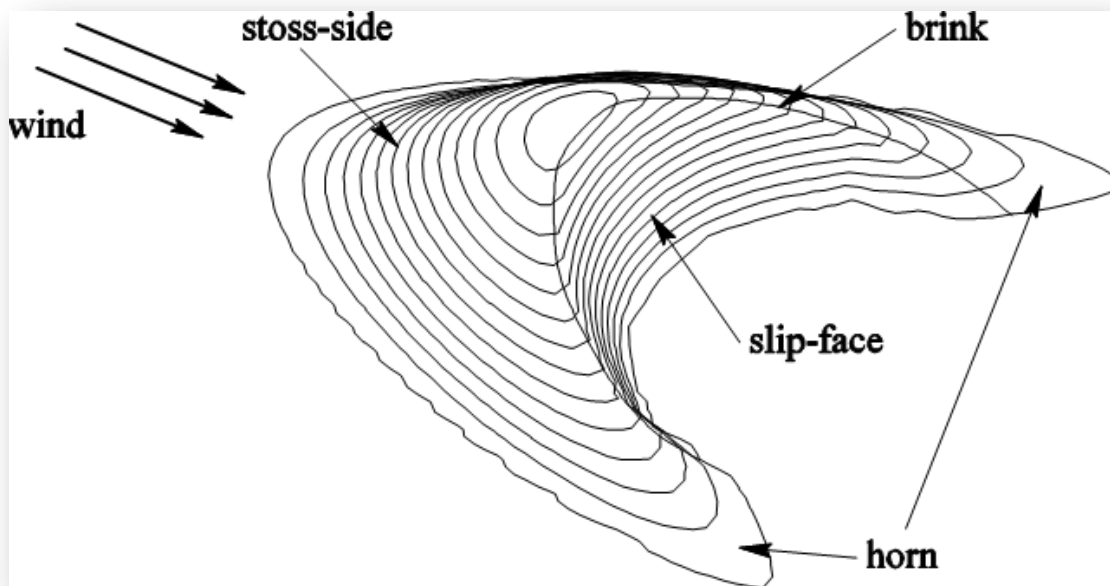


**Fig.1.12.schéma représentative de dune pyramidale.**

#### **1.4.5. La physique des dunes**

Les dunes les plus simples ont une forme de croissant et portent le nom arabe de barkhane. Elles se forment dans des conditions particulières avec des volumes de sable limités et se déplacent sur un substrat stable sous l'action d'un vent qui vient toujours de la même direction.

Parmi les plusieurs des types de dunes existants, la barkhane est la plus étudiée à cause de sa simplicité par rapport à l'entière forme dunaire et à cause de sa vitesse de déplacement (jusqu'à 50-60 mètres par an) qui est un obstacle considérable pour les activités humaines. Une dune présente une instabilité aérodynamique qui suit son évolution temporelle en couplage direct avec le champ de vitesse du vent autour de la dune. Il est donc nécessaire pour comprendre l'évolution et la forme d'une dune, de connaître celle du champ de vent correspondant [6].



**Fig.1.13.Morphologie de la barchane.**

## **1.5. Conclusion**

Les dangers naturels représentent un défi pour les humains car ils menacent leur vie et leur environnement.

L'ensablement est le danger le plus complexe en raison de ses effets négatifs sur la vie humaine, végétale, animale et sur les bâtiments. L'utilisation de méthodes et de solutions appropriées pour réduire le fluage et la stabilisation, ce qui nécessite des efforts concertés et le soutien financier nécessaire à la mise en œuvre des différentes méthodes de stabilisation du sable et non pour altérer les ressources naturelles et organiser leur continuité de manière scientifique réfléchie afin d'assurer leur durabilité.

# CHAPITRE 2

### Chapitre 2 : Etude analytique de la ville d'In Salah

#### 2.1. Introduction

L'étude analytique est l'une des conditions et priorités de la recherche car elle vise à donner une image réelle de la zone à étudier, en connaissant les conditions naturelles et les facteurs contribuant à aggraver le phénomène migratoire, en particulier le vent, car il est le principal facteur climatique responsable de l'érosion et du glissement du sable.

Par conséquent, nous discuterons dans ce chapitre des divers facteurs et caractéristiques des zones d'étude naturelles, climatiques, physiques et humaines et de leur relation avec le risque de fluage du sable.

#### 2.2. L'emplacement

Tamanrasset est situé entre les longitudes 1° et 10° est et entre les latitudes 20° et 27° au nord de la région d'Ahggar, et son orbite divise la région en deux parties égales, à 50 kilomètres au nord de Tamanrasset, A une superficie d'environ 557 906 kilomètres carrés et comprend 11 municipalités et 7 districts dont les frontières sont les suivantes:

Nord: Ghardaïa et Ouargla.

Ouest: Adrar.

Sud: Niger et Mali.

Est: Etat de l'Elysée.

La ville d'Ain Saleh est située dans le sud de l'Algérie (figure1), sur une superficie de 43 938 km<sup>2</sup>. La ville d'Ain Saleh est bordée par un groupe de dunes de sable qui divisent la ville en deux moitiés et progressent à une vitesse d'environ un mètre tous les cinq ans, L'altitude moyenne de la région du niveau de la mer à 294 m. Le siège de l'État est d'environ 700 km.

In Salah s'inscrit dans un large couloir qui s'incline en passant d'Est en Ouest, de 500 à 250 m, il s'étend sur une longueur d'environ 250 km avec une largeur moyenne de 50 km. Ce qui est intéressant dans cette région, c'est uniquement le niveau de l'eau souterraine, qui a permis aux grappes de se stabiliser à certains endroits.

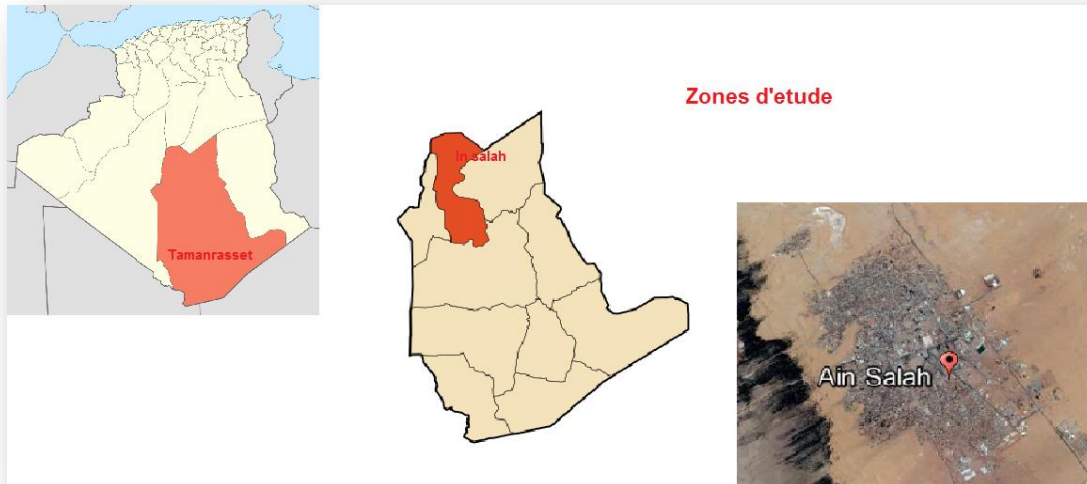
Ain Saleh est situé au nord-ouest de Tamanrasset, bordé par:

Nord :HassiMassoud,Hassi El-gara.

Ouest :Inghar ,Ougrout .

Sud : In Qmgel .

Est :Foggar et Ezzoua .



**Fig.2.1. localisation de la zone d'étude.**

Ses coordonnées géographiques sont les suivantes :

Les altitudes: 27°17' Nord.                      27°6' Nord.

Les longitudes :2°94 Est.2°22' Est.

### **2.3. Le côté naturel**

L'ensablement est un phénomène résultant d'actions mécanique de vents et d'érosion au niveau de la région. La région In Salah composée des grandes entités morphologiques suivantes :

#### **2.3.1. Le plateau de Tademaït**

Est un plateau calcaire quelque peu dissymétrique couvre 220 km d'étendue du nord au sud et plus de 300 km d'Ouest en Est. Les parties les plus élevées (800 m) se localisent aux environs d'Ain el-hadjdj et Ain Guettara à 50 km au Nord In Salah. A sa surface naissent d'imperceptibles vallonement qui s'allongent vers Est et le Nord –Est entaillent alors les roches dures, dans lesquelles on trouve un inextricables réseau de vallées étroites, encaissées et tortueuses.

Le plateau de Tademaït situé au nord de la ville d'In Salah, se présent comme un vaste plan légèrement incliné en direction du sud, ou les altitudes avoisinent les 420 à 450 km.



**Fig.2.2. Les grands ensembles des reliefs de la région In Salah.**

### **2.3.2. La dépression d'In Salah :**

C'est une zone orographique spéciale, entoure le Tademaït, depuis le Mouydir jusqu'au Goua passant par les oasis : Gourar, Touat et Tidikelt. C'est au sein de cette dernière que se situe la dépression d'In salah.

La dépression d'In Salah fait partie du Tidikelt orientale, qui se limite à l'Est par l'agglomération de Feggat et Azzoua . Dans cette région la monotonie semble avoir signé un pacte avec la nature. Sauf au loin plateau du Tademaït surplombe immobile et le paysage.

La dépression ou fleurissent les palmeraies, est un reg sur la quel on trouve des dépressions fermées et des édifices éliens, le plus est l'erg de Sidi moussa. La dépression de Goua qui divise l'extrémité sud de plateau du Tademaït en deux éléments topographiques, s'oriente du nord au sud. Elle est traversée par l'oued sauf qui déverse ses eaux à Sebkh et Ezzebbara . la ville d'In Salah est installée au centre de cette dépression, au sud de la dépression d'El Djoua , à sa proximité se trouve l'erg Sidi moussa , important édifice éolien . dans la partie orientale de la carte, on note l'existence d'un ensemble topographique discontinu, à l'est de foggat et Ezzoua et Foggaret El Arab . Il s'agit de lambeaux de plateau qui culminent à 330-350 m. on trouve également des affleurements rocheux orienté NE-SW au sud de la ville d 4 In Salah tout au long de la route, ils dépassent de peu les 300m d'altitude.

### **2.3.3. Les dunes de sables**

Elles sont des accumulations sableuses de couleur ocre atteignent parfois plus de 20 m de haut. ces dépôts sont présents en amont des agglomérations ( Sahlafogania et Tahtania , Igestane , Foggar et Ezzoua et Foggaret Al-Arab ) . L'accumulation la plus importante est localisée au nord d'In Salah et qui correspond à l'erg de Sidi moussa.

### **2.3.4. Reg**

Surface plane couvert de gravier, sable et de débris des roches, il est limité vers le nord par le plateau de Tademaït, vers le sud par la dépression et vers l'est le massif du primaire. Il se caractérise par une altitude minimum de 400 m au sud vers In Salah, avec une pente oscille entre 1 % à 2 % et un pendage de NW-SE.

### **2.3.5. Sebkha**

Se localise au niveau des palmeraies de El-Barka, c'est une dépression fermée qui évolue dans le cadre de système endoréique.

### **2.3.6. Les pistes**

Le drainage est un facteur essentiel dans l'analyse de nombreux phénomènes naturels car il permet de connaître l'effet direct sur le comportement du flux sur les différentes formes de pentes et de classer les zones en fonction de leur risque d'érosion [7].

### **2.3.7. Réseau hydrologique**

Les ravinements ensablés forme le système hydrographique qui traverse le secteur d'étude, ils entaillent les regs, ces derniers sont irrégulièrement alimentés par des pluies locales [7].

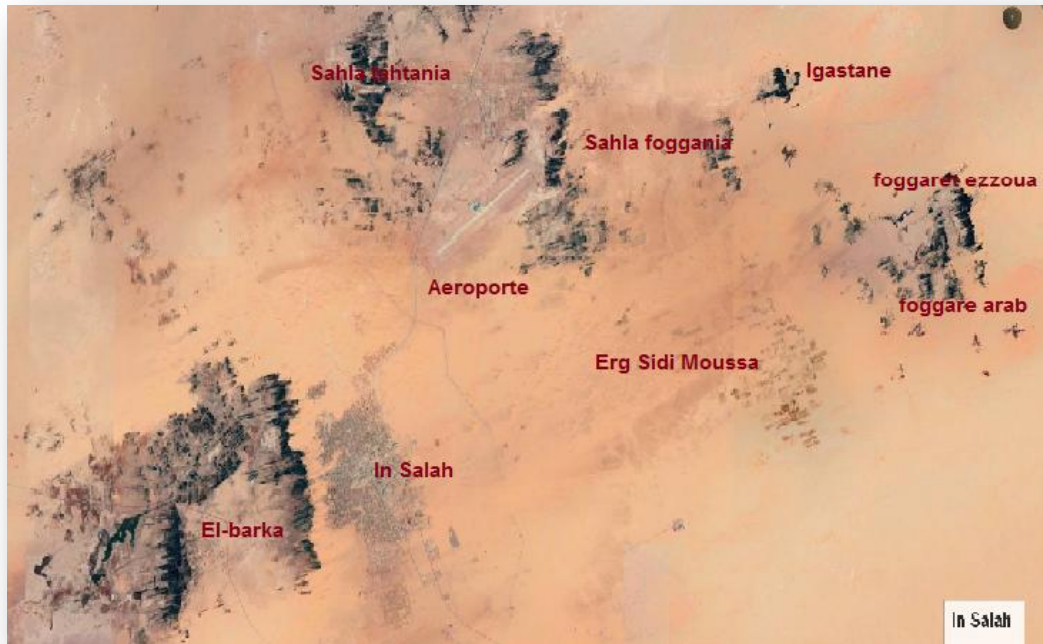


Fig.2.3. Image satellitaire de la zone d'étude.

### 2.4. Géologie de la région

L'étude géologique est l'un des éléments physiques qui jouent un rôle dans l'interprétation de nombreux phénomènes naturels: elle permet de connaître l'origine des formations rocheuses et les conditions dans lesquelles la zone a été créée, ainsi que de déterminer le degré de perméabilité des roches et leur effet sur l'écoulement [8].

Dans cette étude géologique d'Ain Saleh, nous examinerons le premier temps géologique jusqu'au quatrième temps géologique.

- La formation de la première fois : est représentée par la formation de grès et de boue datant de la période fatimide et par le sable, le grès, le calcaire et la dolomite datant de la période dévonienne, situés dans les régions sud et sud-est d'Ain Saleh.
- La formation du second temps : est représentée dans les formations du Crétacé supérieur du Crétacé supérieur: calcaire, grès, gypse, boue et lisse, ainsi que dans les formations crétacées inférieures d'argile, de sable, de gravier et de roche situées au nord de la région.
- Les formations du tiers temps: argile et grès fin Ces formations sont situées dans la région centre-ouest d'Ain Saleh

- La formation de la quatrième fois: se compose de gravier et de sable argileux, en plus des dunes de sable situées au centre de la région, dominées par de fines formations de sable.

Nature de la formation géologique de la zone d'étude et présence de formations contenant du sable, qui constituent une source permanente d'alimentation pour le sable de la zone d'étude par l'altération, l'érosion éolienne et le transport, puis s'accumulent lorsque des obstacles existent

En général, on peut dire que la municipalité d'Ain Saleh est située dans le bassin du sédiment appelé (ahnnnet), bassin stable de composition basé sur la composition de la base des roches pyrotechniques étendues de la région d'Ahhar. Le terrain apparent de la municipalité d'Ain Saleh se caractérise par une météo clémente, découpée dans un relief de haute altitude, représentant le plateau de Tadmît au nord.

### **2.5. Hydrogéologie**

Le réseau hydrographique d'Ain Saleh est cohérent avec la morphologie de la région, les trois parties qui constituent le terrain de la région renouvellent la nature de la pente de l'eau.

En raison de l'emplacement de la plaine de Tidikelt entre deux blocs relativement élevés, le plateau Tademaït et les montagnes Adrar Nahant jouent le rôle d'un grand complexe d'étangs.

Les cours d'eau, généralement discontinus et intermittents, s'écoulent nord-est et suivent le plateau de Tademaït. Ils se frayent un chemin entre leurs pentes et leurs tranchées pour pénétrer dans Hamada Tidikelt en suivant naturellement la pente naturelle, qui se distingue par la grande différence de niveau entre le plateau et Hamada.

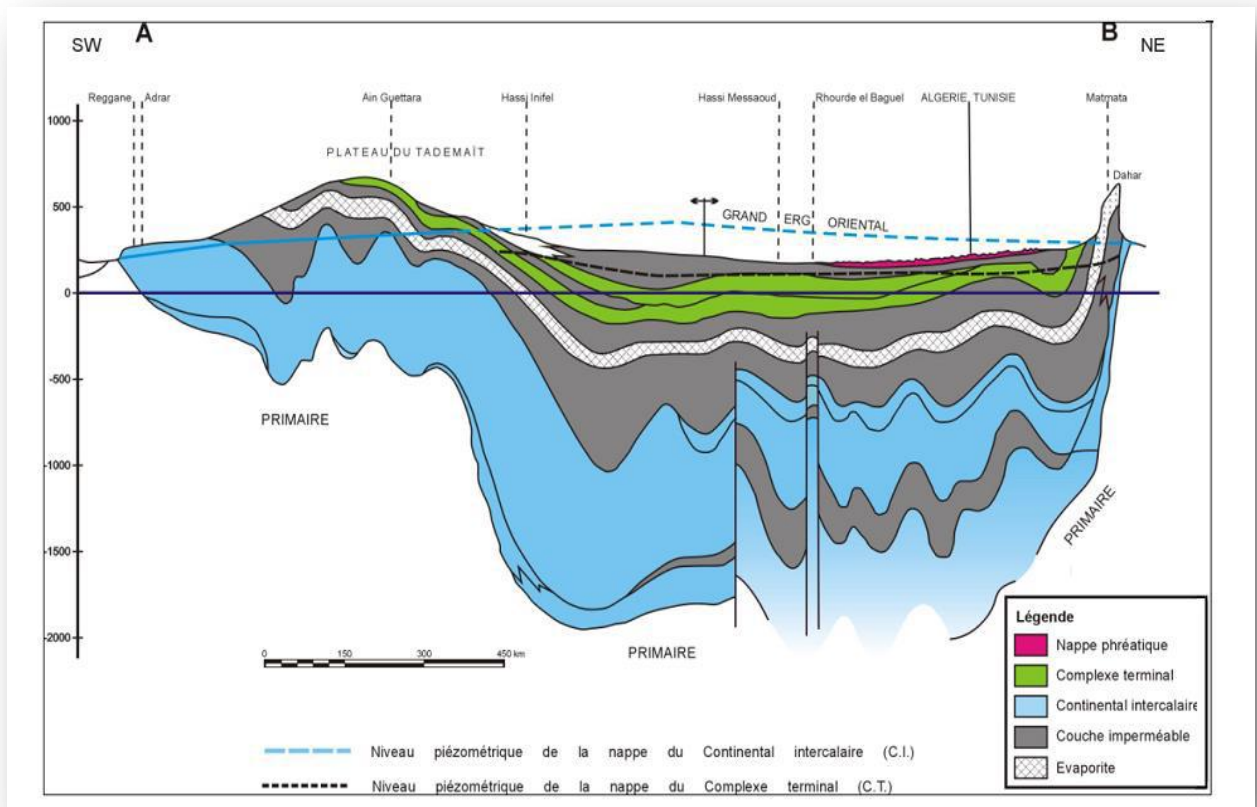
Certains des égouts, qui se rassemblent parfois, coupent les montagnes de l'Adrar Nahant du sud à Hamada ou la plaine de Tidikelt au nord-ouest.

Ces cours d'eau ont des caractéristiques communes, ils sont faibles (l'absence de tout bassin de surface important dans la région, comme une rivière, une rivière ou une grande rivière)

Le temps est limité en raison des conditions climatiques prévalant dans la région (climat chaud et sec et chute presque nulle), longitudinales, discontinues et intermittentes (le plus long étant de quelques kilomètres), et la quantité totale d'eau de pluie collectée est perdue dans les dépressions, s'évapore ou Nourrir l'aquifère.

Les sources hydrographiques les plus importantes de la région se situent à l'intérieur des strates de pierre, qui remontent au premier et au deuxième siècle, et contiennent des réserves d'eau très importantes, considérées comme les plus importantes au niveau national (d'après

les spécialistes, jusqu'à la fin de l'année). Ce qui fait que la ville d'Ain Saleh parvient à assurer sa sécurité en eau par les puits artésiens, et a même financé l'eau du siège de l'Etat par le canal de l'eau entraînée, Ain Saleh – Tamanrasset, qui devrait être livré dans les urgences (l'un des plus grands projets dans lesquels l'Etat a investi dans la décennie noire)[9].



**Fig.2.4. La coupe piézométrique de la nappe aquifère de la région.**

### 2.6. La végétation

La végétation est l'un des facteurs les plus importants contrôlant le processus de fluage du sable et la protection des pentes et la formation en surface de différents types d'érosion en formant une barrière protectrice réduisant l'impact des coups de vent sur la région.

Le climat de la zone d'étude est caractérisé comme chaud et sec en raison du manque de précipitations et de températures élevées et augmente l'évaporation à partir de la surface du sol, là où la végétation est présente dans la région d'Ain Saleh sur les oasis et les vallées, une végétation médiocre, principalement constituée de plantes qui s'adaptent à la sécheresse (sécheresse). Et nous enregistrons également l'existence de certaines cultures agricoles dans

les oasis de l'agriculture, telles que les dattes et certains types de céréales et de fruits et légumes de saison.

### 2.7. Etude du climat

Comme toutes les autres régions ou régions méridionales, la municipalité d'Ain Saleh est située dans une région au climat désertique continental. Elle se caractérise par un temps chaud et sec pendant une longue période et une longue période de l'année. Le taux de déclin est faible et sa durée et son emplacement limités.

Dans cette étude, nous nous sommes appuyés sur les données enregistrées par la station météorologique d'Ain Saleh pendant 10 ans entre 2008 et 2017.

#### 2.7.1. La température

Il convient de noter que la température moyenne dans la région d'Ain Saleh varie selon les saisons. Au tableau, la température au cours de la journée d'hiver est estimée à 22,49 ° C, enregistrant le plus bas degré de 6,6 ° C qui caractérise l'atmosphère de modération et de froid.

Alors que la température moyenne pendant la journée d'été est estimée à : 44,22 ° C pas moins de 27,27 ° C et jusqu'à 46,09 ° C dans quelques heures, ceci a un impact direct sur l'activité humaine et la production architecturale et urbaine, le caractère architectural et urbain local reflétant fidèlement l'environnement climatique dominant.

**Tab.2.1 Température moyenne (°C) à Ain Saleh pour la période 2008-2017.**

Mois	Septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mares	avril	mai	juin	Juillet	out
Température min	26.81	20.80	12.81	8.96	6.60	9.29	13.18	17.9	23.4	27.2	30.4	30.0
Température max	42.16	35.70	28.10	23.14	22.49	25.63	30.12	35.7	40.0	44.2	46.0	44.9
Moyen	34.49	28.25	20.46	15.92	14.55	17.46	21.6	26.8	31.7	35.7	38.2	37.4

Source Office météorologique national- tamarasset.

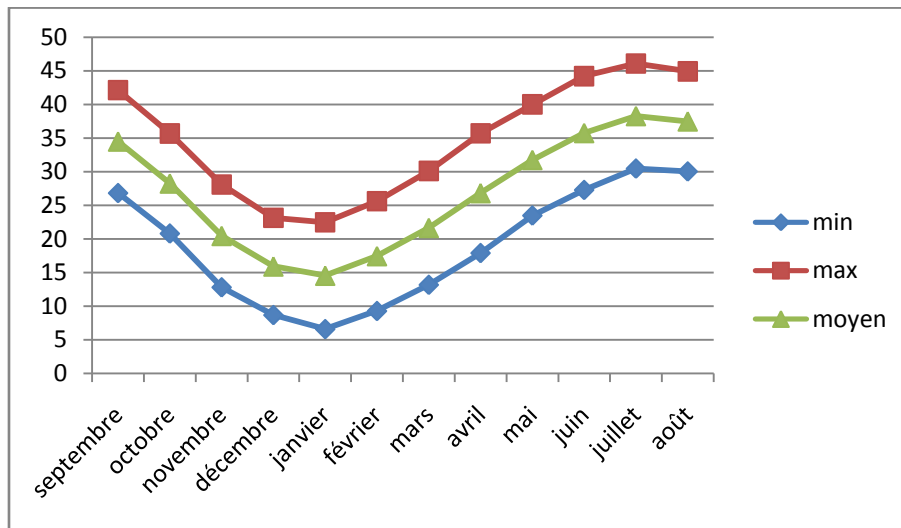


Fig.2.5. Température moyenne (°C) à Ain Saleh pour la période 2008-2017.

### 2.7.2. La Précipitation

Le pourcentage de précipitations à Ain Saleh est très faible en raison du climat sec et chaud qui règne dans la région, de sorte qu'il ne pleut toute l'année que très peu et que pendant les mois de juin, mars, novembre et janvier, jusqu'à 2,86 mm et sinon la quantité est très faible, voire nulle.

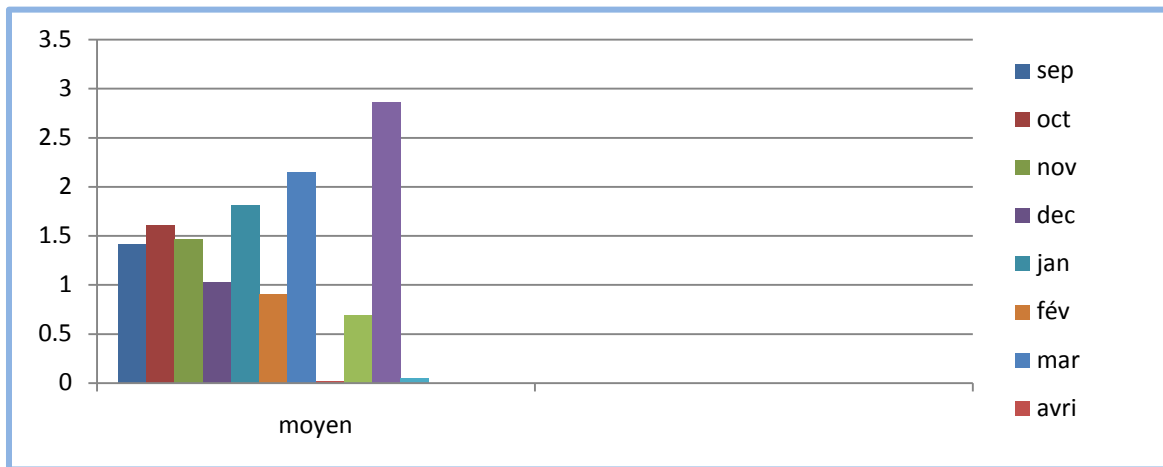
C'est ce que nous voyons dans la représentation graphique puisque nous enregistrons la plus grande valeur du mois de juin, 2,86 mm et la plus faible valeur en OT 0000 mm. Pour l'automne, nous notons le plus grand enregistrement à l'automne de 1,49 mm et la plus faible au printemps 0,95 mm.

Les quantités qui tombent suivent les oueds et les sources situées dans la région et se rencontrent toutes à Hamada. Elles sont divisées en deux parties, une partie qui pénètre dans le sol et alimente la couche souterraine et une autre partie s'évapore dans l'atmosphère en raison des conditions climatiques, notamment des températures élevées.

Tab2.2. Quantités de précipitations (mm) à Ain Saleh pour la période 2008-2017.

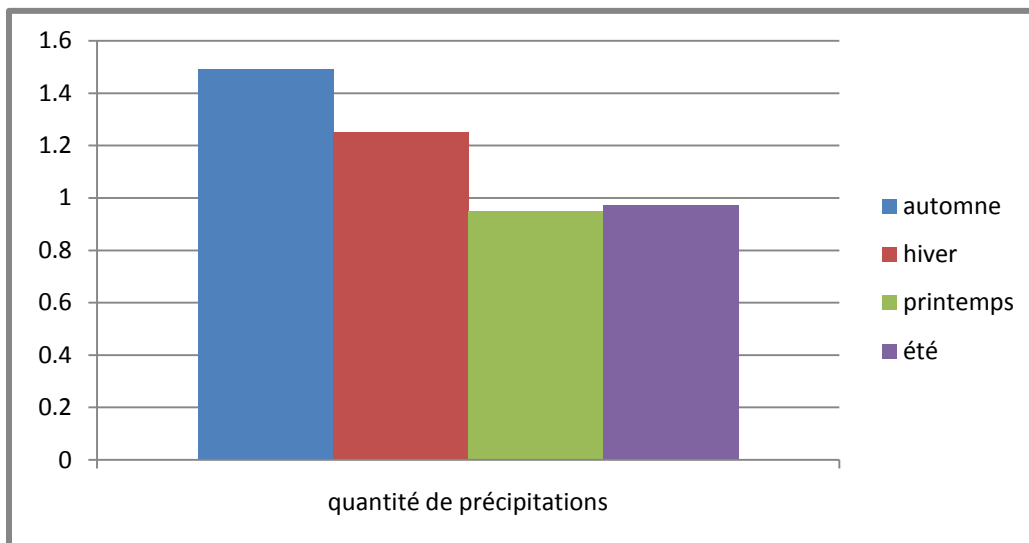
saison	automne			hiver			printemps			Eté		
	sep	oct	nov	dec	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août
Tarif mensuel	1.41	1.61	1.46	1.03	1.81	0.9	2.15	0.02	0.69	2.86	0.05	0.0
Moyen trimestrielle	1.49			1.25			0.95			0.97		

Source Office météorologique national- tamarasset.



**Fig.2.6. Quantités de précipitations (mm) pour mois à Ain Saleh pour la période 2008-2017.**

Source : Achèvement des deux étudiants.



**Fig.2.7. Quantités de précipitations (mm) pour chaque saison à Ain Saleh pour la période 2008-2017.**

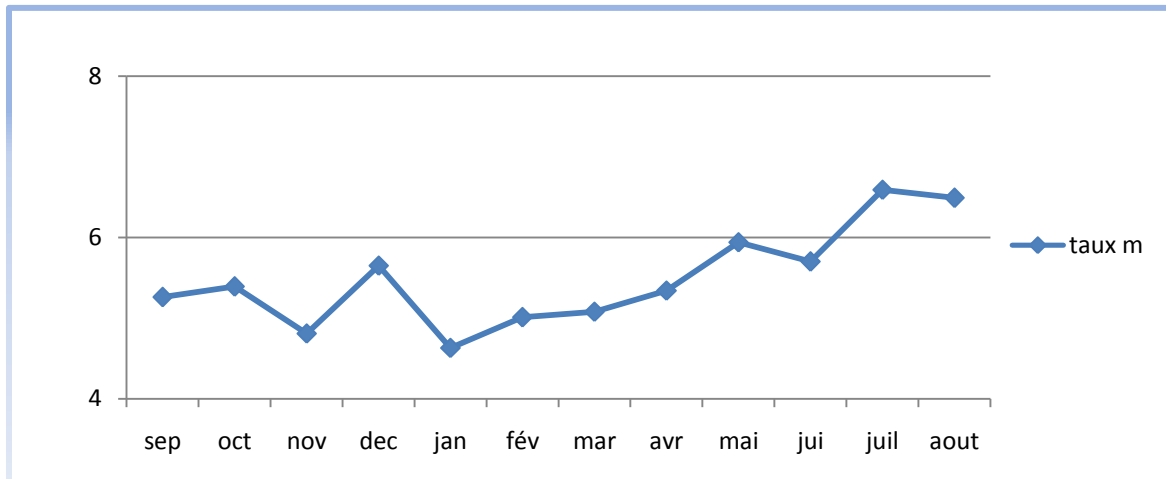
### 2.7.3. Le vent

Nous entendons le mouvement horizontal de l'air parallèle à la surface de la Terre, qui effectue de nombreuses tâches importantes telles que le transfert de sable, de chaleur, d'humidité et de polluants d'un endroit à un autre, et les redistribue constamment, en décrivant ces vents dans la direction et la vitesse.

**Tableau.2.3. Vitesse du vent (m/s) de la station d'Ain Saleh pendant la période 2008-2017**

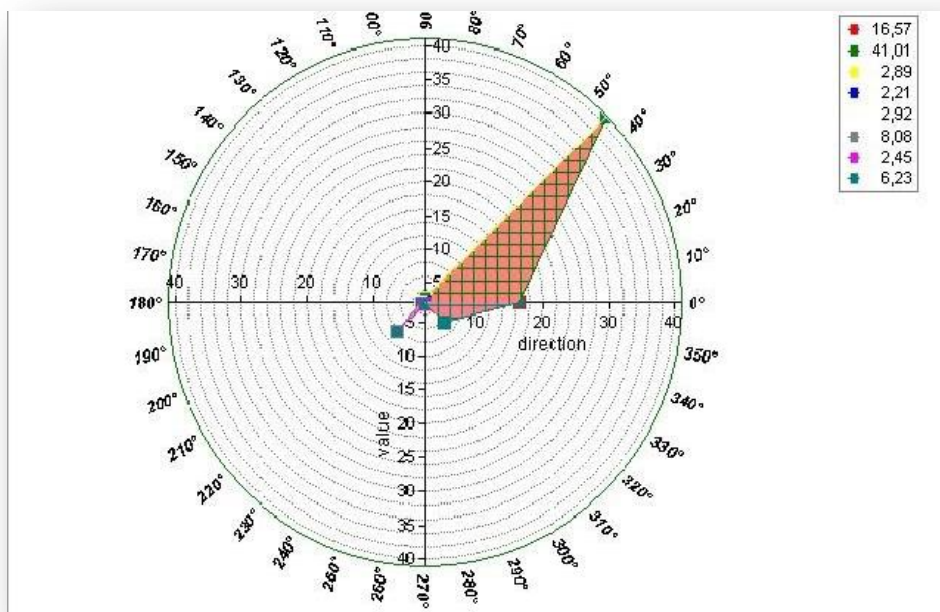
moi	sept	oct	nov	dec	jan	fév	mars	avr	mai	jui	juil	out
Taux	5.26	5.3	4.8	5.65	4.6	5.01	5.08	5.3	5.9	5.70	6.5	6.49
moy		9	1		3			4	4		9	

Source Office météorologique national- tamarasset.



**Fig.2.8. Vitesse du vent (m/s) de la station d'Ain Saleh pendant la période 2008-2017.**

Source : Achèvement des deux étudiants.



**Fig.2.9. La rose des vents de la station d'In Saleh pendant la période 2008-2017.**

Source : Source Office météorologique national- tamarasset.

La tendance du vent dans la zone d'étude se situe au nord-est de 32%, suivie du vent d'est, qui atteint 22,9% et atteint sa vitesse maximale au printemps et en été. La direction du vent est équilibrée sur la plupart des tendances avec une augmentation relative par rapport à la région Est et Est.

Ces vents ont des directions différentes selon les saisons, mais la direction prédominante est le nord-est et l'est et leur vitesse varie de 4,81 à 6,59 m / s. Le vent est le principal facteur de l'érosion éolienne et du sable rampant dans la région. Et la stabilité tout au long de l'année, qui repose sur l'orientation des dunes de sable dans la zone d'étude et limite donc le rôle de ces vents à une légère modification de la forme de la zone d'étude des dunes de sable.

### **2.8. Conclusion**

Ce chapitre présente les principales caractéristiques naturelles de la zone d'étude, située au cœur du désert algérien. Se caractérise par une vaste zone qui lui confère diverses manifestations de surface, du fait qu'il existe une variation du terrain du nord au sud, où se trouve le plateau tadmite, la plaine du Tidikelt et les hautes terres du sud.

L'étude des indicateurs climatiques montre clairement que le climat dominant dans la région est un climat désertique chaud et sec en été et un climat froid en hiver.

Nous distinguons également le manque de précipitations dans la région et il existe deux sources principales de ressources en eau, la première étant les vallées saisonnières de faible activité en raison de la faible pluviosité dans la région, qui contribue à la recharge des ressources et la seconde est l'eau stockée dans l'aquifère et la principale source d'eau dans la région.

Il est également évident que les vents dominants soufflant dans le nord-est et l'est au cours des mois de l'année à des vitesses différentes, de sorte que la vitesse annuelle moyenne est estimée à 4,4 m / s, ce qui contribue à faire glisser le sable dans la région.

# CHAPITRE 3

## **Chapitre 3 : Concept de base sur le système d'informations géographiques**

### **3.1. Introduction**

Les techniques de saisie, de traitement et de communication de l'information géographique ont connu ces dernières années des évolutions très importantes tenant à l'adoption de nouvelles technologies et à la généralisation de l'informatisation des outillages (logiciels SIG) intégrant des fonctions évoluées d'analyse spatiale.

De nos jours, les SIG ont produit des bouleversements d'une grande ampleur dans tous les domaines (hydrogéologie, hydrologie, aménagement des territoires, control du trafic routier, gestion des bassins versants). Il apparaît donc nécessaire que pour une meilleure compréhension des phénomènes liés à la nature ou à l'activité humaine d'adopter une approche globale dite intégrée des problématiques des territoires en intégrant autant que possible les différentes préoccupations tant techniques, économiques, environnementales ou sociologiques de l'amont à l'aval du secteur d'étude. Cela n'était pas réalisable avec les anciennes méthodes et outils d'analyse. Le recours aux technologies modernes à savoir les systèmes d'informations géographiques se trouve justifié et permet ainsi de palier à cette carence.

### **3.2. Définition de système d'information géographique**

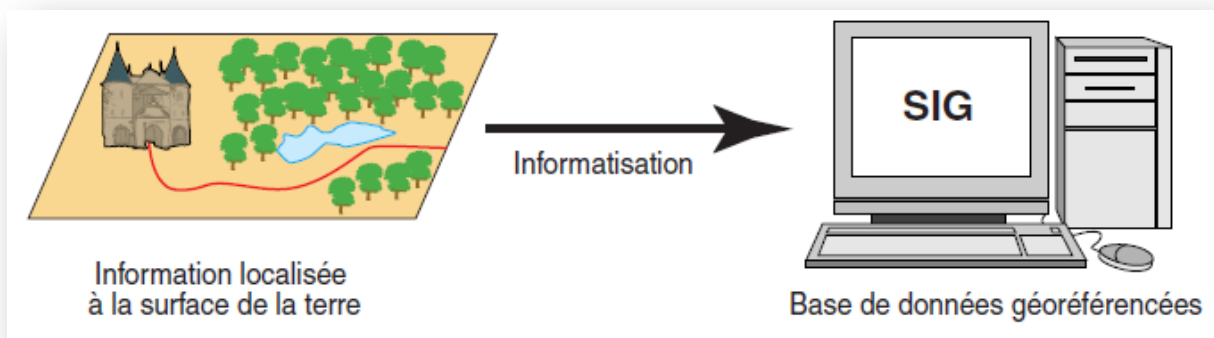
Il existe plusieurs définitions de Système d'Information Géographique (SIG) :

Un SIG est un ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision », Selon l'économiste Didier (1990).

Un SIG est un système informatique de matériels, de logiciels et de processus conçu pour permettre : la collection, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation, l'affichage des données à référence spatiale, afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion », Selon le Comité Fédéral de Coordination Inter-agences pour la Cartographie Numérique aux États-Unis (1988).

Un SIG est un système informatique qui permet à partir de diverses sources, de rassembler, d'organiser, de gérer, d'analyser, de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace », Selon la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection.

Un SIG, dans une définition étroite, est un système informatique pour la saisie, la manipulation, le stockage et la visualisation des données spatiales numériques. Dans une définition plus large, il est un système numérique d'acquisition, de gestion, d'analyse, de modélisation et de visualisation de données spatiales aux fins de la planification, l'administration et le contrôle de l'environnement naturel et aux applications socio-économiques », Selon Konecny (2003)[10].



**Fig.3.1. rôle du sig**

### **3.3. Les principales composantes d'un SIG**

Selon ESRI France (ESRI, 2018) un Système d'Information Géographique est composé de :

- **Matériel informatique (hardware)**

Les SIG marchent sur une très grande panoplie d'ordinateurs (pc de bureaux raccordés en réseau ou exploités de manière autonome).

- **Logiciels (software)**

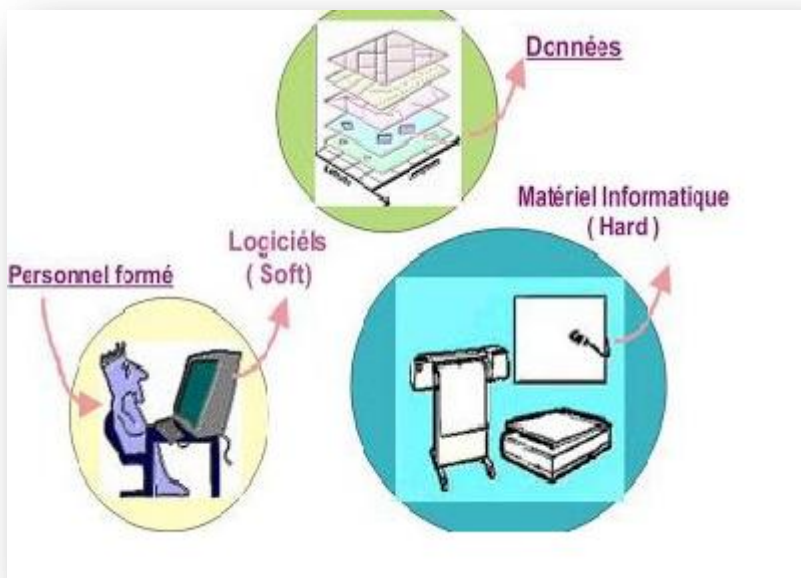
Les logiciels de SIG offrent les outils nécessaires pour sauvegarder, examiner et visualiser l'information géographique.

- **Données (Information Géographique)**

Les données constituent la composante maîtresse des SIG. L'information géographique peut, soit être constituée en interne, soit acquise auprès de producteurs de données.

- **Personnel formé**

Un SIG étant avant tout un outil, donc c'est à l'utilisateur « expert en SIG » de l'exploiter. Il faut signaler que les SIG sont élaborés d'une manière qui leurs permettent d'être manipulés par plusieurs types d'utilisateurs, depuis ceux qui créent et maintiennent les systèmes, jusqu'aux utilisateurs de logiciel pour le traitement de l'information géographique. Actuellement, grâce à l'accès des SIG sur Internet, le nombre d'utilisateurs de SIG s'agrandit de façon importante.



**Fig.3.2. Les principales composantes de SIG.**

### 3.4. Les fonctionnalités d'un SIG

Les SIG sont créés pour répondre à différentes demandes et comme le système commun n'existe pas, il faut les ajuster selon les objectifs établis. Néanmoins il faut dire qu'il y'a 5 fonctionnalités « on les appelle les 5A » que tous les SIG doivent assurer :

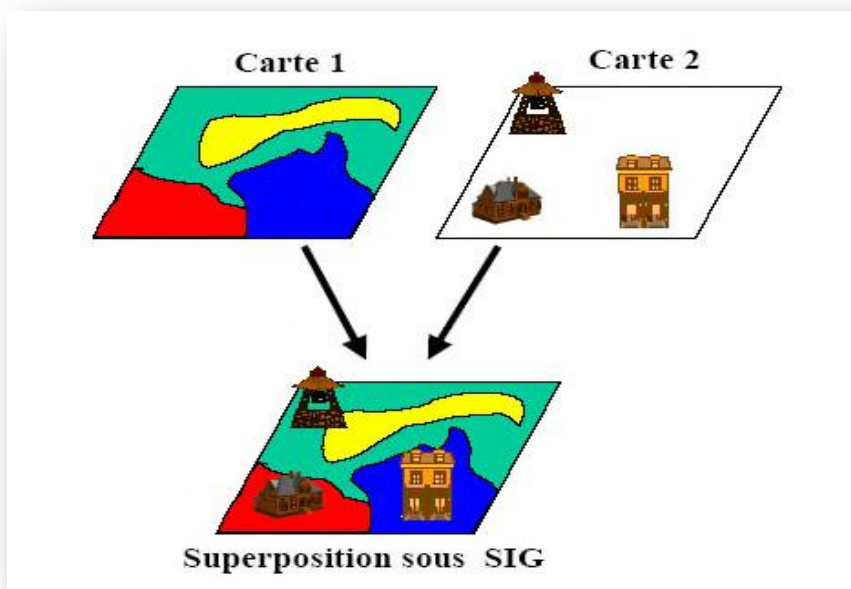
**Abstraire** : Concevoir un modèle qui arrange les données par constituants géométriques et par attributs descriptifs, et qui permet aussi d'établir des relations entre les objets.

**Acquérir** : Le logiciel doit posséder des fonctionnalités de digitalisation et d'importation de données [10].

**Archiver** : Le logiciel doit avoir une grande capacité de stockage des données.

**Analyser** : Capacité d'analyser les données géographiques (méthodes quantitatives et statistiques, opérateurs topologiques, etc.).

**Afficher** : Capacité d'affichage de l'information géographique sous forme de Cartes, tables, graphes, etc.



**Fig.3.3. Superposition sous un SIG**

### 3.5. Quelques logiciels SIG

#### 3.5.1. Les logiciels « commerciaux » les plus courants :

- ArcView (thème : .shp), ArcGis et ArcInfo (couche : .shp ou Géo Data Base)
- MapInfo (Table : .tab)
- GéoConcept
- Géomédia
- APIC

### 3.5.2. Les logiciels « gratuits » :

- ArcReader et ArcExplorer
- GRASS GIS
- GMT
- Quantum GIS
- gvSIG[11].

### 3.6. Domaines d'application du SIG

Les approches ont mis en évidence le fait qu'un système d'information géographique est un outil de gestion et d'aide à la décision 27. C'est un outil de gestion pour le technicien qui doit au quotidien assurer le fonctionnement d'une activité. Le SIG doit aussi être un outil d'aide à la décision pour le décideur (directeur, administrateur) qui doit bénéficier de sa puissance et disposer de cartes de synthèses pour prendre les meilleures décisions [12].

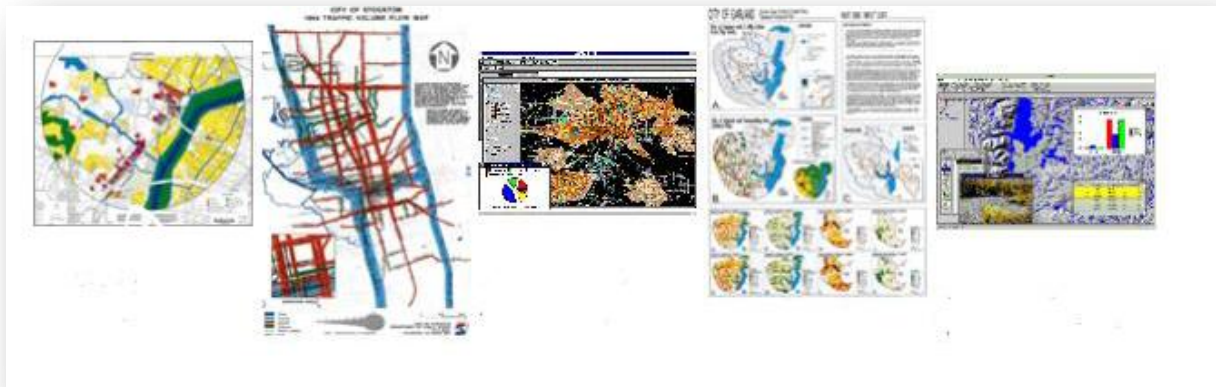
C'est cette finalité qui permet d'employer le terme de système d'information et de donner aux SIG les domaines d'applications suivants figure:

#### 3.6.1. Pour les grandes échelles [13]

- La gestion foncière et cadastrale (recensement des propriétés, calcul de surfaces).
- La planification urbaine (plan d'occupation des sols et d'aménagement).
- La gestion des transports (voies de circulations, signalisation routière).
- La gestion des réseaux (assainissement, AEP, gaz, électricité, téléphone...).
- La gestion du patrimoine (espaces verts, parcs, jardins ...).
- Les applications topographiques (travaux publics et génie civil).

#### 3.6.2. Pour les échelles moyennes et petites

- Les études d'impact (implantation d'un centre commercial ou d'une école).
- Les études d'ingénierie routière (constructions de routes ou d'autoroutes).
- Les applications liées à la sécurité civile (prévention des risques naturels et technologiques).
- La gestion des ressources naturelles (protection de l'environnement, études géologiques, climatologiques ou hydrographiques).



**Fig.3.4. Domaines d'application des SIG**

### **3.7. Conclusion**

D'une manière générale, la mise en œuvre d'un SIG peut être faite avec différents logiciels parmi lesquels les quatre suivants constituent les plus utilisés : Geoconcept, ArcView, ArcGis et MapInfo. Tous ces logiciels ont une même vocation : apporter des Réponses à la problématique spatiale grâce à des analyses cartographiques ou des thématiques. Les fonctionnalités techniques sont très proches les unes des autres. Ces logiciels s'adaptent à des usages dans les divers domaines, mais leur choix devra être éclairé par :

- son cout dépendant évidemment du budget alloué au projet du SIG.
- l'ergonomie de son interface.
- la nécessité de former les chargés d'études pour sa prise en main.
- ses atouts en termes d'apport de solutions d'analyses.
- les possibilités d'échanges de données.
- la compatibilité de ses supports de données avec d'autres.

# CHAPITRE 4

### **Chapitre 4: Résultats, analyse et discussions**

#### **4.1. Introduction**

Le sable peut s'accumuler jusqu'à des hauteurs parfois importantes. La force et le régime des vents, l'abondance de sable, l'importance de la couverture végétale sont autant de facteurs qui déterminent la nature et la morphologie de toute une série de dépôts éoliens.

C'est pour ça qu'on utilise le sig afin d'étudier le comportement des espaces sableux pendant plusieurs années, l'étude étant sur des années repères respectivement 2002, 2007, 2013 et 2019.

Dans ce chapitre nous allons présenter notre zone d'étude et expliquer la méthodologie qu'on va suivre lors de la réalisation des cartes de vulnérabilité.

#### **4.2. Définition du projet**

Ce travail consiste à réaliser Une carte pour la gestion de la zone sen sablée afin de réduire les effets d'ensablement dans la zone d'In Salah, wilaya de Tamanrasset.

#### **4.3. Les objectifs de l'étude**

Cette travail repose essentiellement sur l'étude de la vulnérabilité a l'ensablement des habitations et infrastructures de la région de In Salah, à partir d'une classification d'images satellitaires de la région, de suivre la dynamique et l'évolution de sable à travers la comparaison de l'occupation du sol des années 2002, 2007, 2013et 2019. Enfin de compte voir l'ampleur de l'ensablement sur cette période.

#### **4.4. Les données dans les sig**

Le premier aspect auquel on pense quand on évoque la notion de logiciel de cartographie informatique ou de système d'information géographique est celui de manipuler les données. Dès lors, un certain nombre de questions se posent : Comment l'information contenue dans une carte peut-elle être stockée dans un ordinateur? Quelles sont les données traitées par les SIG ? La section suivante apporte les réponses aux différentes questions posées et met le point sur les modes d'acquisition de données dans un SIG.

### 4.4.1. Modes d'acquisition de données

Dans la pratique, les données géographiques proviennent de sources différentes, ont des modes d'acquisition différents, sont sur des médias différents, on dit qu'elles sont multi sources. Certaines données sont directement mesurées sur le terrain (levés topographiques) ou captées à distance (système de positionnement Global GPS, photos aériennes, images satellitaires), ou saisies à partir de cartes ou de plans existants, ou récoltées par des organismes de production de données et ensuite importées. Il s'agira d'intégrer ces données hétérogènes, car de qualité, de fiabilité, de précision et d'extensions spatiales bien différentes. Nous présentons dans ce qui suit les principales méthodes d'acquisition de données [14].

#### A) Numérisation

La numérisation (digitalisation ou vectorisation) permet de récupérer la géométrie des objets disposés sur un plan ou une carte préexistante.

Elle consiste à faire évoluer un curseur sur un plan posé sur une table à digitaliser et préalablement calé en coordonnées. La table est réceptive aux signaux électriques émis par le curseur. Elle peut localiser ces signaux sur le plan de la table avec une précision de l'ordre du dixième de millimètre.



**Fig.4.1. Extraction des couches.**

### **B) Balayage électronique (scannérisation)**

Le balayage électronique (réalisé avec un scanner) est un autre moyen de saisir un plan existant. Il est plus rapide que la digitalisation manuelle.

### **C) Photogrammétrie**

La photogrammétrie aérienne est utilisée de façon systématique pour constituer les cartes à moyenne échelle. Elle est retenue également dans les pays dont la couverture cartographique et géodésique est déficiente et utilisée pour la constitution de plans à grande échelle pour un coût qui peut être très avantageux. La figure 4.2 présente un exemple de photos aériennes.

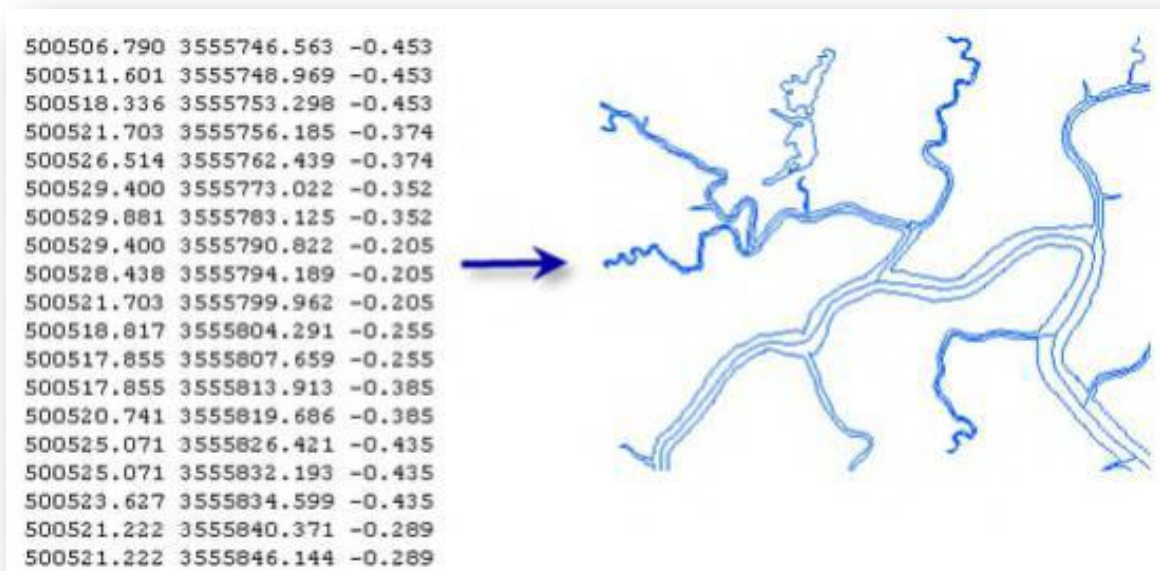


**Fig.4.2. Image aérien pour la zone d'étude.**

### **D) Import de fichiers**

C'est une façon de réduire les coûts de saisie et de récupérer des données existantes et de les convertir au format, au système d'unités et au système de projection souhaités comme c'est illustré dans la figure 4.4 Pour cela, on utilise des interfaces qui permettent :

- Soit de transformer directement les données dans le format interne du SIG récepteur grâce à des bibliothèques de conversions à ce format interne.
- Soit de passer par l'intermédiaire d'un format d'échange reconnu, par une fonction d'importation de données du SIG récepteur.



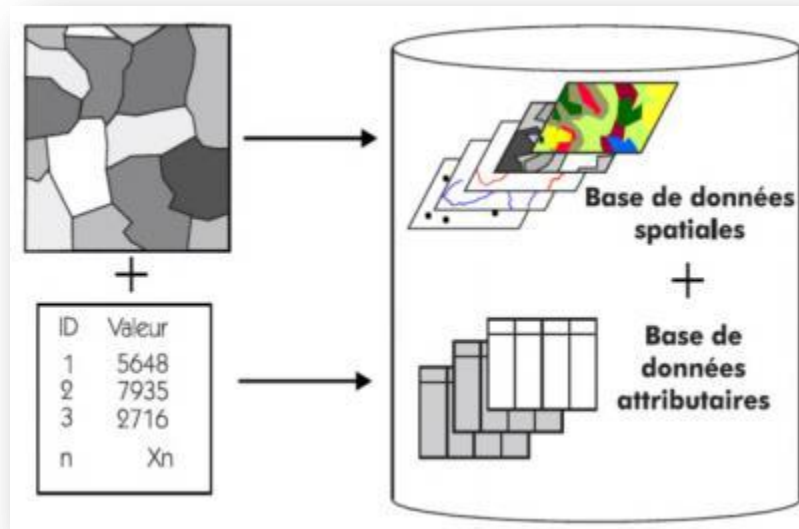
**Fig.4.3. Exemple d'importation de fichiers vers le SIG.**

### 4.5. Types de données dans un SIG

Généralement pour qu'un objet spatial soit bien décrit et prêt à être utilisé par un SIG, trois informations doivent être fournies [15] :

- Sa position géographique dans l'espace.
- Sa relation spatiale avec les autres objets spatiaux : topologie.
- Son attribut, c'est à dire ce qu'est l'objet avec un caractère d'identification (code).

Les systèmes d'information géographique permettent de traiter les données spatiales et associées (fig4.4).



**Fig.4.4. Types de données dans un SIG.**

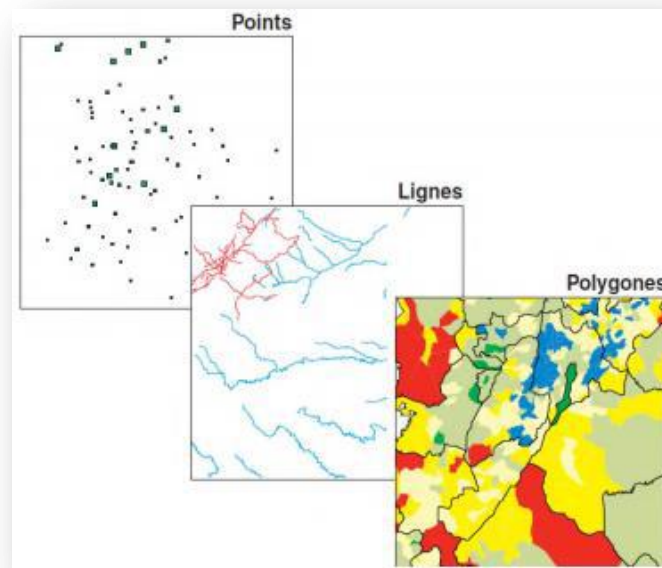
### 4.5.1. Données spatiales

Elles déterminent les caractéristiques spatiales d'une entité géographique où sont représentés et identifiés tous les éléments graphiques [15] :

- La localisation : coordonnée par rapport à une échelle graphique de référence.
- La forme : point, ligne, surface.
- La taille : longueur, périmètre, surface.

Les informations font référence à des objets de trois types (figure 4.5) :

- Point : est désigné par ses coordonnées et à la dimension spatiale la plus petite.
- Ligne : a une dimension spatiale constituée d'une succession de points proches les uns des autres.
- Polygone (zone ou surface) : est un élément de surface défini par une ligne fermée ou la ligne qui le délimite.



**Fig.4.5. Données spatiales.**

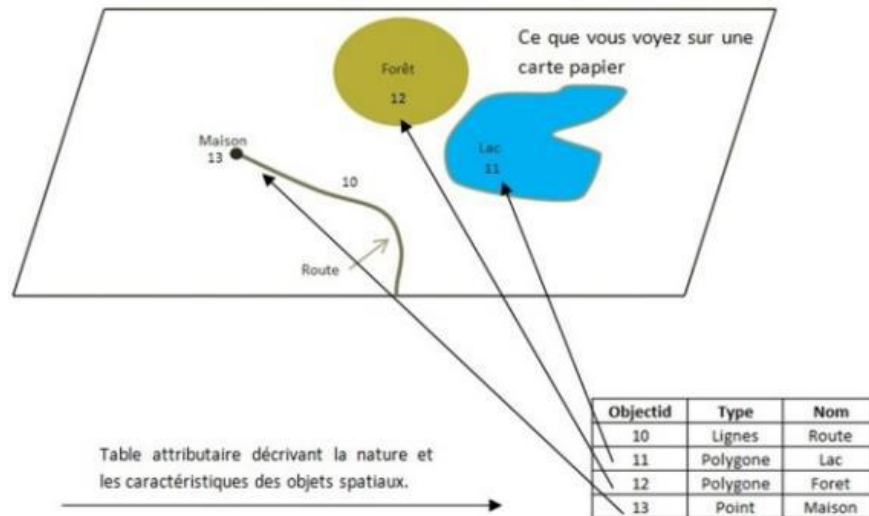
### 4.5.2. Données associées

Les données associées des entités géographiques permettent de compléter la représentation géométrique de l'entité spatiale [16]. Chaque élément de l'espace reçoit un code d'identification qui peut être numérique ou littéral. Ce code constitue en quelque sorte une étiquette caractérisant le point, la ligne ou le polygone. Parmi ces données il faut distinguer :

**A) Données de classification :** Ces données permettent de ranger le point isolé, la ligne ouverte ou la ligne fermée, dans une catégorie : limite administrative, contour de parcelle, bordure de trottoir, arbre d'alignement, conduite de réseau d'eau... Souvent ces distinctions seront prises en compte par l'organisation même du travail de saisie. Tout se passe, comme si l'on distinguait plusieurs couches d'informations, que l'on saisit successivement [16].

**B) Données d'identification :** Ces données permettent d'individualiser chaque objet figurant sur le plan : nom propre de l'objet, par exemple nom de la commune ou numéro permettant de l'identifier : numéro de parcelle, numéro de vanne [16].

**C) Données attributaires :** Ces données viennent apporter une information supplémentaire, propre à chaque objet identifié : le propriétaire de la parcelle, le diamètre de la conduite d'eau [16].



**Fig.4.6. Données associées [16].**

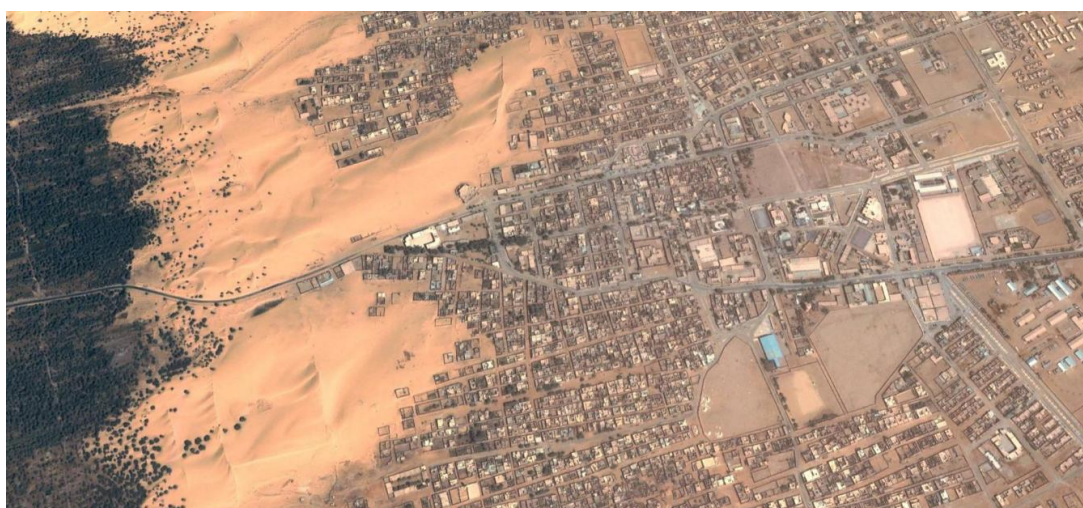
Souvent ces informations sont déjà disponibles sur des fichiers informatiques, où elles sont liées à l'identifiant de chaque objet. En général, la classe d'objet est déterminée, au moins en partie, par le processus de digitalisation, les identifiants étant introduits souvent en bloc à la fin.

### 4.6. Historique de la zone d'étude

La ville d'In Saleh a connu plusieurs étapes dans son développement urbain, que ce soit en nombre de logements ou en modèles, c'est pourquoi nous examinerons certains des développements subis par l'urbanisation et les aspects du progrès urbain [17].



**Fig.4.7. Image satellitaire pour la zone d'étude l'année 2002.**



**Fig.4.8. Image satellitaire pour la zone d'étude l'année 2007.**



**Fig.4.9. Image satellitaire pour la zone d'étude l'année 2013.**



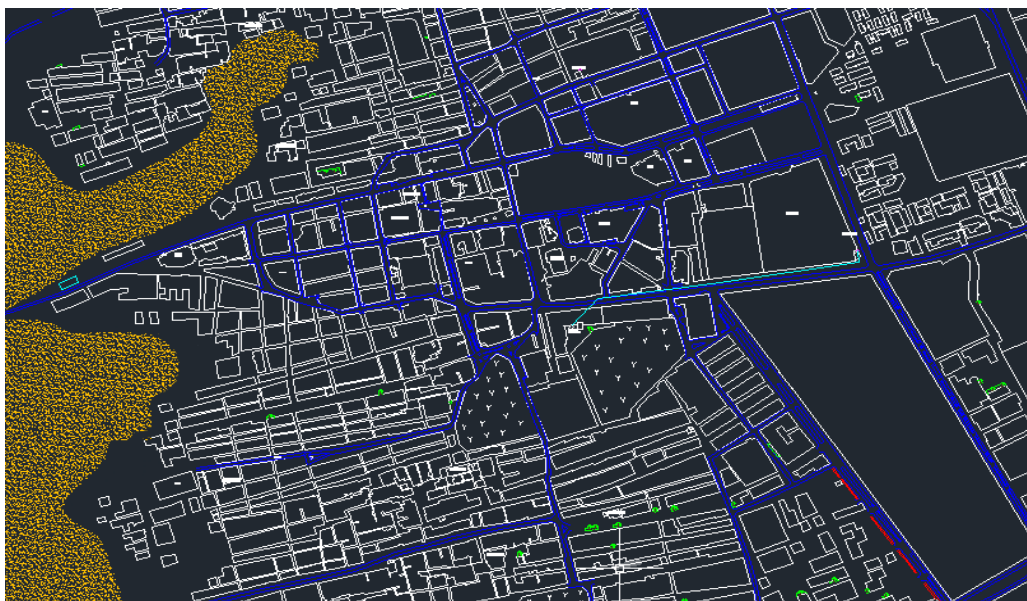
**Fig.4.10. Image satellitaire pour la zone d'étude l'année 2019.**

#### **4.7. Evaluation des changements de sable dans la région d'étude**

Ces cartes ont été complétées par AutoCAD , afin d'évaluer et de déterminer l'évolution du sol dans la zone d'étude .

- **Interprétation de l'image satellite 2002**

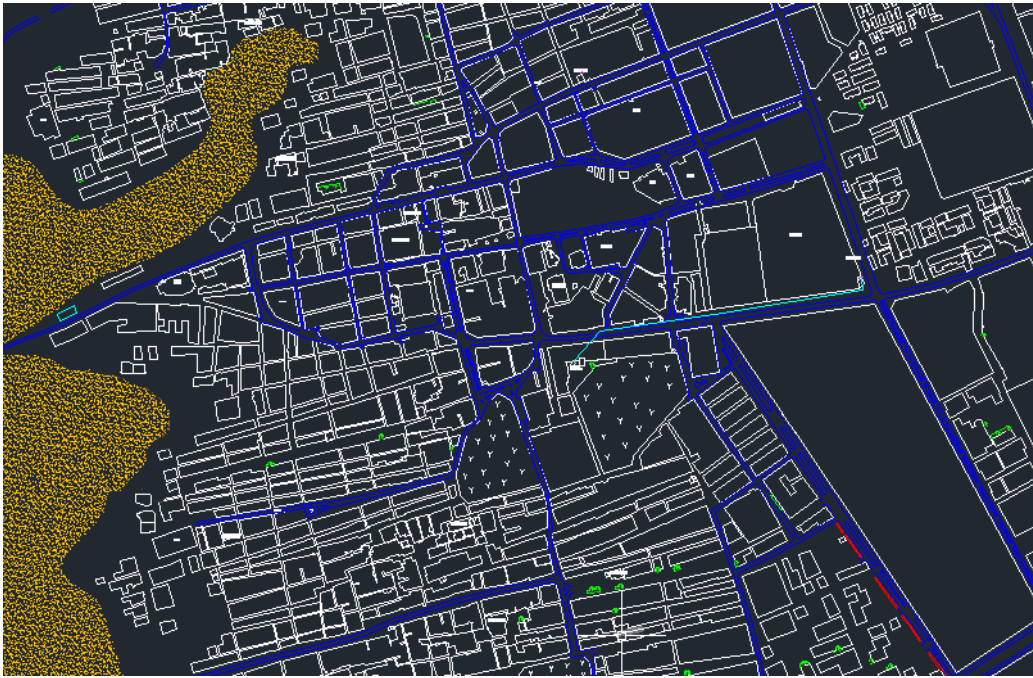
Sur la carte on observe un voile sableux en haut de village qui se présente comme un obstacle contre de sable, avec une surface relativement grande. Et un édifice dunaire qui apparaissent dans la partie en bas de la ville.



**Fig.4.11. Carte d'ensablement de la région d'étude en 2002.**

- **Interprétation de l'image satellite 2007**

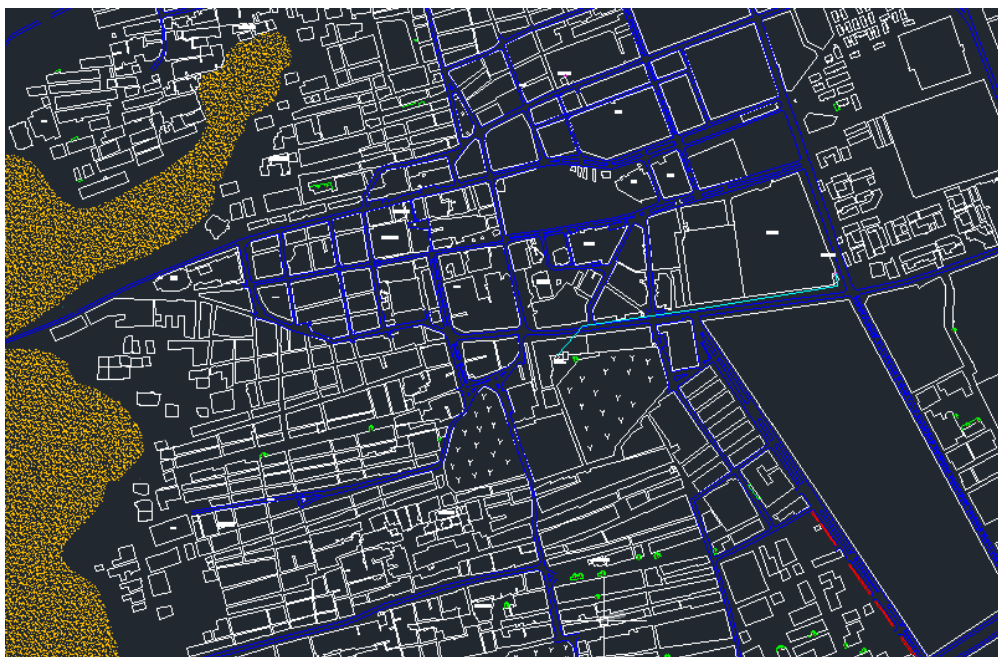
Nous notons dans la carte la diminution du pourcentage de sol au cours de cette période et l'augmentation du nombre de bâtiments et en même temps la disparition d'autres dues au phénomène de l'ensablement.



**Fig.4.12. Carte d'ensablement de la région d'étude en 2007.**

- **Interprétation de l'image satellite 2013**

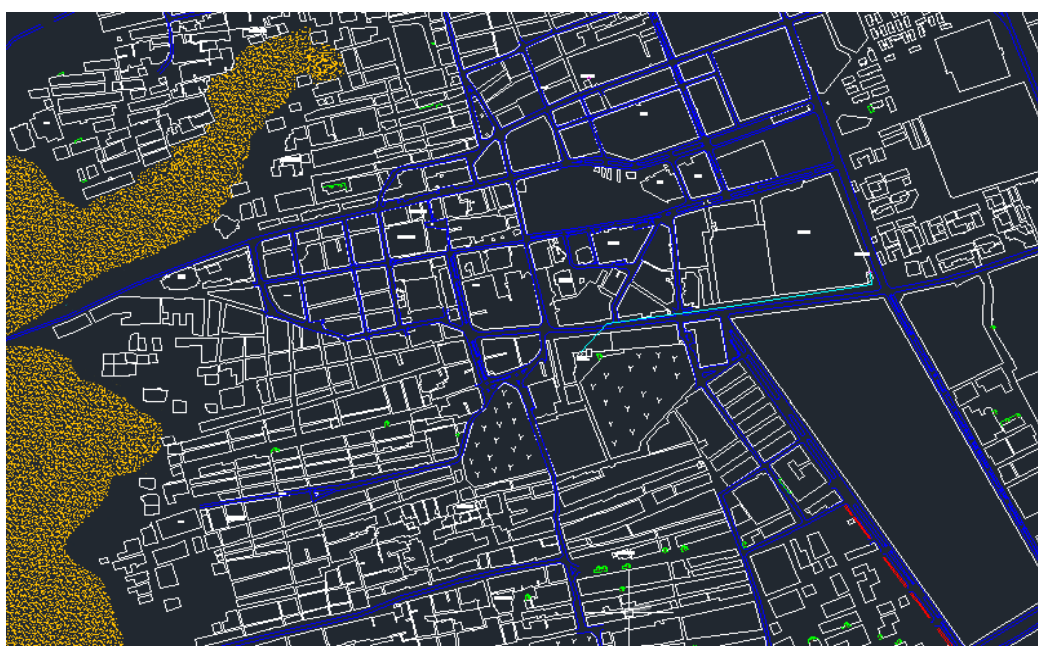
Sur cette carte, nous voyons la pénétration du sol dans la direction nord-ouest vers la ville, ce qui représente une barrière pour eux, ainsi que la résistance de la population au sol et le nombre de bâtiments dans le sud-ouest.



**Fig.4.13. Carte d'ensablement de la région d'étude en 2013.**

- **Interprétation de l'image satellite 2019**

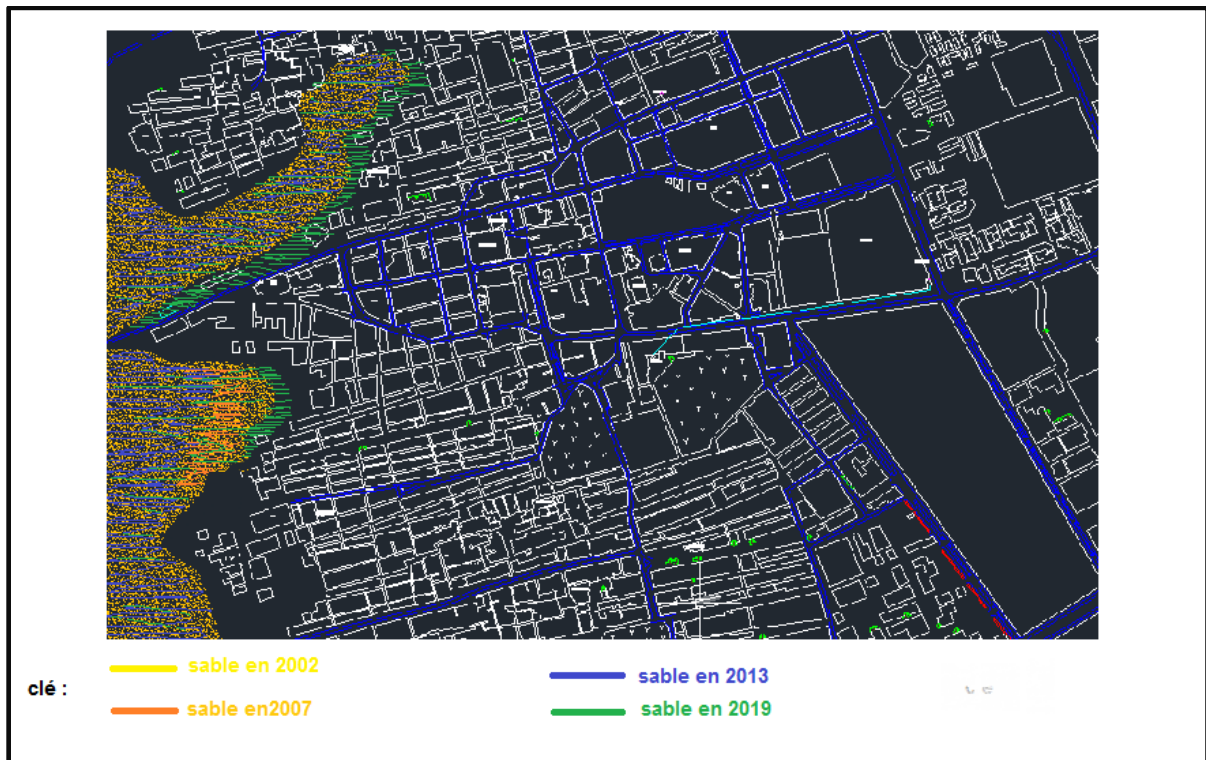
Sur cette carte, nous remarquons que le sol a pénétré le plus dans cette période et que sa cohésion avec les bâtiments est totalement sans précédent, ce qui provoque des désordres pathologiques.



**Fig.4.14. Carte d'ensablement de la région d'étude en 2019.**

#### 4.8. Evaluation des changements de sable dans la région d'étude dans les années 2002, 2007, 2013 et 2019

Nous avons réussi à suivre le mouvement du sable en étudiant chaque année séparément, puis nous avons finalement atteint une carte finale combinant toutes les années d'étude.



**Fig.4.15. Carte d'ensablement de la région d'étude dans les années 2002, 2007, 2013 et 2019**

Le risque de l'ensablement dans la sphère urbaine d'In Saleh pour la période de 2002 à 2019 est fluctuant. Les périodes les plus basses ont été vues en 2002, puis ont légèrement diminué en 2007, puis ont diminué et ont enregistré une légère baisse en 2013, avant de culminer en 2019 pour pénétrer dans la ville.

### 4.9. Désordres structurels et analyses pathologique des constructions

A travers ce chapitre, nous étudierons et analyserons les photographies collectées, mettrons en exergue l'empiétement du sable sur le centre urbain de la ville d'Ain Saleh, connaîtrons l'ampleur de la prise de conscience de ce problème et de la façon de le traiter.

Lors de l'inspection sur le terrain des faubourgs de la ville, ces images montrent le statut de la ville, résultant de l'accumulation de sable transporté par le vent en direction de la ville, qui est entré en collision avec l'oasis de Elbarka et s'est accumulé puis piégé dans la ville.



**Fig.4.16. L'ensablement des maisons avec le temps.**



**Fig.4.17. Accumulation de sable sur les murs extérieurs.**



**Fig.4.18. l'ensablement des maisons avec le temps.**



**Fig.4.19. Exemple sur les l'ensablement dans la région.**

De nombreuses maisons sont exposées à l'accumulation de dépôts de sable à proximité, ou sous forme de poussière recouvrant les toits et les fenêtres des maisons. Lorsque le vent dominant souffle, il sculpte les façades des bâtiments.

Si le vent passe vers les zones de dunes de sable, des dunes de sable sont transportées et déposées sur les surfaces et les façades des communautés qu'elles rencontrent ou les zones de dunes de sable peuvent être proches des habitations et rampent vers elles, causant de grands dégâts.



**Fig.4.20. Le sable a enseveli les maisons restantes et a sculpté les toits des bâtiments.**



**Fig.4.21. Le sable rampant des oasis de palmiers à In Saleh.**



**Fig.4.22. Des fissures causé par les charges exercé par les sables sur les murs.**

### 4.10. A analyse et discussion

Nous devons nous attaquer au problème du sable rampant par des mesures d'atténuation et d'adaptation, tout en essayant de transporter le sable par des moyens mécaniques et de l'utiliser dans le domaine de la construction et de la reconstruction.

Il faut également adopter une approche de précaution pour éviter le problème, au lieu de s'attaquer à la souffrance et s'attaquer aux effets négatifs du problème de la dérive de sable, qui ne peut être maîtrisé que par des solutions radicales.

On trouve ci-dessous une liste des techniques contre l'ensablement dans la ville d'In Saleh. C'est le problème original qui, si on y répondait, aurait un impact positif sur la région et le centre-ville, car le phénomène étudié résultait du phénomène de l'empiètement du sable sur la ville jusqu'à ce que l'oasis trouve Baraka comme un obstacle à la récupération de la ville.

- **Utilisation de rideaux en matières végétales:**

Cette méthode utilise des variétés de matières végétales telles que les feuilles de palmier, les plants de canne à sucre, les fleurs et les branches d'arbres, pour la fabrication de clôtures de plantes perpendiculaires à la direction du vent et à la distance entre 3-04 m et une hauteur d'un mètre afin d'éviter les risques de chutes. Zone d'étude des feuilles de palmier sèches.



**Fig.4.23. Exemple de lutte contre l'ensablement par Feuilles de palmier.**



**Fig.4.24. Exemple de lutte contre l'ensablement par Feuilles de palmier.**

### - Barrière de palme

Cette méthode traditionnelle ancestrale adoptée par les habitants d'In Saleh pour protéger leurs vergers et leurs maisons de l'empiètement de sable, est "Afrag" l'un des moyens les plus utilisés pour enrayer l'empiètement de sable dans les déserts algériens, où il est tissé à partir de feuilles de palmier sèches comprises entre 2 et 1,5 m Sur la ligne de douane et de ré-entretien à chaque fois porté ou enterré par le sable accumulé autour de lui Les étapes de l'achèvement de la barrière de feuilles de palmier "Afrag:"

Le processus d'achèvement de la barrière de feuilles de palmier passe par les étapes suivantes:

A)-Préparation de la matière première "palissade": La cisaille est coupée dans la paume verte, puis on enlève la partie contenant les épines et on laisse sécher la partie contenant les frondes au soleil, après avoir coupé à sec chaque journal d'une longueur de 1,80 mètre.

B)-Préparation de la tranchée: Une tranchée d'une profondeur de 0,5 m est forée.

C)- Barrière de palmes de tissage: Nous mettre les palissade les uns après les autres selon une perpendiculaire linéaire par rapport à la direction du vent. Le nombre des palissades compris entre 13 et 17 journaux par mètre. Ensuite, nous enterrons les deux côtés avec de la terre extraite de la tranchée puis relions le milieu de la clôture à une colonne de la barrière appelée "bras", puis fixée par un fil de fer vert ou un fil de fer, car des facteurs naturels tels que le vent peuvent saboter des facteurs humains.

### • Carrés ou Fenders:

Les matériaux utilisés pour l'établissement de brise-vent varient d'un pays à l'autre, en fonction de la qualité des matières premières et de leur disponibilité. Leur but est de réduire la vitesse du vent, puis de fixer le sable, de l'empêcher de se déplacer et de permettre aux plantes de pousser dessus, ainsi que ces petites défenses en matériaux secs et des plantes vivantes ou mortes. Tout matériel disponible peut être utilisé pour configurer ces pare-chocs.



**Fig.4.25. La technique des carrés utilisée dans le nord-est de la ville d'Ain Saleh.**

- **Techniques de traitement biologique**

La biotechnologie est une fixation permanente à l'établissement d'un couvert arboré au-dessus de dunes de sable où les racines consolident les grains de sable et aident à renforcer la résistance d'un sol sableux. Le boisement est l'un des moyens les plus efficaces d'installer des dunes de sable pour les caractéristiques suivantes:

- maintien de la végétation.
- Améliorer les propriétés du sol et améliorer la fertilité du sol en augmentant la matière organique.
- Améliorer les conditions environnementales.
- Fourniture de production (pâturages - bois).
- Trouvez des lieux de pique-nique et de divertissement.

La stabilisation permanente des dunes de sable par le développement de la végétation est la méthode de continuité la plus efficace et la plus durable. Pour leur efficacité limitée.

Par exemple, la méthode de couverture d'argile peut aider la croissance de nombreuses espèces de plantes naturelles après la première année de couverture, après la mise en place de conditions environnementales propices à leur croissance, ce qui contribue à stabiliser complètement les dunes de sable si elles sont protégées du pâturage, de leur enlèvement et de la destruction de la couche d'argile recouvrant ces dunes. Par les animaux, il se dégradera à nouveau, nécessitant la nécessité d'empêcher les animaux d'entrer à des fins de pâturage.

- **Techniques de traitement chimique**

C'est la pulvérisation sur la surface des dunes de sable en mouvement avec des stabilisants d'huile ou chimiques qui peut être utilisée pour stabiliser le sable rampant tel que le kimco, l'alcool polyvinylique et le polyacrylate, une matière gommeuse utilisée pour stabiliser les dunes de sable ou pour utiliser des dérivés du pétrole permettant de maintenir la surface. Ou la réaction chimique à la surface du sable et la formation de croûte et resteront pendant une période suffisante jusqu'à la croissance des arbres plantés et la formation d'une couverture végétale appropriée dans le cas d'une alimentation en eau, et le produit chimique devrait être choisi de manière à ne pas limiter la croissance des plantes en raison de Toxiques et visions empêcher la pénétration de l'eau, mais cette méthode a des dommages environnementaux à :

- Élever la température de la région grâce aux gains de ces dérivés du rayonnement solaire élevé.
- Le coût élevé de certains matériaux, notamment importés, ne donne pas une belle forme à la région.
- Son efficacité en traitement est de courte durée car la plupart des produits chimiques ne perdent leur composition que pour trois ans seulement.

La pulvérisation s'effectue à l'aide d'un équipement spécial à cette fin, généralement utilisé en agriculture pour pulvériser les semences et parfois en mélange avec des semences adaptées aux conditions climatiques prévalant dans la région avec l'huile de l'utilisateur.

Les dégâts causés par l'application de cette méthode à l'environnement nous font éviter l'application dans la région d'Ain Saleh, d'autant plus que les dunes de sable doivent être installées à proximité des oasis et des villes peuplées.

### ➤ **Projets de protection contre l'intrusion de sable dans la ville d'Ain Saleh**

Les autorités locales de la municipalité d'Ain Saleh et les associations environnementales spécialisées sont toujours désireuses de mettre en place des projets visant principalement à protéger l'environnement et à protéger la ville de l'empiètement du sable par le biais de divers projets.

L'intervention de la population locale, en particulier des paysans, est un élément essentiel et spécifique du processus de lutte contre l'ensablement. Si la population n'a pas contribué dès le début aux programmes de lutte, elle joue désormais un rôle important dans cette section, après la sensibilisation organisée par les départements concernés, l'administration publique et certaines associations de la société civile.

#### - **Le premier projet de feuilles de palmier**

Les habitants de la région connaissent depuis l'Antiquité les méthodes traditionnelles de lutte contre l'ensablement dans un processus organisé, appelé traditionnellement "Twiza", qui consiste à stabiliser et à guider le sable en plantant des feuilles de palmier. "Afrag" signifie brise-vent et ajoute un autre étage au pare-chocs. Le processus est répété jusqu'à ce que le vent ne puisse plus transporter les atomes du sable vers Afrag, la technologie prédominante dans la région et capable de résister à l'empiètement du sable localement, en raison de la disponibilité de matières premières telles que la feuille de palmier, qui est entretenue et réparée tous les trois ans. Par les organismes de bienfaisance et la menthe La région, parce que son état se dégrade en raison de conditions météorologiques extrêmes.

#### - **Le deuxième projet de barrage vert**

À cause des énormes pertes causées par l'ensablement, la dégradation des zones agricoles ou plutôt l'augmentation des zones sablonneuses et la densité des dunes, les autorités locales représentées par le Département des forêts de l'État ont assumé la responsabilité du contrôle. Dans la production de brise-vent à crevettes, sous forme de rectangles ou de courroies de longueurs différentes, ils sont commandés par des entrepreneurs spéciaux, sous la supervision du Département des forêts. Tels que le contrôle biologique de la plantation d'arbres adaptés au climat de la région.

• **Projet A:** projet sectoriel dans le cadre des projets globaux de développement rural du ministère de l'Agriculture et du Développement rural mis en place en 2011 dans le but d'établir une ceinture verte de 28 hectares dans la municipalité d'Ain Saleh et dans le cadre du programme sectoriel du gouvernorat de la foresterie de Tamanrasset. L'ancienne ceinture verte a été achevée au nord-est de la ville d'Ain Saleh, dans le but de:

- Protéger la ville du sable rampant.
- Protéger les biens agricoles de la désertification.
- Créer des positions.
- Valoriser les ressources forestières en récupérant des terres improductives.
- Développer le revenu de l'agriculteur.

Toutefois, ce projet n'a pas permis de faire la lumière en raison du manque de suivi et du manque de pare-chocs pour protéger le site, ainsi que du fait que les agriculteurs ont été négligés en raison du manque d'eau d'arrosage résultant de la coupure de courant et de l'arrêt de la pompe à eau, qui seront remplacés par le deuxième projet en 2013.

• **Projet B:** Ce projet est une réhabilitation de l'ancien projet. La zone choisie pour l'achèvement du projet est identique à celle de l'ancien barrage au nord-est de la ville d'Ain Saleh, car elle représente un emplacement stratégique pour protéger la ville, les aéroports et les zones industrielles, ainsi que l'existence d'un puits profond et la superficie du site est de 25 hectares et peut être augmentée à l'avenir. Le projet a été mené à bien par le gouvernorat forestier de Tamanrasset et le district forestier d'Ain Saleh.

Cependant, le projet a été gelé par l'État (politique d'austérité) dans sa deuxième partie de l'acquisition et de la plantation d'arbres Tamarix.



**Fig.4.26. Planter des Tamaris.**

Source: Département des forêts de la municipalité d'In Saleh, 2018.

### - Le troisième projet de lutte contre l'ensablement

Il s'agit de mobiliser les ressources matérielles et humaines dans le processus de ramassage du sable des zones résidentielles, des infrastructures et des installations de services et d'enseignement, par les départements de travaux municipaux et publics.

**Tab.4.1. Projets de lutte contre l'intrusion de sable dans la municipalité d'In Saleh pour l'année 2016.**

Titre de l'opération	Ratio financier	Ratio physique
Enlèvement de sable (Sahla oriental)	100%	100%
Enlèvement de sable (l'entrée est et sud de la ville)	100%	100%
Enlèvement de sable (Houari Boumediene + Ezzaouia + centre-ville)	100%	100%

Source: Département technique de la municipalité d'Ain Saleh, 2018.



**Fig.4.27. Le processus d'élimination du sable de la route par les autorités municipales à l'aide de machines.**

- Initiative individuelle pour la ceinture verte

Zone investie: Al Baraka 2 Ain Saleh.

Le nom de l'agriculteur: Marguido Mohamed.

Date de plantation: fin 2010.

La zone d'amener des arbustes: pépinière forestière Ain Saleh.

Type d'arbustes: arbres Tamarix, machinerie.



**Fig.4.28. Tamarix arbres.**

### **4.11. Conclusion**

Sur la base de cette étude, nous pouvons dire que la zone d'étude contient des facteurs naturels et humains qui contribuent au processus de sable rampant, ce qui représente un réel danger pour les terres agricoles, l'urbanisation, les infrastructures et les installations hydrauliques.

Par conséquent, il est nécessaire de mettre à jour les plans d'utilisation des sols de la ville d'Ain Saleh afin de déterminer les meilleurs emplacements pour l'extension de la ville loin des dunes, d'autant plus que la zone résidentielle de la ville est confinée à ses orientations d'expansion nord-ouest et sud-ouest du fait de la présence de l'oasis de Baraka.

**Conclusion**

**Générale**

### Conclusion générale

En raison des principaux facteurs causant le phénomène d’empiétement du sable dans la région d’Ain Saleh à partir de son emplacement dans une vaste zone désertique avec un sol léger, en plus du manque de précipitations et de la détérioration de la végétation et des utilisations déloyales par les humains et les animaux, ainsi que de la prévalence du vent du nord-est Et la présence de sources de sable à proximité (Erg Sidi Moussa) et l’impact négatif de ce phénomène sur la vie humaine, la flore et la faune, les établissements d’enseignement, les services et les infrastructures, et nous devons: Nous accordons une grande attention à ce phénomène par l'observation de la nature, la recherche et l'investigation continue sur l'apparence et l'origine, ainsi que l'utilisation de méthodes et de solutions appropriées pour réduire l'empiétement du sable et l'installation à temps, comme nous l'avons montré dans le rapport de base de la recherche à l'étude, que le futur projet d'établissement d'une ceinture verte est très fiable. Installation permanente de dunes de sable et atténuer ainsi le phénomène à l'avenir.

Dans la zone étudiée, l'oasis d'Al-Baraka constitue un véritable obstacle, ce qui provoque l'accumulation de sable devant lui et la traction du temps sur la ville d'Ain Saleh.

La présente recherche vise à utiliser les techniques SIG pour identifier les zones touchées ou susceptibles d’être affectées par l’empiétement du sable, ce qui leur confère une autre dimension scientifique, afin de prendre des photos répétées du même endroit pendant de longues périodes. Comme indiqué dans les études précédentes, la forme des dunes de sable et la direction du mouvement ainsi que les ondulations de sable et la couverture de sable et ceci par répartition géographique, comme on peut le voir largement et clairement au nord-est de la ville d'Ain Saleh et au nord du coin, ce qui provient d'une source proche de la race de Sidi Moussa, située au nord, et d'une source lointaine. Dans la région de la grande race orientale du nord-est, et donc exposée au risque de veuvage, il faut en tenir compte pour trouver des solutions et des moyens de contrôler la lutte contre ce phénomène et prendre les mesures nécessaires.

**Références**

**Bibliographiques**

### Références bibliographiques

- [1] APAT Annuario dei dati ambientali 2002, conclusions du ministre de l'Environnement et du Territoire, Premier ministre, Territorio.
- [2] Amrani Aya, La réduction de la vulnérabilité des monuments historiques aux inondations (Cas d'étude L'Amphithéâtre romain de Tébessa), Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master en Architecture, Université Larbi Tébessi – Tébessa, 2015/2016.
- [3] Conseil général de l'Environnement et du Développement durable, Vulnérabilité des réseaux d'infrastructures aux risques naturels, Volume 1, n° 008414-01, Septembre 2013.
- [4] Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 97-H-451, Diagnostic de vulnérabilité d'une ville. Méthodologie d'analyse de la vulnérabilité sociale et fonctionnelle du système urbain, R 40382, Décembre 1998.
- [5] Charles Jacques Berte 'Etude FAO : forêts. « Lutte contre l'ensablement l'exemple de la Mauritanie », Ministère de l'environnement et du développement durable, Mauritanie, 2010.
- [6] Kerbani Bekacem, 'Etude de l'ensablement par image satellite Landsat à In Salah, Mémoire de Master, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, juin 2013.
- [7] SALMI Safia, La construction en pise entre performances énergétiques et perception des usagers (cas du village kabyle Ait Itchir), Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri – TIZI OUZOU, 26/02/2014.
- [8] Redha Annab, Estimation du risque d'érosion dans le bassin de Timgad et de son impact sur le barrage de Keday Madawar, mémoire en vue de l'obtention d'un diplôme de magister, université Elhadj Lakhdar, batna 2006.
- [9] Boutadara Youcef, Etude hydrogéologique des systèmes de captage traditionnels dans les Oasis Sahariennes 'Cas des Foggaras de la région du Touat (Adrar)', mémoire en vue de l'obtention d'un diplôme de magister, université des Sciences et de la technologie d'Oran, 2009.

- [10] Cours de système d'information géographique, Université LARBI BEN M'HIDI –OEB Algérie, Année universitaire : 2017-2018.
- [11] [www.ruedeslumieres.morkitu.org](http://www.ruedeslumieres.morkitu.org)
- [12] <https://www.calameo.com/read/00089986979f77f991180>.
- [13] Hajji Hicham, Gestion des risques naturels : Une approche fondée sur l'intégration des données, Pour l'obtention de grade de Docteur en Informatique, l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2005.
- [14] SITAYEB AICHA et HAMADENE IMANE, Cartographie et analyse spatiale de la dynamique de l'occupation du sol dans la commune de Mohammadia, Mémoire de fin d'étude, Université Abdelhamid Ibn Badis- Mostaganem, 13 /06 / 2018.
- [15] [https://www.isula.corsica/infogeo/Qu-est-ce-que-le-SIG\\_a24.html](https://www.isula.corsica/infogeo/Qu-est-ce-que-le-SIG_a24.html).
- [16] <http://www.arcorama.fr/2015/01/sig-3d-35-conception-de-donnees-3d.html>.
- [17] Darani Abdennacer, Étudier le risque de veuvage à l'aide d'une technique de télédétection mémoire de master, université de costantine3, 2017.