

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
Université Abou Bekr Belkaïd -Tlemcen –

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers



Département Des Ressources Forestières



Laboratoire N 31,

Gestion Conservatoire des Eaux, Sols et Forêts et développement durable des montagnes de la région de Tlemcen, Algérie, BP.198

Thèse en vue de l'obtention du diplôme de doctorat en Foresterie

**ETUDE DU PHENOMENE D'ENSABLEMENT DANS LA REGION  
DE GOURARA, WILAYA D'ADRAR, EN UTILISANT L'OUTIL  
TELEDETECTION ET SIG**

Présentée par : OULD SAFI Mohammed

Soutenue publiquement le 23/12/2018 devant le jury composé de :

Nom et prénom	Qualité	Grade	Etablissement
M. BENMAHIOUL Benamar	Président	Prof.	Université de Tlemcen
M. HADDOUCHE Driss	Directeur de la thèse	Prof.	Université de Tlemcen
M. MAHDADI Zoheir	Examineur	Prof.	Université Sidi Bel Abbès
M. BENCHERIF Kada	Examineur	MCA	Université de Tlemcen
M. BACHIR-BOUIADJRA Salah Eddine	Examineur	MCA	Université Sidi Bel Abbès
M. MAHI Habib	Invité	Maitre de recherche « B »	C.T. Spatiales/ Arzew Oran

Année universitaire : 2018/2019

## REMERCIEMENTS

A l'issue de cette thèse, je remercie avant tout **DIEU** tout puissant de m'avoir donné la volonté, le courage et la patience pour arriver à mon but.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à monsieur **HADDOUCHE Driss**, professeur à l'université de Tlemcen, Faculté SNV-STU de m'avoir accepté de diriger ce travail. Je tiens à lui témoigner ma profonde gratitude et reconnaissance pour ses orientations scientifiques, ses précieux conseils, sa patience, sa disponibilité et surtout ses encouragements continus.

Je remercie monsieur **BENMAHIOUL Benamar**, professeur à l'université de Tlemcen de m'avoir accepté de présider le jury de cette thèse.

Je voudrais également remercier messieurs **MAHDADI Zoheir** professeur à l'université de Sidi Bel Abbès, **BENCHRIF Kada** maître de conférence « A » à l'université de Tlemcen et **BACHIR-BOUIADJRA Salah Eddine** maître de conférence « A » à l'université de Sidi Bel Abbès, qui ont accepté d'examiner ce travail.

Je remercie également monsieur **MAHI Habib**, maître de recherche « B » au Centre des Techniques Spatiales d'Arzew (Oran), pour sa présence honorable comme invité dans ce jury.

J'adresse mes vifs remerciements à monsieur le Directeur Générale de L'INRF pour ses encouragements lors de la réalisation du présent travail.

Qu'il me soit permis d'exprimer, à l'issue de cette thèse, mes remerciement avec une profonde gratitude à tous les membres de ma famille, à mes collègues d'études, à mes collègues de l'INRF et de l'INRA d'Adrar, à mes collègues de la conservation des forêts de la wilaya d'Adrar et au service des routes de la direction des travaux publics d'Adrar .

## **DEDICACES**

Je dédie cette thèse de doctorat :

A mes parents,

Toutes les expressions du monde ne pourraient exprimer le grand amour que je vous porte, ni la grande reconnaissance que je vous témoigne pour tous les sacrifices que vous m'avez fait pour mon instruction et mon éducation.

Que Dieu tout puissant vous protège et vous procure bonheur et bonne santé.

A mes frères et à mes sœurs qui m'ont donné le soutien afin d'achever ce travail.

Pour moi sont le vrai exemple de soutien et de générosité.

A ma femme et ma petite fille « Farreh-Hafsa » qui ont partagé avec moi les circonstances difficiles pour mener ce travail.

Qu'il me soit permis aujourd'hui de leur assurer mon profond amour et ma grande reconnaissance.

A tous mes enseignants.

A tous mes amis.

# SOMMAIRE

## LISTE DES FIGURES

## LISTE DES TABLEAUX

## LISTE DES PHOTOS

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : CONCEPTIONS GENERALE SUR L'ENSABLEMENT .....</b>	<b>4</b>
<b>1 INTRODUCTION .....</b>	<b>4</b>
<b>2 LES FACTEURS CAUSALS DE L'EROSION EOLIENNE .....</b>	<b>4</b>
2.1 FACTEURS D'ORDRE CLIMATIQUE .....	5
2.2 FACTEURS D'ORDRE EDAPHIQUE .....	5
2.3 CAUSES D'ORDRE ANTHROPIQUE.....	5
<b>3 LE CONCEPT DU SYSTEME GLOBAL D'ACTION EOLIENNE.....</b>	<b>5</b>
3.1 L'AIRE SOURCE.....	5
3.2 L'AIRE DE TRANSPORT .....	6
3.3 L'AIRE D'ACCUMULATION .....	6
<b>4 L'ORIGINE DE SABLE.....</b>	<b>6</b>
<b>5 MECANISME DE L'EROSION EOLIENNE .....</b>	<b>6</b>
5.1 LA REPTATION EN SURFACE .....	7
5.2 LA SALTATION.....	7
5.3 LA SUSPENSION.....	7
<b>6 LES PRINCIPAUX TYPES D'ACCUMULATION DUNAIRE .....</b>	<b>8</b>
6.1 LE VOILE EOLIEN.....	8
6.2 LA NEBKA .....	8
6.3 LA BARKHANE.....	9
6.4 LES DUNES LINEAIRES « SIF » .....	9
6.5 DUNE EN PYRAMIDE.....	10
6.6 DUNE PARABOLIQUE.....	10
<b>7 ESTIMATION DE L'EROSION EOLIENNE .....</b>	<b>11</b>
7.1 METHODE D'ESTIMATION DIRECTE .....	11
7.2 METHODE D'ESTIMATION INDIRECTE .....	11
<b>8 LA LUTTE CONTRE L'ENSABLEMENT.....</b>	<b>12</b>
8.1 LA PALISSADE PROPREMENT DITE .....	13
8.2 LE QUADRILLAGE .....	14
8.3 LA TABIA.....	14
8.4 LE MULCH OU ECRAN PROTECTEUR .....	14

8.5	LA METHODE AERODYNAMIQUE .....	15
8.6	LES TECHNIQUES BIOLOGIQUES .....	16
8.6.1	<i>Le brise-vent</i> .....	16
8.6.2	<i>Les ceintures vertes</i> .....	17
8.6.3	<i>Plantation généralisée</i> .....	17
<b>CHAPITRE II : PRESENTATIONS DE LA REGION D'ETUDE .....</b>		<b>18</b>
<b>1</b>	<b>SITUATION GEOGRAPHIQUE .....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>SITUATION ADMINISTRATIVE .....</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>LA POPULATION .....</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>L'ACTIVITE ECONOMIQUE .....</b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>LA GEOLOGIE .....</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>L'HYDROGEOLOGIE .....</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>LA GEOMORPHOLOGIE .....</b>	<b>24</b>
<b>8</b>	<b>LE SOL .....</b>	<b>25</b>
<b>9</b>	<b>LA FLORE .....</b>	<b>26</b>
<b>10</b>	<b>LA FAUNE .....</b>	<b>27</b>
<b>11</b>	<b>LE CLIMAT .....</b>	<b>28</b>
11.1	LES PRECIPITATIONS .....	28
11.2	LES TEMPERATURES .....	31
11.3	L'HUMIDITE ATMOSPHERIQUE .....	31
11.4	L'INSOLATION .....	32
11.5	REGIME DES VENTS .....	33
11.6	SYNTHESE CLIMATIQUE .....	36
11.6.1	<i>Diagramme Ombrothermique</i> .....	36
11.6.2	<i>Indice d'aridité de Demartonne</i> .....	37
11.6.3	<i>Quotient pluviométrique d'Emberger</i> .....	38
<b>12</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>40</b>
<b>CHAPITRE III : LES TECHNIQUES DE LUTTE CONTRE L'ENSABLEMENT DANS LA REGION DE GOURARA .....</b>		<b>41</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>41</b>
<b>2</b>	<b>LA PALISSADE EN PALME SECHE .....</b>	<b>42</b>
<b>3</b>	<b>LA TABIA .....</b>	<b>43</b>
<b>4</b>	<b>LA MURETTE .....</b>	<b>44</b>
<b>5</b>	<b>LES BANDES VERTES .....</b>	<b>45</b>
5.1	ETUDE DENDROMETRIQUE .....	46
5.2	ETUDE FLORISTIQUE .....	47

5.3	INDICE DE STABILISATION DE SABLE .....	47
5.4	MATERIELS UTILISES .....	50
5.5	RESULTATS ET DISCUSSION .....	52
5.5.1	<i>Structure de bandes vertes</i> .....	52
5.5.1.1	Répartition des arbres par classes de diamètre .....	52
5.5.1.2	Répartition des arbres par classes d'hauteur .....	53
5.5.1.3	Corrélation [Diamètre /hauteur] .....	55
5.5.2	<i>Cortège floristique des bandes vertes</i> .....	55
5.5.2.1	Classification numériques des relevés .....	56
5.5.2.2	Analyse multidimensionnelle [ACP] .....	56
5.5.3	<i>Stabilisation de sable des bandes vertes</i> .....	59
<b>6</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>64</b>
<b>CHAPITRE IV : IMPACT SOCIO-ECONOMIQUE DE L'ENSABLEMENT SUR LA REGION DE GOURARA .....</b>		
<b>66</b>		
<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>66</b>
<b>2</b>	<b>APPROCHES METHODOLOGIQUES.....</b>	<b>66</b>
2.1	TRAITEMENT DES DONNEES ET CARTOGRAPHIE .....	67
<b>3</b>	<b>RESULTATS ET DISCUSSIONS .....</b>	<b>69</b>
3.1	LES CAUSES D'ENSABLEMENT.....	69
3.1.1	<i>Le vent de grande vitesse</i> .....	69
3.1.2	<i>Facteur géomorphologique</i> .....	70
3.1.3	<i>Arrachage de la végétation spontanée</i> .....	72
3.1.4	<i>Ramassage du gravier</i> .....	76
3.1.5	<i>Nature du sol</i> .....	77
3.2	L'IMPACT SOCIO-ECONOMIQUE DE L'ENSABLEMENT SUR LA REGION DE GOURARA .....	77
3.3	LES TERRAINS AGRICOLES ENSABLES .....	77
3.3.1	<i>Les routes ensablées et mise en valeur</i> .....	79
	Protection et mise en valeur intégrée de la route transsaharienne Tinerkouk El-Bayadh .....	81
3.3.2	<i>L'ensablement des habitats</i> .....	86
3.3.3	<i>L'exode rural</i> .....	86
3.4	LA BASE DE DONNEES SIG D'ENSABLEMENT .....	87
<b>4</b>	<b>CONCLUSION : .....</b>	<b>88</b>
<b>CHAPITRE V : IMPACT ECOLOGIQUE DE L'ENSABLEMENT: CAS DE LA ZONE HUMIDE OULED SAÏD .....</b>		
<b>90</b>		
<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>90</b>
<b>2</b>	<b>GENERALITE SUR LES ZONES HUMIDES.....</b>	<b>91</b>
2.1	DEFINITION DE LA ZONE HUMIDE.....	91
2.2	L'IMPORTANCE DES ZONES HUMIDES .....	91

2.3	LA CONVENTION RAMSAR SUR LES ZONES HUMIDES.....	91
<b>3</b>	<b>LES ZONES HUMIDES ALGERIENNES .....</b>	<b>93</b>
<b>4</b>	<b>LA ZONE HUMIDE OULED SAÏD.....</b>	<b>94</b>
4.1	LA PRESENTATION DE LA ZONE HUMIDE OULED SAÏD .....	94
4.2	IMPORTANCE DE LA ZONE HUMIDE OULED SAÏD.....	97
4.2.1	<i>L'importance écologique.....</i>	<i>97</i>
4.2.2	<i>L'importance économique .....</i>	<i>97</i>
4.2.3	<i>Classification Ramsar de la zone humide Ouled Saïd .....</i>	<i>98</i>
<b>5</b>	<b>MATERIELS ET METHODES .....</b>	<b>98</b>
5.1	L'ACQUISITION DES IMAGES SATELLITAIRES.....	98
5.2	PRETRAITEMENT D'AMELIORATION DE L'IMAGE .....	98
5.3	TRAITEMENTS SPECIFIQUES .....	99
5.4	INDICES DE VEGETATIONS.....	99
5.4.1	<i>L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI).....</i>	<i>99</i>
5.4.2	<i>L'indice de stresse en humidité (MSI) .....</i>	<i>100</i>
<b>6</b>	<b>RESULTATS ET DISCUSSION .....</b>	<b>100</b>
6.1	CHANGEMENT DE L'ASPECT PAYSAGER DE LA ZONE HUMIDE OULED SAÏD .....	100
6.2	DYNAMIQUE DE LA VEGETATION .....	105
6.2.1	<i>Résultat de l'NDVI .....</i>	<i>105</i>
6.2.2	<i>Résultat de l'MSI .....</i>	<i>108</i>
<b>7</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>111</b>
	<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>112</b>
	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>116</b>
	<b>ANNEXES</b>	

## RESUME

Dans la région de Gourara (wilaya d'Adrar, Algérie), l'ensablement est un réel défi contre toutes les formes d'activités socio-économiques. Notre travail consiste à étudier ce phénomène pour connaître les causes, les conséquences et proposer des solutions adéquates pour certains cas. L'étude climatique a montré que le climat de la région de Gourara est de type hyper-aride, avec des grandes vitesses du vent engendrant le phénomène de l'érosion éolienne ainsi l'ensablement.

Les techniques de lutte contre ce fléau constatées dans la région d'étude sont des procédés mécaniques ancestraux, à savoir : les palissades, les murettes et les tabias. Toutefois, depuis 2007 la région a connu l'installation des bandes vertes comme nouvelle technique biologique de lutte. L'étude dendrométrique a dévoilé que ces bandes vertes ayant une structure de jeune futaie équienne. Leur cortège floristique est composé de 18 espèces appartenant aux différentes familles.

Le nouvel indice de stabilisation de sable (I.S.S) a permis d'évaluer le rôle joué par les bandes vertes dans la lutte contre l'ensablement. L'application de cet indice en 2015 et en 2018 a montré une augmentation de stabilisation de sable dans les trois bandes vertes.

L'impact socio-économique a été évalué à travers une enquête réalisée sur terrain dans cinq communes, à savoir : Aougrout ; Timimoun ; Ksar kaddour ; Ouled Saïd et Tinerkouk. Plusieurs dégâts ont été constatés sous l'action d'ensablement, notamment la perte de terrains productifs, l'ensablement des habitats, l'ensablement des routes et l'exode rural. Les données récoltées de cette étude font l'objet d'une base de données SIG, utile aux gestionnaires confrontés à ce problème.

L'impact écologique de l'ensablement sur la zone humide « Ouled Saïd » a été évalué par l'utilisation des données de Télédétection issues des images de satellite Landsat. L'étude diachronique du changement de l'aspect paysager de la zone humide Ouled Saïd entre 1995 et 2017 a montré que les classes dunes de sable, urbain et de terrain agricoles ensablés ont augmentés durant cette période. Par contre, la végétation en bonne santé a connu une régression. Cette dernière est confirmée par l'NDVI et l'MSI, indices appliqués pour les mêmes dates.

**Mots clés** : Ensablement ; Bandes vertes, Télédétection ; SIG ; Gourara ; Adrar.



## **ABSTRACT**

### **Study of the sand encroachment phenomenon in the region of Gourara (w. Adrar) using remote sensing and GIS**

In the region of Gourara (wilaya of Adrar, Algeria), the sand encroachment is a challenge against all forms of socio-economic activities. Our work consists in studying this phenomenon to know the causes, the consequences and to propose the adequate solutions for something cases. The climate study has showed that the climate of the Gourara region is hyper-arid, with high wind speeds generating the phenomenon of wind erosion and sand encroachment.

The techniques of fight against this problem found in the study area are ancestral mechanical processes namely, fences, wall clay and tabias. However, since 2007 the region has experienced the installation of green bands as a new biological control technique. The dendrometric study revealed that these green bands have an even-aged forest structure. Their floristic procession is composed of 18 species belonging to different families.

The new sand stabilization index (S.S.I) has assessed the role played by green bands in the fight against sand encroachment. The application of this index in 2015 and in 2018 showed an increase in sand stabilization in the three green bands.

The socio-economic impact was assessed through a field survey conducted in five communes (Aougrou, Timimoun, Ksar Kaddour, Ouled Saïd and Tinerkouk). Several damages have been reported through sand encroachment, including the loss of productive land, silting of houses, sanding of roads and rural exodus. The data collected from this study is the subject of a GIS database useful to the managers concerned by this problem.

The ecological impact of sand encroachment on the Ouled Saïd wetland was evaluated using remote sensing data from Landsat satellite imagery. The diachronic study of the change in the landscape aspect of this wetland between 1995 and 2017 shows that classes of sand dunes, urbanization and sandy farmland have increased in this period. On the other hand, the vegetation in good health knew a regression. This last result is confirmed by the NDVI and the MSI applied for the same dates.

**Key words:** sand encroachment; green bands; remote sensing; GIS; Gourara; Adrar.

## ملخص

### دراسة ظاهرة الترمل في منطقة قورارة (ولاية أدرار) باستعمال الاستشعار عن بعد و

#### نظم المعلومات الجغرافية

في منطقة قورارة (ولاية أدرار بالجزائر)، يعتبر الترمل تحديًا حقيقيًا لجميع أشكال الأنشطة الاجتماعية والاقتصادية. نهدف من خلال هذه الدراسة لمعرفة أسباب ونتائج هذه الظاهرة واقتراح الحلول المناسبة لبعض الحالات المعينة. أوضحت دراسة المناخ أن منطقة قورارة تتميز بمناخ شديد الجفاف، بالإضافة إلى رياح ذات سرعة عالية تسبب ظاهرة الترمل.

إن تقنيات مكافحة الترمل التي تم إحصائها من خلال هذه الدراسة تتمثل أساسًا في طرق تقليدية مثل مصدات الجريد الجاف، الجدران الطينية والساتر الترابي. لكن منذ عام 2007 شهدت المنطقة غرس العديد من الأحزمة الخضراء كأسلوب جديد لمحاربة ظاهرة الترمل. إن دراسة قياس الأشجار كشفت أن بنية هذه الأحزمة الخضراء هي غابة فتية ذات فئات قطرية صغيرة. أثبتت الدراسة النباتية أن النباتات المكونة لهذه الأحزمة الخضراء تتألف من 18 نوع.

إن معامل تثبيت الرمل الجديد (I.S.S) سمح بتقييم الدور الذي تلعبه الأحزمة الخضراء في مكافحة الترمل. أظهر تطبيق هذا المعامل في عامي 2015 و 2018 زيادة في تثبيت الرمل في الأحزمة الخضراء الثلاثة المعنية بالدراسة.

تم تقييم الأثر الاجتماعي والاقتصادي لظاهرة الترمل من خلال استبيان ميداني أجري في خمس بلديات وهي أوقروت، تميمون، قصر قدور، أولاد سعيد وتينركوك. كشفت نتائج الاستبيان أن الترمل تسبب في إتلاف الأراضي الزراعية المنتجة، وترمل المنازل والطرق بالإضافة إلى النزوح الريفي. كل المعطيات المحصلة من الاستبيان تم تنظيمها في قاعدة معطيات باستعمال نظم المعلومات الجغرافية لكي يتم استغلالها من طرف المسيرين الذين لهم علاقة بالترمل.

إن دراسة الأثر البيئي للترمل على المنطقة الرطبة أولاد سعيد تم باستخدام معطيات تقنية الاستشعار عن بعد من خلال صور القمر الصناعي لاندسات بين عامي 1995 و 2017. أوضحت هذه الدراسة أن المنطقة الرطبة أولاد سعيد ذات الأهمية الدولية هي في حالة تدهور مستمر من خلال ازدياد البنيات والمساحات المغطاة بالكثبان الرملية وتدهور الغطاء النباتي. هذا الأخير تم تأكيده من خلال الخرائط المنجزة باستعمال كل من معامل NDVI و MSI.

**الكلمات المفتاحية:** الترمل، الاستشعار عن بعد، الأحزمة الخضراء، نظم المعلومات الجغرافية؛ قورارة، أدرار.

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1:</b> Les modes de transport éolien .....	7
<b>Figure 2:</b> voile éolien .....	8
<b>Figure 3 :</b> Nebkas .....	9
<b>Figure 4 :</b> Barkhanes .....	9
<b>Figure 5 :</b> Sif .....	10
<b>Figure 6 :</b> Dune en pyramide.....	10
<b>Figure 7 :</b> Dune parabolique .....	11
<b>Figure 8 :</b> Palissade, source FAO .....	13
<b>Figure 9 :</b> Conception et disposition des Drâas en chicane.....	16
<b>Figure 10:</b> Situation géographique de la région d'étude .....	18
<b>Figure 11:</b> Situation administrative de la région d'étude .....	19
<b>Figure 12:</b> Carte de la répartition de population de la région du Gourara en 2008.....	21
<b>Figure 13:</b> Carte de l'augmentation démographique de la région du Gourara pendant la période [1977 – 2008] .....	21
<b>Figure 14:</b> Extrait de la carte géologique du bassin mésozoïque du Sahara algéro-tunisien 1/200000 (Busson, 1967 in Draoui, 2013).....	23
<b>Figure 15:</b> Extension du système aquifère du Sahara septentrional. Source OSS, (2002) in OSS (2008).....	24
<b>Figure 16:</b> Répartition des précipitations moyennes mensuelles pour la période [1926-1960] et la période [1984-2014].....	30
<b>Figure 17:</b> Courbe de variation de l'humidité relative moyenne mensuelle de l'air dans la région de Gourara pour la période [2000-2014] .....	32
<b>Figure 18 :</b> La rose des vents de la région de Gourara pour la période [2005-2014].....	34
<b>Figure 19:</b> Histogramme de la répartition fréquentielle des vents calmes et efficaces de la région de Gourara selon les seize directions [2005-2014].....	35
<b>Figure 20:</b> Diagramme Ombrothermique de la région de Gourara [2000-2014].....	36
<b>Figure 21:</b> Climagramme du quotient pluviométrique d'Emberger.....	39
<b>Figure 22 :</b> image google earth : Bandes vertes A, B et C .....	46
<b>Figure 23:</b> Organigramme méthodologique illustrant les différentes étapes suivies .....	48
<b>Figure 24:</b> Distribution des arbres par classes de diamètre en cm à 1.30 m du sol dans les bandes vertes.....	52
<b>Figure 25:</b> Distribution des arbres par classe d'hauteur en m dans les trois bandes vertes ....	53

<b>Figure 26 :</b> Présentation de la distribution des observations individuelles des relevés par l'ACP .....	57
<b>Figure 27:</b> A). Classification ascendante hiérarchique (CAH) ; B) profil des groupes .....	58
<b>Figure 28 :</b> Présentation de la distribution des observations individuelles des relevés par l'ACP .....	63
<b>Figure 29:</b> Situation de la région de Gourara sur la carte d'Algérie des vitesses du vent (période: 2001-2010), réalisée par Boudia, (2013).....	69
<b>Figure 30:</b> Situation géographique d'Aougrout, Tinerkouk et Ksar Kaddour par rapport au plateau de Tadmaït à l'Erg occidental.....	71
<b>Figure 31:</b> Situation géographique de parcours de Belghazi .....	73
<b>Figure 32:</b> Image satellitaire Sentinel2 montrant le parcours de Belghazi sous Erdas imagine .....	74
<b>Figure 33:</b> Carte de recouvrement de la végétation du parcours de Belghazi après application de l'indice MSAVI2.....	75
<b>Figure 34:</b> Répartition des terrains agricoles ensablés par communes en hectare selon l'enquête réalisée .....	78
<b>Figure 35:</b> Carte de l'état d'ensablement des routes de la région de Gourara .....	80
<b>Figure 36:</b> Carte la route transsaharienne Tinerkouk El-Bayadh.....	82
<b>Figure 37:</b> Exemple de la base de données SIG de localités concernées par l'enquête d'ensablement. ....	88
<b>Figure 38:</b> Situation géographique de la zone humide Ouled Saïd par rapport à la région de Gourara .....	95
<b>Figure 39:</b> Carte d'occupation du sol de la zone humide Ouled Saïd 199 .....	103
<b>Figure 40:</b> Carte d'occupation du sol de la zone humide Ouled Saïd 2017 .....	104
<b>Figure 41 :</b> Visualisation de différentes classes de l'NDVI thématiqué de la zone humide Ouled Saïd 1995.....	106
<b>Figure 42:</b> Visualisation de différentes classes de l'NDVI thématiqué de la zone humide Ouled Saïd 2017 .....	107
<b>Figure 43:</b> Visualisation de différentes classes de l'MSI thématiqué de la zone humide Ouled Saïd pour l'année 1995 .....	109
<b>Figure 44:</b> visualisation de différentes classes de l'MSI thématiqué de la zone humide Ouled Saïd pour l'année 2017 .....	1100

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1:</b> Répartition de la population de la région de Gourara par commune pour les années 1977 et 2008.....	20
<b>Tableau 2:</b> Caractéristiques géographiques de la station météorologique de Timimoun .....	28
<b>Tableau 3:</b> Précipitations moyennes mensuelles et annuelles de la station de Timimoun [1984-2014].....	29
<b>Tableau 4 :</b> Précipitations moyennes mensuelles et annuelles de la station de Timimoun [1984-2014] et [1926-1960].....	30
<b>Tableau 5:</b> Températures moyennes mensuelles et annuelles (en °C) enregistrées dans la région de Timimoun durant la période [2000-2014].....	31
<b>Tableau 6:</b> Humidité relative moyenne mensuelle de l'air enregistrée dans la région de Gourara entre [2000-2014] .....	32
<b>Tableau 7:</b> Les moyennes mensuelles d'insolation en heures de la région de Gourara pendant la période [2000 – 2014] .....	33
<b>Tableau 8:</b> Moyennes mensuelles des vitesses du vent (m/s) enregistrées dans la région de Gourara entre [2000-2014] .....	33
<b>Tableau 9:</b> La répartition fréquentielle des vents par 16 directions en pourcentage pendant la période [2005 – 2014]. Source : ONM station de Timimoun .....	34
<b>Tableau 10 :</b> La répartition fréquentielle des vents calmes et efficaces de la région de Gourara selon les seize directions [2005-2014].....	35
<b>Tableau 11:</b> Les types de climat selon l'indice d'aridité de Demartonne.....	37
<b>Tableau 12:</b> Les classes de diamètre et d'hauteur des mesures dendrométriques .....	47
<b>Tableau 13 :</b> les différentes valeurs de K.....	49
<b>Tableau 14:</b> Classes d'ensablement R et taux de recouvrement. ....	50
<b>Tableau 15:</b> Statut de stabilisation de sable des bandes vertes .....	50
<b>Tableau 16:</b> Espèces introduites par l'INRF dans la wilaya d'Adrar .....	54
<b>Tableau 17:</b> Les espèces végétales constituant le cortège floristique des trois bandes vertes.	56
<b>Tableau 18:</b> Résultats des relevés d'ensablement et indice de stabilisation de sable (I.S.S.).	60
<b>Tableau 19:</b> Caractéristiques de l'image Sentinel2 utilisée .....	67
<b>Tableau 20:</b> Caractéristiques des images Landsat8 utilisées .....	68
<b>Tableau 21 :</b> Etat d'ensablement des routes de la région de Gourara.....	81

<b>Tableau 22:</b> L'exode rural par individus dans les communes concernées par l'enquête.....	87
<b>Tableau 23:</b> Les critères d'identification des zones humides d'importance internationale selon la convention Ramsar (Ramsar, 2013) .....	92
<b>Tableau 24:</b> Typologie des zones humides Algériennes.....	94
<b>Tableau 25:</b> Résultats du changement de l'aspect paysager de la zone humide Ouled Saïd [1995-2017].....	101
<b>Tableau 26 :</b> Les différentes classes de l'NDVI thématiqué de la zone humide Ouled Saïd pour les années 1995 et 2017 .....	105
<b>Tableau 27:</b> les différentes classes de l'MSI thématiqué de la zone humide Ouled Saïd pour les années 1995 et 2017.....	108

## LISTE DES PHOTOS

<b>Photo 1:</b> Parcours de Belghazi commune de Deldoul .....	27
<b>Photo 2:</b> Palissade de protection contre l'ensablement de la route et de la ligne d'électrification Tganet - KsarKadour .....	43
<b>Photo 3:</b> (a) et (b) Palissades installées pour la protection des terrains agricoles contre l'ensablement (Tinerkouk ).....	43
<b>Photo 4:</b> La Tabia, nouveau périmètre de mis en valeur Aougroul.....	44
<b>Photo 5:</b> Murette de lutte contre l'ensablement, construite par des briques de mélange d'argile et terre végétale (commune de Tinerkouk) .....	45
<b>Photo 6 :</b> Avant et après stabilisation de sable par la bande verte (Bande verte du village Ouadjda, commune de Timimoun). .....	49
<b>Photo 7:</b> Mesure de la hauteur d'un arbre (> 8m) de Tamarix en utilisant le Blum-Leiss bande verte d'Ouadjda.....	51
<b>Photo 8:</b> Mesure de diamètre d'un arbre de Tamarix en utilisant le compas forestier, bande verte (C).....	51
<b>Photo 9:</b> Bande verte droite de l'aéroport .....	62
<b>Photo 10:</b> Bande verte gauche de l'aéroport .....	62
<b>Photo 11:</b> Bande verte de Ouadjda .....	62
<b>Photo 12:</b> Camionnette de marque « Hilux » chargée en <i>Aristida pungens</i> Ksar Kadour. ....	72
<b>Photo 13:</b> Terrain agricole totalement ensablé « Tinerkouk » .....	78
<b>Photo 14:</b> Ensablement de la routetranssaharienne Tinerkouk El-Bayadh .....	83
<b>Photo 15:</b> Protection contre l'ensablement de la route du désert de Taklamakan en Chine ...	84
<b>Photo 16:</b> Habitat menacé par l'ensablement village de « Tganet », « Ksar Kaddour ».....	86
<b>Photo 17:</b> Système traditionnel d'irrigation la « Foggara », zone humide Ouled Saïd.....	96
<b>Photo 18:</b> Menace d'ensablement des oasis de la zone humide Ouled Saïd .....	102

## LISTE DES ABREVIATIONS

**ACP** : Analyse de composante principale

**C°** : Degré Celsius

**CRSTRA** : Centre de Recherche Scientifique et Techniques sur les Régions Aride

**DGF**: Direction générale des fortes

**FAO**: Food and Agriculture Organization

**GPS** : Global position system

**ha**: Hectare

**I.S.S**: Indice de stabilisation de sable

**INRAA** : Institut National de Recherche Agronomique d'Algérie

**INRF** : Institut National de Recherche Forestière

**KM** : Kilomètre

**m**: Mètre

**MSAVI2**: Second Modified Soil Adjusted Vegetation Index

**MSI**: Moisture Stress Index

**NDVI**: Normalized Difference Vegetation Index

**OLI** : Operational Land Imager

**OMM** : Organisation mondiale de météorologie

**ONM** : Office national de météorologie

**OSS** : Observatoire du Sahara et du sahel

**SIG**: Système d'information géographique

**TM** : Thematic Mapper

**UNESCO** : Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture

**USGS** : United States Geological Survey



# **INTRODUCTION GENERALE**

Les aléas naturels du globe terrestre sont multiples et divers tels que : les inondations, les feux de forêts, sécheresse, désertification, érosion hydrique...etc. Les changements climatiques et les actions anthropiques sont à l'origine de ces phénomènes. Cependant, la désertification est considérée parmi les risques qui touchent une bonne partie du globe terrestres, notamment les régions qui se trouvent sous un climat aride et semi-aride. A l'occasion du troisième sommet de la terre de Rio de Janeiro de juin 1992, la convention des nations unies sur la lutte contre la désertification a défini la désertification comme " la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines". Selon cette définition, il apparait que la désertification est la résultante de la conjugaison de deux actions d'ordre naturel et humain. D'après certains auteurs **Requier-Desjardins et Caron (2005), Mainguet et Dumay (2006), Haddouche et al. (2008), Haddouche (2009) et FAO (2010, 2016)**, la désertification est un phénomène qui s'exprime par la dégradation des ressources hydriques, des terres et du couvert végétal.

En Algérie, la désertification touche la majorité du pays. L'ampleur de ce phénomène est de plus en plus en augmentation notamment dans les régions steppiques et sahariennes, vu les conditions climatiques qui y règnent d'une part et les actions anthropiques d'autre part. De ce fait, près de 20 millions d'hectares en Algérie sont menacés par l'érosion éolienne (**Bensaid, 2006**). Selon **Haddouche (2009)**, près de 7,2 millions d'habitants vivant dans les régions arides et hyper arides en Algérie sont menacés par la pauvreté, sous l'action du phénomène de la désertisation. Dans le sud algérien, l'aspect de la désertification le plus préoccupant et le plus dangereux est sans doute le phénomène de l'ensablement.

Dans la région de Gourara de la wilaya d'Adrar (Sud-Ouest Algérien), à l'instar des facteurs naturels (climat, sol et couvert végétal), le facteur anthropique par l'utilisation irrationnelle des ressources biologiques (arrachage de végétation spontanée telles que *l'Aristida pungens*, *Cornulaca monacontha*, *Acacia rddiana*, *Retama retam*, *Caligonoum azel*,...etc.) a aggravé le phénomène d'ensablement. De ce fait, un bouleversement du milieu s'est produit. Ainsi, l'impact socio-économique est fatal. La perte de terrains agricoles productifs, l'ensablement des habitats et des routes ont favorisé inévitablement l'exode rural. Malgré la sévérité du phénomène en question dans cette région, les travaux de recherche portant sur

cette problématique sont plus ou moins insuffisants. Parmi ces travaux, on peut citer les suivants : **Bisson (1957)** ; **Callot (1987)** et **Mestoul et al (2015)**.

L'objectif principal du présent travail est d'étudier le phénomène d'ensablement dans la région de Gourara afin de connaître les causes, d'estimer les conséquences, d'étudier la performance de lutte appliquée et de proposer des solutions adéquates pour certains cas dans un contexte de développement durable de la région. Comme objectifs spécifiques, nous citons les plus pertinents dans notre travail de recherche, à savoir :

- La prise de connaissance des facteurs causals du phénomène d'ensablement à travers des enquêtes de terrain ;
- L'utilisation de la nouvelle technologie en exploitant les données numériques satellitaires (images) de plusieurs capteurs différents et l'application des systèmes d'information géographiques (SIG) ;
- La proposition de solutions adéquates de lutte contre l'ensablement pour la route transsaharienne, traversant en partie la région d'étude, et pour la zone humide d'Ouled Saïd.

Pour en faire, une démarche a été suivie en se basant sur les éléments suivants :

- L'étude de certains facteurs caractérisant la région de Gourara et ayant un effet direct sur l'ensablement, tels que : le climat, la population et sa dynamique, le sol, la flore, la géomorphologie...etc. ;
- La description exhaustive des méthodes de lutte ancestrales (la palissade, les murettes et la Tabia) et étude détaillée de la nouvelle technique biologique, en l'occurrence l'utilisation des bandes vertes ;
- L'étude des conséquences d'ensablement, traduite par une base de données « SIG », utile aux gestionnaires confrontés au problème en question ;
- Afin d'étudier le phénomène d'ensablement et son évolution dans le temps et dans l'espace, une cartographie thématique pluridisciplinaire, en utilisant la télédétection, a été adoptée.

Le présent travail est composé de cinq chapitres :

**Le premier chapitre** est consacré aux conceptions générales sur l'ensablement. A travers ce chapitre, des notions générales sur l'ensablement ont été développées, telles que la définition de l'ensablement, les causes, les conséquences et les méthodes de lutte contre ce fléau à

l'échelle internationale et nationale.

**Le deuxième chapitre** porte sur la présentation de la région d'étude de Gourara. Dans ce chapitre, plusieurs points ont été abordés, à savoir : l'étude du climat, notamment le paramètre du vent (agent causal de l'ensablement), la géologie, l'hydrogéologie, le sol, la faune, la flore, la population et son évolution dans le temps.

**Le troisième chapitre** porte sur les différentes techniques de lutte contre l'ensablement, constatées dans la région de Gourara (procédés ancestraux et la lutte biologique par la plantation des bandes vertes qui sont introduites dans la région depuis 2007). De ce fait, une étude innovante a été réservée à ces bandes vertes pour connaître leur efficacité, leurs caractéristiques sylvicoles, dendrométriques et leur cortège floristique existant.

**Le quatrième chapitre** est consacré à l'impact socio-économique du problème d'ensablement dans la région d'étude. A cet effet, des enquêtes sur terrain ont été réalisées durant les cinq dernières années [2014-2018] afin d'estimer les dégâts occasionnés par l'ensablement (les terrains agricoles, les habitats, les routes et l'exode rurale).

**Le cinquième chapitre** est réservé à l'étude de l'impact écologique de l'ensablement sur la zone humide Ouled Saïd. Pour ce faire, un suivi diachronique de la dynamique spatio-temporel de cette zone humide a été abordé en utilisant l'outil Télédétection.

**CHAPITRE I**  
**CONCEPTIONS GENERALES**  
**SUR L'ENSABLEMENT**

## **CHAPITRE I : CONCEPTIONS GENERALES SUR L'ENSABLEMENT**

### **1 Introduction**

Les terres arides couvrent 41% de la surface du globe terrestre et accueillent 2 milliards de personnes. Elles sont confrontées à des défis considérables, notamment ceux posés par la désertification, la perte de biodiversité, la pauvreté, l'insécurité alimentaire et les changements climatiques (FAO, 2016). En se référant à la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (Paris, 1994), ce phénomène désigne « la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et sub-humides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines ».

L'érosion éolienne est l'aspect de la désertification le plus remarquable. Car, est un des phénomènes les plus dégradants de l'environnement, notamment par l'appauvrissement textural et minéral des sols et par le déplacement par le vent de volumes élevés de sable (Mainguet et Dumay, 2006). Plusieurs régions du globe terrestre sont touchées par le problème d'ensablement, conséquence majeure du phénomène d'érosion éolienne, résultant de la sévérité du climat associée à la présence des sols et roches érodables. En plus, l'action humaine est le facteur anthropique aggravant le problème d'ensablement.

Dans le contexte du phénomène de désertification, le mot d'ensablement prend un sens plus ou moins large. Il désigne tout envahissement d'objets ou de surfaces par des grains de sable, aboutissant ainsi à l'accumulation de sable et à la formation des dunes, que ce soient continentales ou bien maritimes. (FOA, 1988). L'érosion éolienne est un phénomène dont le sable est arraché de la zone d'alimentation et transporté par le vent, pour qu'en fin ce sable se dépose dans une région d'accumulation. Qu'il s'agisse des dunes maritimes ou des dunes continentales, ces dunes par leurs mouvements envahissent les cultures, les oasis, ensablent les routes et voies ferrés (Greco, 1966).

### **2 Les facteurs causals de l'érosion éolienne**

Les Facteurs causals de l'érosion éolienne sont multiples et divers. A cet effet, on trouve des facteurs d'ordre climatique, édaphique, géomorphologique et anthropique. Toutefois, le facteur climatique et plus précisément le vent est considéré toujours comme l'agent principal du phénomène de l'érosion éolienne.

## **2.1 Facteurs d'ordre climatique**

Selon plusieurs auteurs, **Greco (1966)**, **El-Ghannouchi, (2007)**, **FAO (2010)** et **Makhlouf et al (2013)**, dans les régions arides et semi-arides, le facteur du climat est à l'origine de l'érosion éolienne. Ces régions, se caractérisent par un couvert végétal faible ou bien carrément absent, une faible précipitation et des vents de grandes vitesses. Le vent détermine la manière de déplacement des particules du sol, par sa direction, vitesse et durée. Un vent ne peut arracher les grains de sable que lorsque sa vitesse, mesurée avec un anémomètre à 30 cm au-dessus du sol, atteint ou dépasse les 6 m par seconde (**FAO, 2010**). Selon **Mainguet et Dumay (2006)**, la mise en mouvement des particules de sable par le vent exige une vitesse du vent supérieur à 4 m/s.

## **2.2 Facteurs d'ordre édaphique**

Selon **FAO (2010)**, l'érosion éolienne se produit si le sol est caractérisé par une texture grossière, riche en sable fin, pauvre en argile et en matière organique. Ces facteurs édaphiques rendent l'érodabilité du sol élevée et permettent la mise en mouvement facile de ses grains par la moindre vitesse du vent efficace.

## **2.3 Causes d'ordre anthropique**

**Tidjani et al, (2009)** rapportent que le facteur anthropique est la cause principale de l'érosion éolienne ainsi que de l'ensablement. Alors que l'intensité de l'érosion éolienne dont les flux sont importants, s'observe dans les zones de pratique du pâturage et d'arrachage de végétation.

## **3 Le concept du système global d'action éolienne**

Pour comprendre mieux le phénomène de l'érosion éolienne ainsi que l'ensablement dans une zone d'étude donnée, on fait appel à la notion du système global d'action éolienne. Il s'agit en fait de l'itinéraire suivi par les apports éoliens, en tenant compte de l'aire source (zone de déflation où le vent prend en charge les particules), de l'aire de transport dans laquelle se fait le transfert des apports éoliens et de l'aire d'accumulation qui peut elle-même devenir une aire source (**Mainguet et Dumay, 1992**).

### **3.1 L'aire source**

Elle représente la zone source de sable, dans laquelle le vent s'en charge. Les sources de sable

sont diverses et peuvent être d'origine maritime (sable provient des dunes littorales), fluviale (sable provient des oueds dont l'érosion hydrique génère un dépôt solide composé de sable) et lithologique par la corrosion des roches, surtout celles qui présentent une érodabilité élevée telles que les roches gréseuses.

### **3.2 L'aire de transport**

Il s'agit de cheminement sur lequel se fait la migration de sable. Sur le long de ce cheminement existent des couloirs de passage du vent chargé en sable qui s'organisent selon le tracé topographique de la région traversée. Il peut y avoir au niveau de ces couloirs un obstacle topographique (berge, talus, butte...etc.) ou bien une rugosité élevée qui fait que le vent dépose sa charge en créant une zone d'accumulation locale.

### **3.3 L'aire d'accumulation**

Elle représente l'étape finale du système global d'action éolienne. Dans cette zone le vent rencontre un obstacle qui annule sa force, de ce fait il dépose le sable qu'il a apporté de la zone de déflation ou bien zone d'alimentation. Par conséquent, des dunes et des cordons dunaires se forment et pourrait y avoir la formation de l'Erg, une vaste superficie occupée par les dunes de sables de différents types.

## **4 L'origine de sable**

La connaissance des sources de sable est très importante pour les études relatives à l'ensablement, notamment dans les cas de préparation des plans d'aménagement de lutte contre le problème en question. Le sable peut être allochtone d'origine lointaine, ou bien autochtone d'origine locale. Il provient de la décomposition des roches (grès) de montagne, de la désagrégation de sols alluvionnaires suite à la disparition du couvert végétal, ou des limons charriés par les oueds en raison d'une érosion hydrique de leurs bassins versants (FAO, 2010).

## **5 Mécanisme de l'érosion éolienne**

D'après l'OMM (2005), les particules de sable en érosion éolienne se déplacent selon trois modes de transport en fonction de leur taille, leur forme et leur densité. Ces trois modes de transport sont la saltation, la reptation et la suspension.



### 5.1 La reptation en surface

Selon la même source, ce mode de transport concerne des particules du sol ayant un diamètre supérieur à 0,5 mm. Sous l'action du vent, ces particules glissent ou bien roulent en surface par reptation (fig.1). Elles sont trop grosses pour qu'elles soient éjectées du sol. Les particules en reptation se déplacent sur des distances variant de quelques centimètres à quelques mètres (OMM, 2005).

### 5.2 La saltation

Les grains de sable se déplacent en saltation par un mouvement successif de sauts (fig.1). La taille des particules de sable dans ce mode de transport est comprise entre 0,01 mm et 0,5 mm. Dans ce mode de transport les grains en mouvement leur hauteur ne dépasse pas généralement les 30 cm. La distance parcourue par les particules dans un saut est comprise entre 0,5 et 1 m (OMM, 2005).

### 5.3 La suspension

Ce mode de transport (fig.1) concerne des particules de poussière d'un diamètre inférieur à 0,1 mm, et des particules d'argile de moins de 0,002 mm. Ces fines particules, sont transportées sous forme de nuage par l'action de vent et atteignant jusqu'à 6000 m d'altitude sur une distance qui peut aller jusqu'à 6000 kilomètres (OMM, 2005).

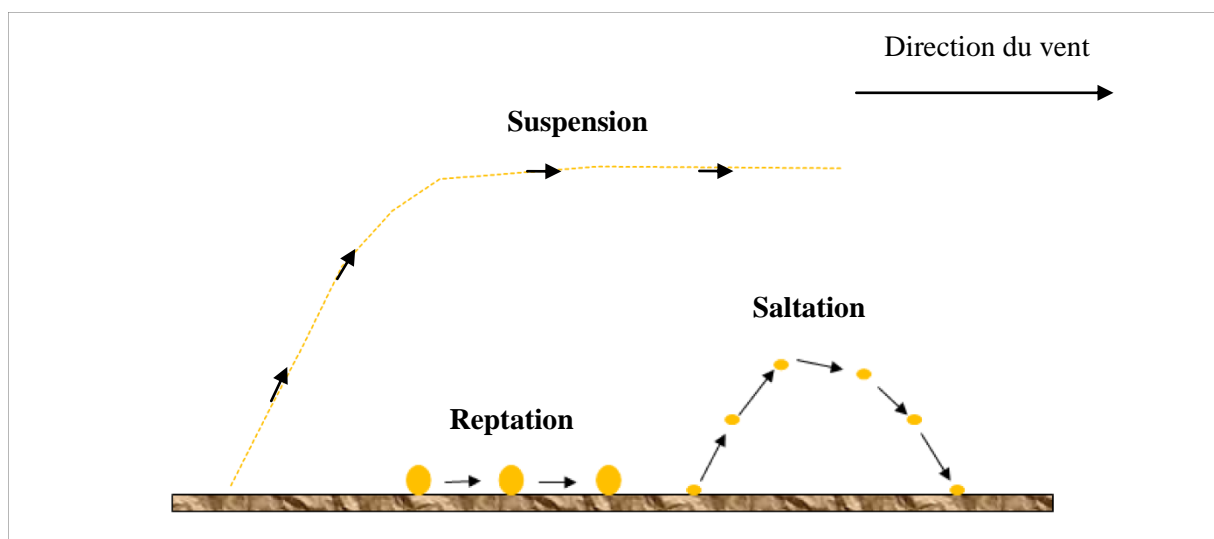


Figure 1: Les modes de transport éolien

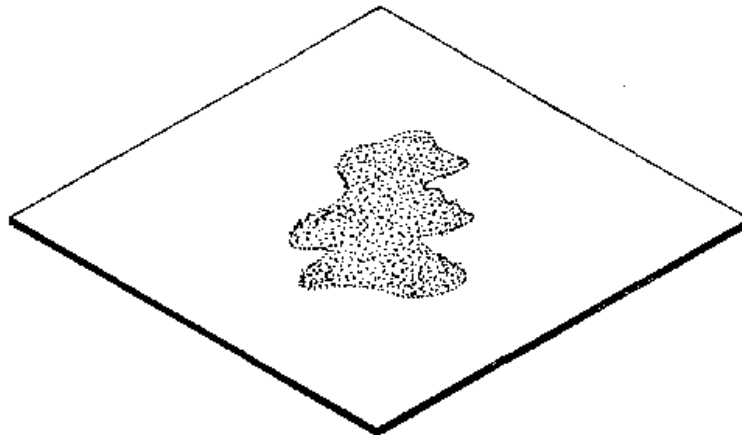
## **6 Les principaux types des accumulations dunaires**

Le vent perd sa capacité d'entraînement des particules sableuses, lorsque sa force devient faible. De ce fait, ces grains se déposent sur le sol (FAO, 2010). Plusieurs facteurs interviennent pour déterminer la forme des accumulations sableuses, qui est très complexe, en raison de la structure du courant éolien, de la nature de la surface du sol, de la topographie, de la végétation et de la dimension des grains de sable (FAO, 1988).

D'après la la FAO (1988), Mainguet et Dumay (2006), Yaping (2008) et FAO (2010), plusieurs accumulations sableuses ont été définies telles que :

### **6.1 Le voile éolien**

C'est un saupoudrage diffus de grains de sable à la surface du sol (fig.2). Ce type d'accumulation éolienne est à l'origine de l'ensablement superficiel présent un peu partout dans les pays. Le voile éolien apparait et prend de l'extension suite à l'arrachage de la végétation spontanée, aux feux de forêts et au surpâturage.



**Figure 2: voile éolien (FAO,1988)**

### **6.2 La Nebka**

C'est une micro-dune qui se forme au pied d'un obstacle (plante, roche, objet métallique...etc.) sur la trajectoire du vent chargé en sable. Cette forme dunaire peut atteindre 2 m d'uteurs et de 3 à 4 m de longueur. Une nebka présente une pente douce sous le vent et une forte pente au vent (fig.3).

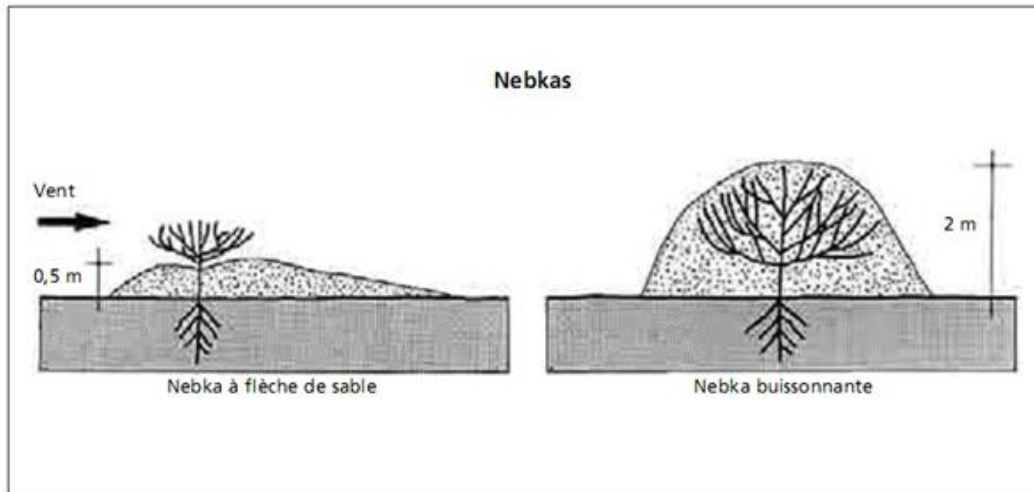


Figure 3 : Nebkas (FAO 1988)

### 6.3 La barkhane

C'est une accumulation sableuse en forme de croissant à convexité au vent (fig.4). Sa formation passe par plusieurs stades: bouclier sableux, bouclier barkhanique, dièdre barkhanique. La barkhane est très mobile, sa vitesse de déplacement peut atteindre plusieurs dizaines de mètres par an. Les barkhanes ne restent pas généralement isolées, ils se fusionnent en formant des massifs dunaires.

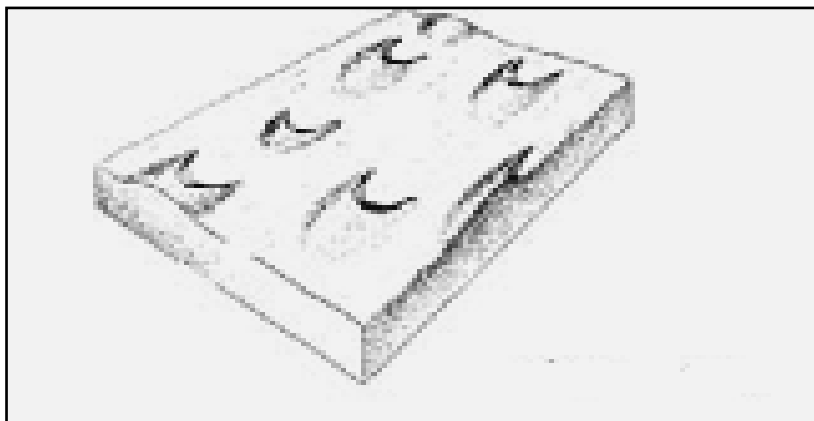


Figure 4 : Barkhanes (Yaping, 2008)

### 6.4 Les dunes linéaires « Sif »

C'est une dune de forme linéaire et étroite avec de crête au sommet (fig.5). Cette forme éolienne, se produit sous l'action soit d'un seul vent dominant ou bien de deux vents dominants de direction différentes. Les dunes linaires mesurent généralement de 2 à 3 km de long et de 30 à 150 m de large.

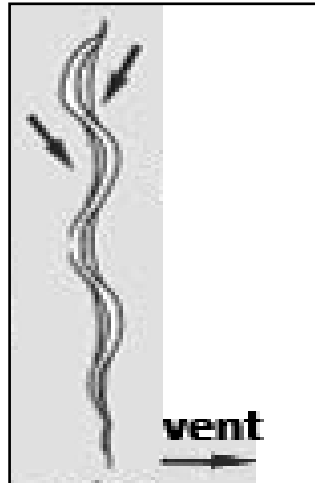


Figure 5 : Sif (Mainguet et al, 2006)

### 6.5 Dune en pyramide

C'est une forme éolienne géante résultante de l'accumulation de plusieurs hauts édifices sableux (Ghourd) (fig.6). Cette formation dunaire est caractérisée par un sommet qui se divise en plusieurs bras. La dune en pyramide peut atteindre une hauteur de 300 mètres. Elles se forment dans des conditions de l'absence du vent dominant.

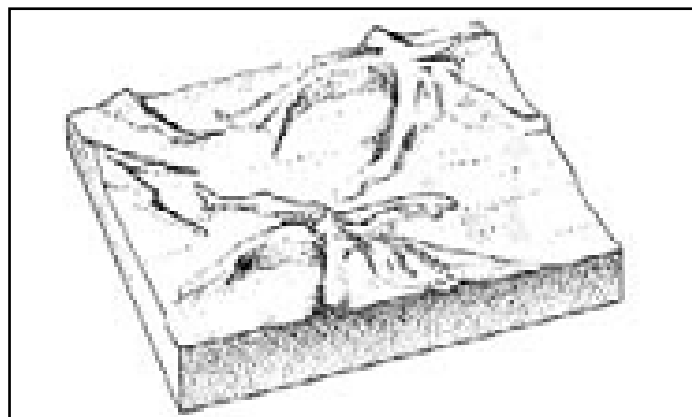


Figure 6 : Dune en pyramide (Yaping, 2008)

### 6.6 Dune parabolique

Il s'agit d'une formation dunaire qui ressemble à la barkhane, avec une seule différence que la dune parabolique dispose des ailes assez longues (fig.7). Cette formation dunaire est peu mobile, généralement ne se déplace pas une fois que s'installe.

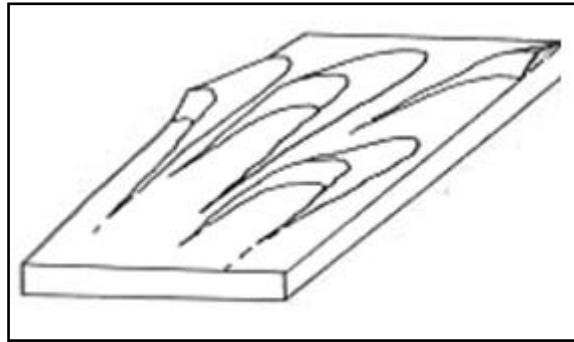


Figure 7 : Dune parabolique (Mainguet et al, 2006)

## 7 Estimation de l'érosion éolienne

L'érosion éolienne par sa complexité pose un réel problème d'estimation. L'estimation de l'érosion éolienne se fait par deux méthodes différentes, tant pour le principe que pour la manière d'application. Ces méthodes sont l'estimation directe et l'estimation indirecte.

### 7.1 Méthode d'estimation directe

Selon **Labiadh et al (2015)**, l'estimation directe de l'érosion éolienne se fait sur terrain en installant un dispositif de quantification de sable, tel que les piquets et les pièges à sable. La technique des piquets consiste à installer un nombre de piquets gradués dans la parcelle d'étude. Les piquets permettent de mesurer la hauteur ainsi que le volume de sable d'atterrissage et celui de déflation. La technique de pièges à sable, consiste à installer des pièges à différentes hauteur au-dessus du sol pour attraper le sable apporté par le vent afin de le quantifier.

### 7.2 Méthode d'estimation indirecte

L'érosion éolienne peut être estimée par l'utilisation de l'équation universelle de l'érosion éolienne (**EL-Ghannouchi, 2007**), la formule de cette équation est présentée ci-dessous :

$$E=I.R.K.T.C.A.D.B \text{ (t /ha/an)} \dots\dots\dots(1)$$

Où :

I : indice d'érodabilité fonction de la texture de la structure (facilité de désagrégation du sol)

R : couverture superficielle (végétation, résidus de récolte)

K : indice de rugosité du terrain

T : Texture

C : Indice climat, fonction du vent et de la température

A : dimension du champ dans la direction parallèle au vent

D : orientation à la direction des vents, dominants

B : protection artificielle brise-vent, chaumes

Selon **Pearce et al (2005)**, pour estimer le déplacement potentiel de sable, le model de **Fryberger** est utilisé avec l'équation suivante:

$$Q = V^2(V-V_t) t \dots\dots\dots (2)$$

Où :

Q : est le taux annuel de déplacement du sable en "unités vectorielles" ou VU ;

V : est la vitesse horizontale du vent mesurée à 10 m du sol ;

V<sub>t</sub> : est la vitesse critique de la mise en mouvement du sable à 10 m du sol;

t: est le temps pendant lequel le vent a soufflé, exprimé en pourcentage d'occurrence.

## **8 La lutte contre l'ensablement**

La lutte contre l'ensablement vise à protéger le milieu vital de l'être humain ainsi que leurs infrastructures socio-économiques. Néanmoins, le choix de telle ou telle technique doit être précédé par des études à différentes échelles en tenant compte du facteur du milieu (climat, géomorphologie, topographie, sol et végétation) et le facteur économique (disponibilité et cout de matériaux, transport, cout de réalisation...etc.).

Selon **El-Ghannouchi (2007)**, la stratégie d'une lutte efficace contre le phénomène de l'ensablement, repose essentiellement sur les éléments suivants :

- Prospection et reconnaissance généralisée du terrain ;
- Inventaire général des sites menacés et ensablés ;
- Classification des lieux d'interventions par ordre de priorité en se basant sur l'efficacité des interventions ;
- Exécution technique par approche participative associant la population pour jouir d'une large coopération.

La lutte contre le phénomène de l'ensablement se fait par des procédés mécaniques, biologiques, physico-chimiques et aérodynamiques.

### 8.1 La palissade proprement dite

En se référant à la FAO (1988), la palissade est un obstacle linéaire opposé au vent dominant pour en diminuer la vitesse et provoquer à son niveau l'accumulation de sable en mouvement. Selon l'objectif recherché, la palissade placée soit perpendiculairement par rapport à la direction du vent dominant en cas de palissade d'arrêt (stabilisation du sable apporté par le vent) ou bien soit disposée en biais en cas de palissade de diversion ou de défilement (déviation). Dans ce dernier cas, la palissade est inclinée de  $120^\circ$  à  $140^\circ$  par rapport à la direction dominante du vent. Pour qu'elle soit efficace, la palissade doit être caractérisée par :

- Une perméabilité de l'ordre de 30 à 40 % pour ralentir la vitesse du vent et permettre le dépôt du sable sans provoquer le phénomène tourbillonnaire.,
- Une hauteur de l'ordre de 1 m à 1,20 m ;
- Une profondeur de la fouille de 0,40 m et largeur de 0.30 m ;
- La distance entre la palissade et l'objet à protéger ne dépasse pas les 200 m.

La confection de la palissade se fait en utilisant différents matériaux qui sont : les palmes sèches du palmier (fig.8), les branches d'arbres, les plaques de fibro-ciment et le grillage plastique (la maille plastique).

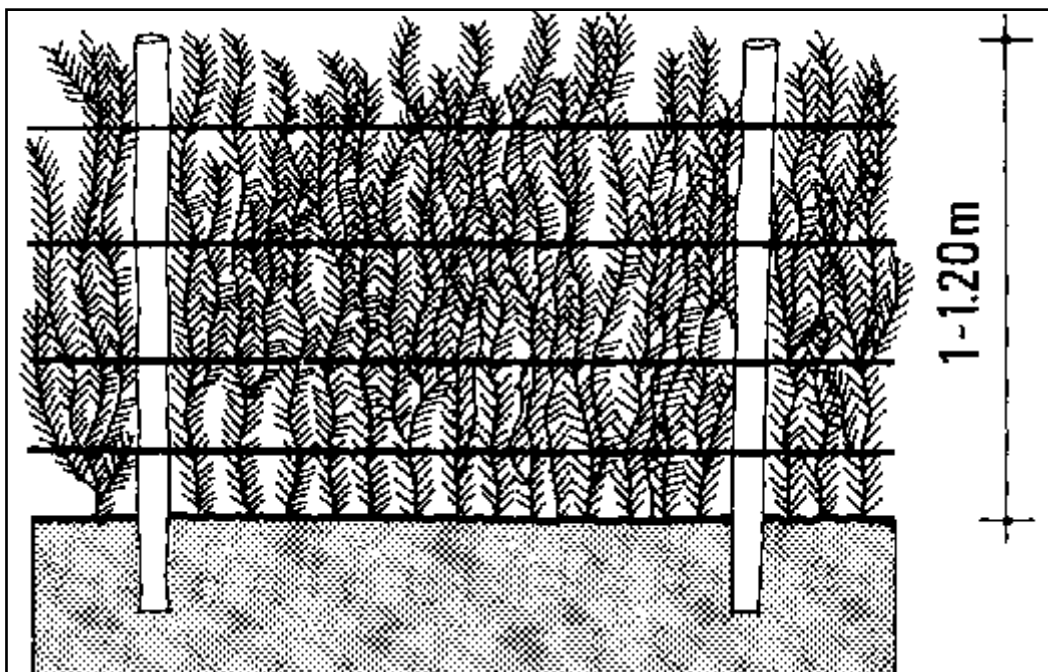


Figure 8 : Palissade, source FAO (1988)

## **8.2 Le quadrillage**

Il est très utile de signaler qu'en cas du vent de différentes directions, la lutte mécanique se réalise en appliquant la technique de quadrillage (carroyage). Il s'agit d'un réseau de lignes d'arrêt délimitant entre elles des carrés ou des losanges. La nature et la technique d'édification de ces lignes d'arrêt sont les mêmes que celles de la palissade. La distance des dimensions de quadrillages en palmes généralement utilisés en Algérie est de 6 x 6m à 12 x 12m. Les palissades peuvent être un grillage synthétique, résistant aux rayons solaires, avec des mailles de 6 x 6 millimètres ou un filet plastique. Dans la steppe Algérienne, des mailles plastiques de 4 x 4 millimètres ont été utilisées (**CRSTRA, 2015**).

## **8.3 La tabia**

La tabia est une levée de terrain (talus) qu'on confectionne, soit manuellement, soit mécaniquement. Une « tabia » prend généralement la forme d'un trapèze dont la petite base à 60 cm, la grande base à 150 cm et la hauteur à 120 cm (**Khatteli, 1996 in Madani et al, 2017**). La tabia est une solution rapide plus ou moins efficace pour se protéger contre les effets néfastes du vent, ainsi que l'ensablement. Elle est souvent installée pour protéger les nouvelles terres agricoles de mise en valeur.

## **8.4 Le mulch ou écran protecteur**

Cette technique consiste à empêcher le déplacement de sable en recouvrant le sol par un écran protecteur, naturel ou artificiel. Cette technique est utilisée pour supprimer l'effet du vent de déflation dans la zone d'alimentation, notamment sur les surfaces planes ou peu accidentées. Afin de réaliser le mulch, des dispositifs divers peuvent être mis en place tels que :

- Le paillage en utilisant des produits ligneux secs (les branches d'arbres), les résidus agricoles ...etc ;
- La couverture du sol par des matériaux synthétiques comme les films plastiques, les fibres et les grillages acryliques ;
- La pulvérisation du sol par des produits chimiques.

D'après **Mainguet et Dumay (2006)**, des amendements chimiques non phytotoxiques (dosées entre 100 et 150 kg/ha/an), de type Unosol 096, Helsel 801, Agrofix 614, Shell Sandfix, Hydromal, Agrosel, Polyacrilamide ou Petroset SP, sont pulvérisés pour fixer les sables mobiles et permettre la réinstallation de la végétation.



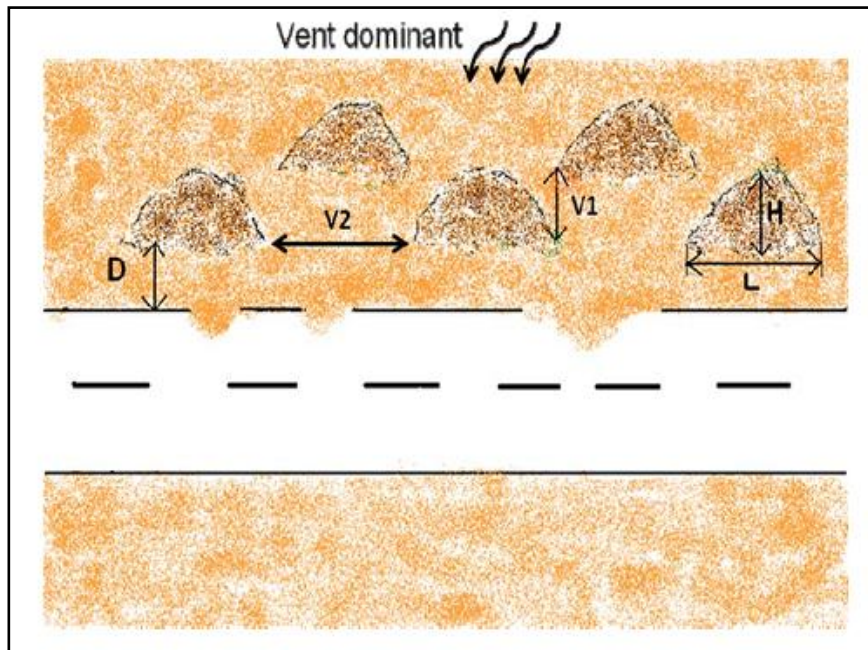
## **8.5 La méthode aérodynamique**

Selon plusieurs auteurs **FAO (1988)**, **Mainguet et Dumay (2006)**, **FAO (2010)**, **CRSTRA (2015)**, cette méthode se base sur le vent lui-même pour désensabler et pour se protéger contre l'ensablement. Pour atteindre ce dernier objectif, divers procédés et dispositifs sont utilisés tels que :

- L'orientation systématique des rues parallèles à la direction du vent dominant avec surélévation et une orientation des portes et des fenêtres à l'opposé du principal courant éolien ;
- La pose des blocs de pierres (20 à 50 centimètre de diamètre) sur les dunes pour faire en sorte que la vitesse du vent soit augmentée (création de turbulence), ce qui aboutit à la remise de sable en mouvement ainsi de le déplacer plus loin des dunes traitées ;
- La protection des routes contre l'ensablement en installant à leurs côtés des lignes de palissades espacées et en parallèle avec la direction dominante du vent. Il en résulte l'augmentation de vitesse du vent chargé en sable. De ce fait, le vent passe sur la route sans déposer sa charge éolienne ;
- L'installation des Drâas aux côtés des routes est un procédé de principe aérodynamique pour les protéger contre l'ensablement.

Selon **CRSTRA (2015)**, le Drâa est constitué par un tas de sable (fig.9) de forme oblongue stabilisé par des matériaux grossiers et/ou pierres. Ce dispositif de protection contre l'ensablement, se base essentiellement sur le vide ou l'espace laissé entre les tas de remblais « V1 » et « V2 » (Une discontinuité entre les tas de remblais) qui sont opposés au vent dominant (Dispositif en chicane). V1 variant de 3 à 4 m et V2 variant de 14 à 16 m (fig 09).

Les Drâas sont disposés à une distance (D) de 10 à 15 m de la chaussée. Sa hauteur est de l'ordre de 3 m, sa longueur (L) est variable de l'ordre de 14 à 16 m. Lorsque le vent érosif souffle, il va y avoir au niveau de chaque Drâa une zone tourbillonnaire plus desséchante que le vent normal. Ainsi le sable ne se dépose pas mais transite. Un affouillement éolien se produit à la base de chaque tas de remblais qui tend ainsi à descendre. D'autre part, entre les trois tas de remblais, il se crée un effet de « sifflet » se traduisant encore par une accélération de la vitesse du vent et de son énergie cinétique. Sous l'effet de ces deux actions, la dune soumise à ce traitement diminue progressivement de volume et finit par laisser les Drâas sur place.



**Figure 9 : Conception et disposition des Drâas en chicane**

(L) longueur du tas de remblai ; (H) hauteur du tas de remblai ; (D) distance à respecter entre le tas de remblai et la route à protéger ; (V1) l'espace de vide laissé entre le tas de remblai devant et derrière ; (V2) vide entre deux tas de remblai (**CRSTRA, 2015**).

## 8.6 Les techniques biologiques

Les techniques biologiques regroupent toutes les techniques consistant à accroître le couvert végétal par des espèces herbacées, buissonnantes, arbustives ou arborées jouant un rôle de fixateur de sables (**Mainquet et Dumay, 2006**). L'installation de ces techniques se fait après que le sable ou bien les dunes soient fixées par des procédés mécaniques. La fixation biologique des dunes, est la seule forme durable de la lutte contre l'ensablement. D'après la **FAO (2011)**, plusieurs régions du monde ont connu la lutte biologique contre l'ensablement par la plantation forestière. C'est le cas par exemple de la Chine ; l'Iran ; l'États Unis ; le Chili ; la France ; le Danemark ; le Sénégal ; la Mauritanie...etc. Selon **Benderrah et Zandouche (2007)**, en Algérie le cordon dunaire « Boussaada-Djelfa » est un exemple ancien du pays de fixation des dunes réalisé en 1982 par la plantation des espèces ligneuses. Trois principaux procédés de lutte biologique sont souvent constatés, les brise-vent, les ceintures vertes et la plantation généralisée.

### 8.6.1 Le brise-vent

Les brise-vent sont des couvertures partielles composées d'une ou plusieurs rangées d'arbres

et/ou de buissons. Ce sont des barrières qui réduisent la vitesse et la turbulence du vent dans leur voisinage, sur les faces au vent et sous le vent (**Mainquet et Dumay, 2006**). Les brise-vent sont installés généralement pour protéger les superficies agricoles. L'effet de brise-vent est complexe et ne consiste pas uniquement à diminuer la vitesse du vent, mais à modifier tous les autres facteurs climatiques au sol (évaporation, température, gradient de gaz carbonique et de vapeur d'eau, insolation). (**Greco, 1966**).

### **8.6.2 Les ceintures vertes**

C'est une formation végétale plus importante que le brise-vent. Le nombre de lignes plantés en ceinture verte, souvent sont plus de quatre lignes. L'installation des ceintures vertes se fait autour d'une infrastructure socio-économique humaine pour la protéger (agglomération, périmètre agricole, route ...etc.). La ceinture verte de Nouakchott, est un exemple fameux à l'échelle international de lutte contre l'ensablement par l'utilisation des techniques biologiques.

### **8.6.3 Plantation généralisée**

Les brises vent et les ceintures vertes s'installent autour d'une infrastructure humaine pour la protéger. Toutefois, la plantation généralisée vise à fixer les dunes sur places pour empêcher qu'elles soient déplacées par le vent. En Algérie, la fixation du cordon dunaire d'EL-Mesrane à Djelfa a été faite par la plantation des espèces ligneuses sur une superficie de 100 hectares (**Benderrah et al, 2007**).

Pour assurer la réussite ainsi la durabilité des techniques biologiques, les espèces utilisées doivent avoir les caractéristiques suivantes :

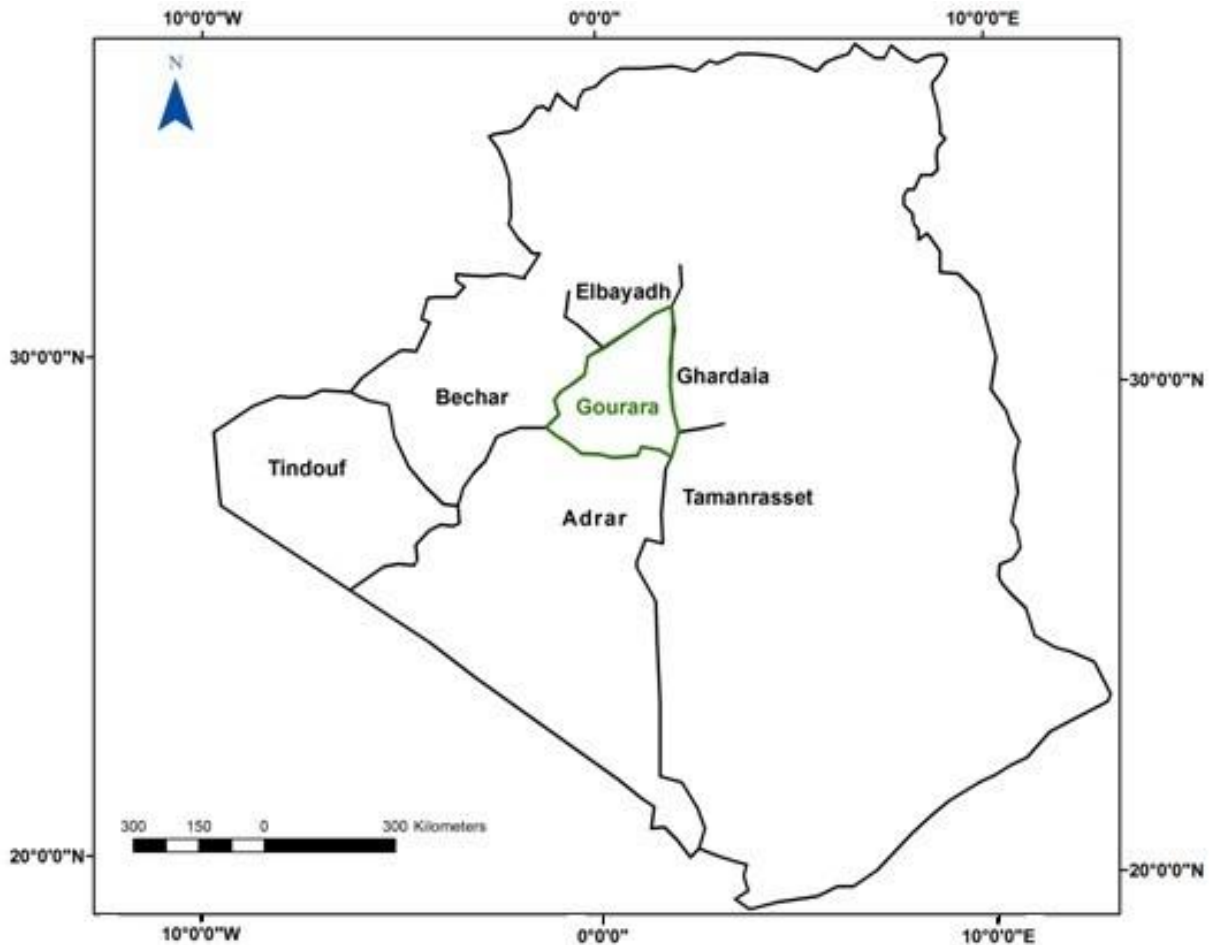
- L'adaptation aux conditions du milieu, telles que : les amplitudes thermiques élevées, l'aridité extrême, le raté de précipitation, les vents de grandes vitesses...etc.;
- Avoir un système racinaire puissant et profond pour permettre une exploitation maximum des eaux de la nappe sous-jacente ;
- Les exigences hydriques et nutritives doivent être minime, vue les conditions pédologiques dunaires pauvres et sèches ;
- Les espèces choisies doivent être faciles à multiplier ;
- Ces espèces doivent avoir une partie arienne qui résiste au vent et capable de stabiliser et fixer le sable.

**CHAPITRE II :  
PRESENTATIONS DE  
LA REGION D'ETUDE**

## CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

### 1 Situation géographique

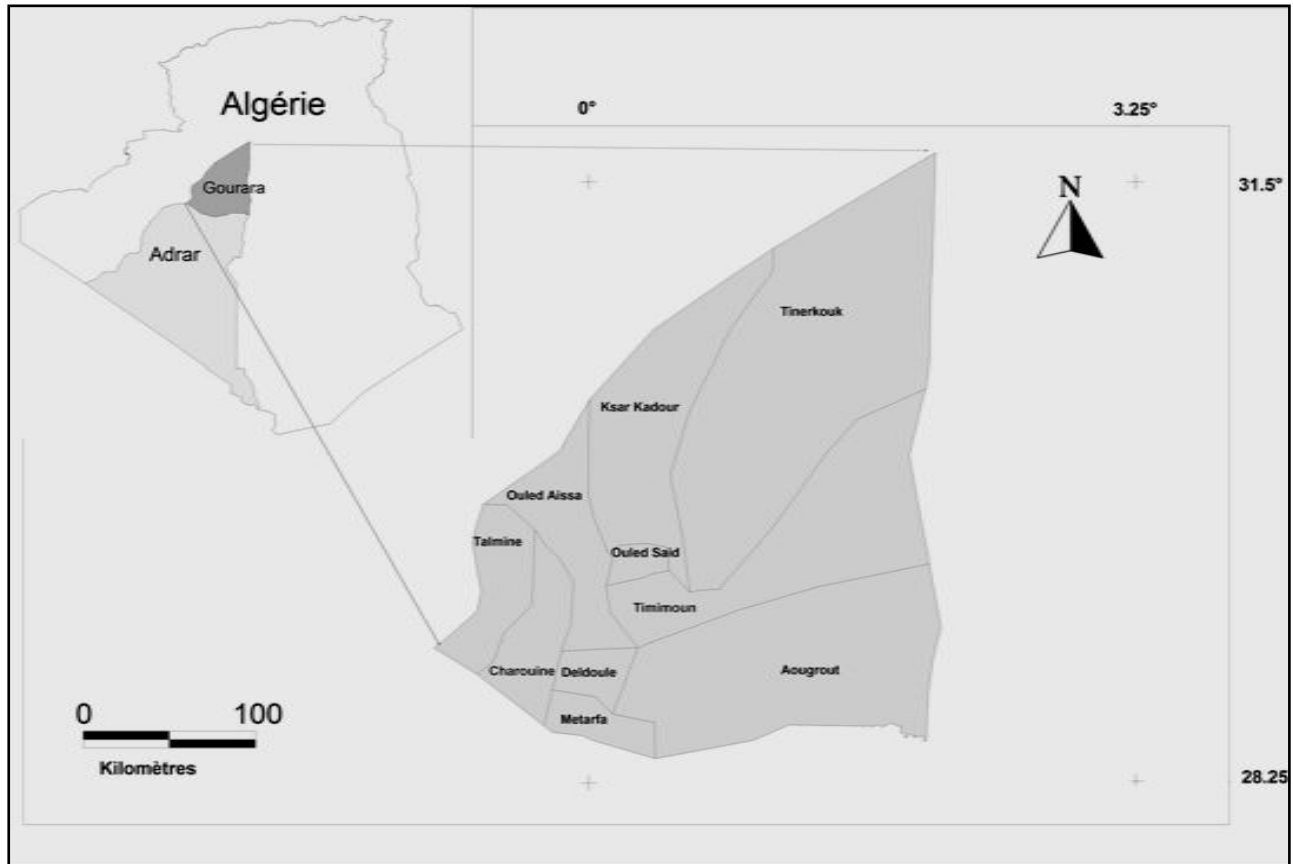
Le Gourara s'étend au centre du triangle formé par la frange méridionale de l'Erg occidental, la bordure nord-occidentale du plateau du Tadmaït et l'oued Saoura-Messaoud à l'Ouest, (**Bisson, 1957**). La région du Gourara occupe la partie nord de la wilaya d'Adrar (Sud-Ouest algérien). Elle est limitée au nord par la wilaya d'El-Bayadh, à l'Ouest par la Wilaya de Bechar, à l'Est par la wilaya de Ghardaïa et Tamanrasset. Cependant, au Sud elle est limitée par le territoire de Touat et Tidikelt de la wilaya d'Adrar (fig.10).



**Figure 10: Situation géographique de la région d'étude « le Gourara »**

## 2 Situation administrative

Issue du découpage administratif de 1974, le Gourara est composé de 10 communes à savoir : Tinerkoug, Ksar Kadour, Ouled Said, Timimoun, Ouled Aissa, Cherouin, Talmine, Aougrou, Deldoul et Metarfa. Parmi ces communes, certaines sont des Dairas, telles que Timimoun, Tinerkoug, Aougrou et Cherouine (fig.11).



**Figure 11: Situation administrative de la région d'étude « le Gourara »**

### **3 La population**

Le dernier recensement de l'habitat et de la population de 2008, a dévoilé que la région de Gourara compte une population estimée de 123201 habitants (tab.1).

**Tableau 1: Répartition de la population de la région de Gourara par commune pour les années 1977 et 2008**

<b>Commune</b>	<b>Superficie en ha</b>	<b>Nombre d'habitants en 1977</b>	<b>Nombre d'habitants en 2008</b>
Aougroust	1421298	5100	12071
Cherouin	287973	4600	11773
Deldoul	120646	4100	9021
Ouled Aissa	416970	2900	7266
Ouled Said	65740	4900	8382
Ksar Kadour	807433	1700	4816
Timimoun	977771	12400	31664
Tinerkouk	2015904	7700	16480
Talmine	294820	3600	13232
Metarfa	142290	3500	8496
Total	6550845	50500	123201

**Source :** Office National de Statistique in **Idda (2011)**.

A la vue du tableau ci-dessus (tab.1), on trouve que la région de Gourara a connu une croissance démographique flagrante pendant la période [1977 – 2008]. Le taux d'augmentation de la population était plus de 100% (fig.12 & 13). En fait, ce phénomène est le résultat de l'amélioration des conditions de vie de la région après l'indépendance. Cette amélioration s'apercevait par :

- L'installation des réseaux routiers ;
- La construction d'habitat doté d'eau potable et d'électricité ;
- L'installation des structures hospitalières modernes qui présentent des soins médicaux gratuits ;
- L'augmentation de revenu individuel des habitants.

Par conséquent, la croissance démographique de la région de Gourara implique en parallèle l'augmentation des besoins de sa population. De ce fait, un épuisement des ressources naturelles s'est produit à cause de l'utilisation irraisonnable d'une part et la sensibilité de l'écosystème saharien caractérisant la région de Gourara d'autre part.

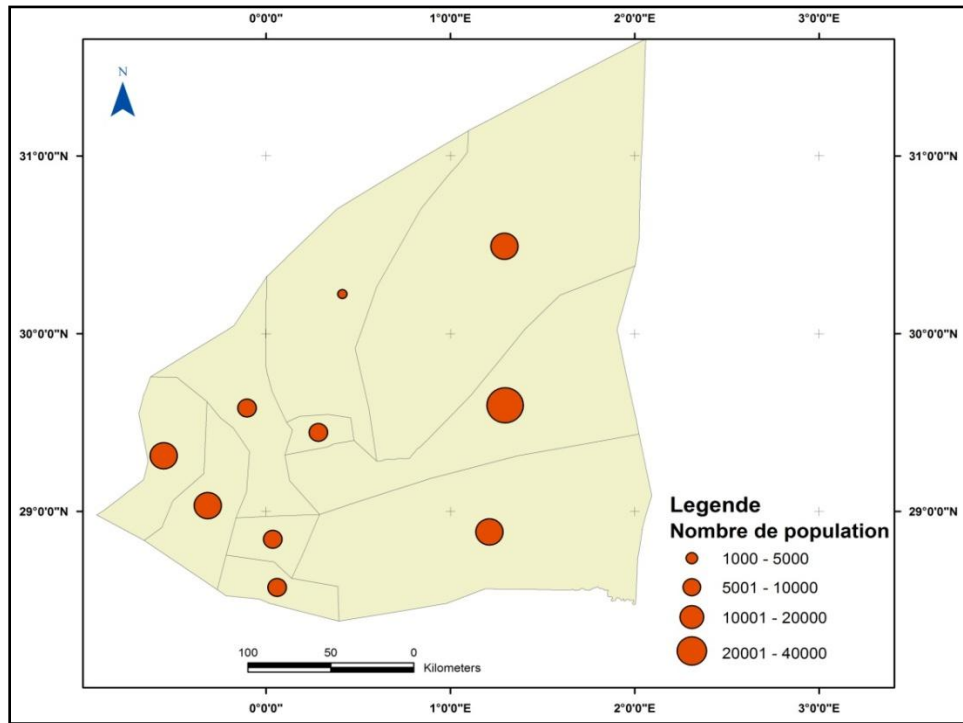


Figure 12: Carte de la répartition de population de la région du Gourara en 2008

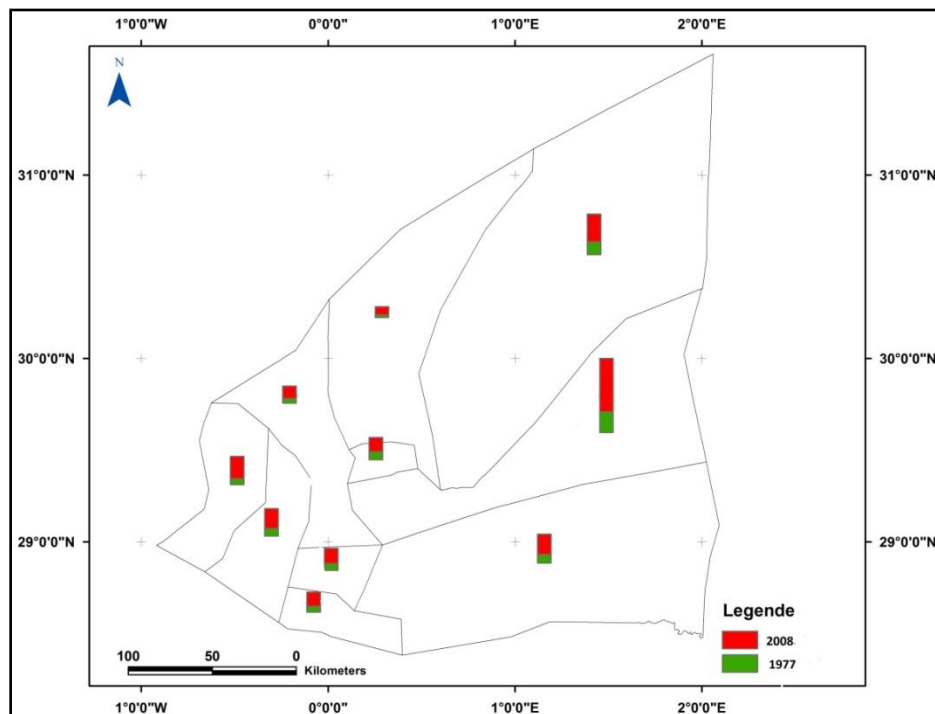


Figure 13: Carte de l'augmentation démographique de la région du Gourara pendant la période [1977 – 2008]

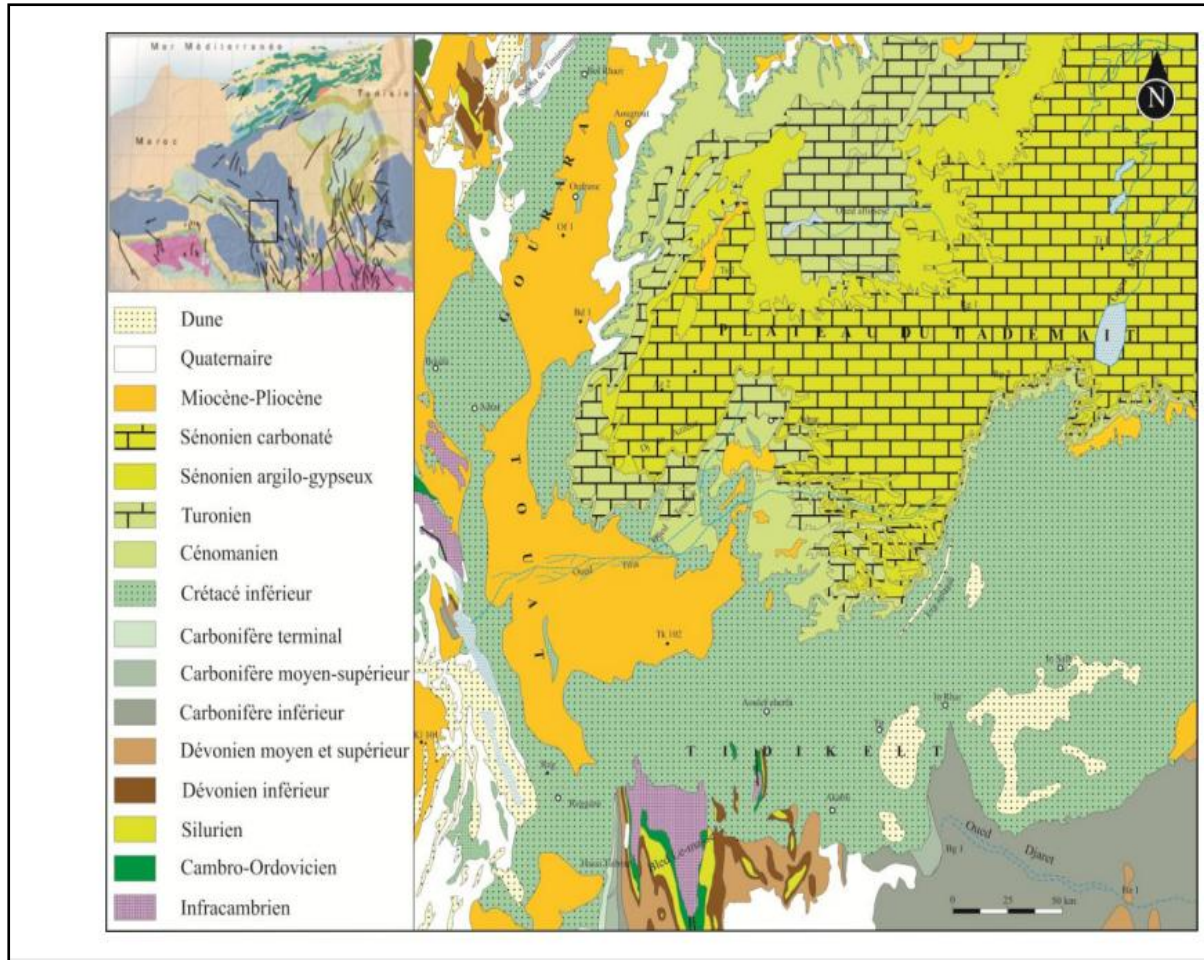


#### **4 L'activité économique**

La région de Gourara est connue par ses activités agricoles, commerciales, touristiques et énergétiques. L'agriculture est représentée par les anciens périmètres agricoles les oasis (irrigués par les Foggara) et les nouveaux terrains de mise en valeur. Les principales productions agricoles sont les céréales, le maraichage et les dattes. Toutefois, le tourisme est une source économique importante vu les potentialités que dispose la région, telles que les vieux ksours, les belles dunes et les oasis avec leur génie système du captage des eaux « la Foggara ». L'ensemble de ces éléments rend la région d'étude comme pôle d'attraction touristique saharienne de qualité. De plus, la région de Gourara dispose d'un fort potentiel énergétique notamment sous forme du Gaz naturel, sachant qu'un centre de traitement de cette matière s'est installé récemment (2018) dans la région de Hassi Barouda à Aougrouit.

#### **5 La géologie**

En se référant aux travaux de **Bisson (1957), Vinas et Joukov (1974) et Beghoul (1991)**, la couverture sédimentaire du bassin de Timimoun (formée essentiellement par des séries Paléozoïques) est discordante sur un socle précambrien ou infracambrien (fig.14) dont la profondeur varie entre 1800 m à l'Ouest et environ 5500 m à 6000 m au centre. Le Paléozoïque est représenté dans la région d'étude par : Le Cambrien, l'Ordovicien, le Dévonien et le Carbonifère inférieur. Ces cycles sont soit gréseux, soit argileux ou argileux gréseux, comme le cas de la plaine de Meguiden. Les structures du mésozoïque sont constatées sous forme du Trias et du Jurassique, et sont représentées principalement par le Crétacé. Le Crétacé inférieur est représenté par le sable grossier à gravier de l'albien, du Barrémien et du Néocomien. Cependant, le Crétacé supérieur se trouve sous forme du Cénomaniens (argiles et calcaires dolomitiques comme le cas du plateau de Tadmaït), du Turonien (calcaires) et du Sénonien (calcaires et gypses). Le Cénozoïque est représenté par : le Mio-Pliocène que l'on constate sur toute la lisière du grand Erg occidental sous forme de terrains grés-argileux et grés-calcaires. Le quaternaire : Ce sont notamment les dunes du grand Erg occidental et les dépôts gypso-salins des sebkhas.



**Figure 14: Extrait de la carte géologique du bassin mésozoïque du Sahara algéro-tunisien 1/200000 (Busson, 1967 in Draoui, 2013)**

## 6 L'hydrogéologie

La région de Gourara fait partie du Sahara septentrional, où l'on trouve les eaux souterraines, l'unique source hydrique pour s'alimenter. Le système aquifère du Sahara septentrionale désigne la superposition de deux principales couches aquifères profondes : la formation la plus profonde du Continental Intercalaire (CI), et celle du Complexe Terminal (CT) (OSS, 2008). La région de Gourara repose sur le sous bassin occidental du continental intercalaire (nappe albienne) qui est constitué par des formations géologiques du Crétacé inférieur et du Jurassique (fig.15). Le trait marquant de ce réservoir aquifère est son volume considérable dû à la fois à son extension sur plus de 600 000 km<sup>2</sup> et son épaisseur moyen de plusieurs centaines de mètres (UNESCO, 1972).

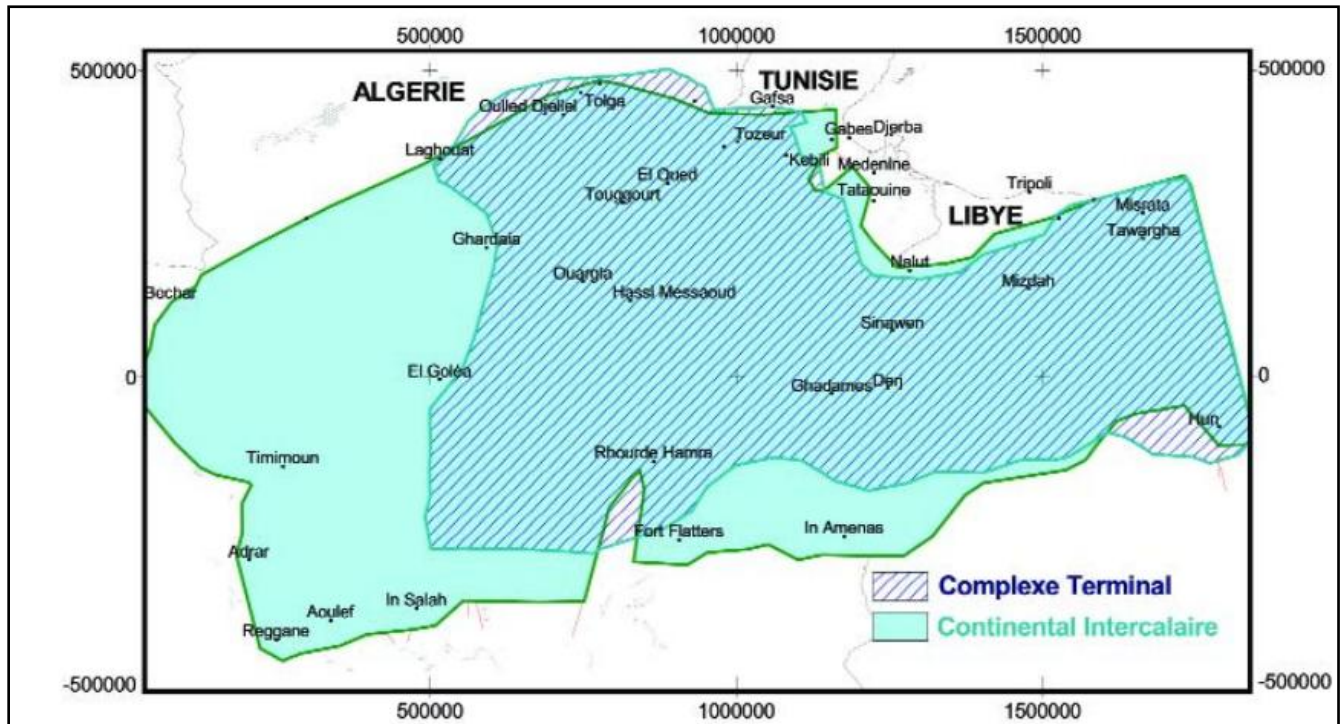


Figure 15: Extension du système aquifère du Sahara septentrional. Source OSS, (2008)

## 7 La géomorphologie

Le relief de la région de Gourara se caractérise par la présence de six principaux aspects morphologiques, à savoir :

- **L'Erg** : Région Saharienne couverte par les dunes (Mainguet et Dumay, 2006). Il se trouve généralement sous forme d'une superficie vaste occupée par les dunes de sable. Dès qu'on arrive à la région de Gourara, une formation dunaire attire l'attention, c'est l'Erg occidental. Cet aspect morphologique représente la zone potentielle d'alimentation des vents en sable.
- **La Hamada** : est une surface rigide d'affleurement rocheux, parfois occupée par certains cordons dunaires. C'est le cas par exemple de la Hamada d'Ouled Aissa.
- **Le Reg** : est une surface issue de l'altération des roches hétérogènes semi-tendres. La partie tendre après sa dégradation constitue les particules fines du sol. Cependant, la partie rigide conserve son aspect sans dégradation et apparaît comme cailloux en surface. Parmi les regs existant dans la région de Gourara, on cite le reg du Mguiden et celui d'Aougrout.

- **Les Sebkhass :** d'après **Vinas et Joukov (1974)**, ce sont les points les plus bas dans la région de Gourara et sont généralement les lits des anciens oueds très larges provenant de la région de l'Atlas saharien. Elles sont formées de dépôts éofluviatiles gypso-salins. L'exemple des Sebkhass le plus fameux dans la région d'étude, est la Sebkhass de Timimoun qui s'étend sur une longueur de 80 km et qui pourrait être alimentée par la nappe albienne et reçoit par ailleurs les eaux de drainage provenant des oasis situées à la proximité sur les terrasses éoliennes.
- **Les plateaux :** Ce sont les points les plus hauts sur le plan topographique. Ils couvrent une très vaste surface du relief de la région de Gourara. Le Tademaït est le plateau le plus important et le plus connu dans cette région.
- **Les terrasses éoliennes :** se sont formées sur des endroits de rupture de la pente et se terminent généralement en aval par une sebkhass. Elles correspondent à l'implantation de la plupart des oasis de la région d'étude.

## **8 Le sol**

Le sol est un milieu cohérent dont les propriétés s'expliquent par son histoire, les conditions du milieu et souvent aussi par l'action humaine (**Haddouche, 1998**). Les sols des régions sahariennes sont généralement squelettiques, bien pourvus en calcium, en magnésium et en oligo-éléments, mais pratiquement dépourvus en matière organique (**Berkal, 2006**). D'après **Vinas et Joukov (1974)**, les sols de la région de Gourara sont hétérogènes de point de vue granulométrie, alors que leur texture est dominée par le sable et de façon moindre des sols à texture limoneuse et argileuse. En tenant compte des caractéristiques physico-chimiques, les sols de la région d'étude appartiennent principalement aux catégories des sols ci-dessous :

- **Les sols minéraux bruts xériques organisés d'ablation :** ce sont les sols des regs caillouteux ou ceux des hamadas, là où la végétation est nulle sauf dans quelques lits d'oueds et dayas que l'on rencontre l'Acacia, le Tamarix et quelques herbes xérophytes ;
- **Les sols minéraux bruts xériques inorganisés d'apports :** ils correspondent aux dunes de sable de l'erg et aux autres champs dunaires existant ;
- **Les sols minéraux bruts non climatiques d'érosion :** Ce sont les sols de terrasses d'accumulation éolienne qui sont façonnés par les eaux de ruissellement. Sur ces sols se sont installés la plupart des oasis de la région d'étude ;

- **Les sols halomorphes** : situés dans des vastes dépressions, telles que les sebhkas et dans des cuvettes de certains lits d'oueds. Il en résulte de l'accumulation des eaux salées de drainage et de forte évapotranspiration caractérisant la région de Gourara.

## **9 La flore**

La flore saharienne est caractérisée par un endémisme développé, parmi 650 espèces du Sahara septentrional, occidental et central, on trouve 162 espèces endémiques, soit 25 % (INRAA, 2006). Le Sahara est très pauvre sur le plan floristique si l'on compare le petit nombre des espèces qui habitent ce désert à l'énormité de la surface qu'il couvre (Ozenda, 1977). La flore de la région de Gourara se divise en deux catégories, cultivée et spontanée. Concernant la végétation cultivée se trouve soit dans les anciens périmètres agricoles, les oasis ou bien dans les nouveaux terrains de mise en valeur dont la production est intense. Plusieurs variétés cultivées dans la région de Gourara sont endémiques et ont besoin d'être conservées. Toutefois, la végétation spontanée ayant le caractère saharien d'endémisme élevé, se trouve en diverse situation, au niveau des parcours, sur les dunes et dans les lits d'oueds.

Un parcours fleuri avec une végétation dense, nous renseigne sur la présence d'une nappe phréatique sous-jacente très proche de surface (l'alimentation hydrique de cette végétation dépend de la nappe phréatique, néanmoins les pluies ne représentent qu'une source secondaire). Cet aspect floristique est représenté par des milliers d'hectares, parmi lesquels nous citons le parcours de Belhgazi (Photo.1) et ce de Mguiden. Au niveau des dunes de la région d'étude, on constate certaines espèces dont le mode de dissémination des graines est anémochorie, telles que l'*Aristida pungens*, le *Retama retam*, le *Caligonoum azel*...etc. Les Oueds de la région de Gourara sont bien remarquables par la présence des arbres d'*Acacia raddiana*. Dans certains Oueds, on peut trouver même le dattier du désert, c'est le cas par exemple d'Oued Leguelib au Mguiden.

La flore spontanée de la région de Gourara joue un rôle non négligeable dans la fixation des dunes et stabilisation du sable déplacé par le vent. Afin de satisfaire ses besoins en matière de bois de chauffage et fourrage, l'être humain faisait l'abattage et l'arrachage de la végétation spontanée. De ce fait, un bouleversement de la nature s'est produit sous forme de l'aggravation de problème d'ensablement.



**Photo 1: Parcours de Belghazi commune de Deldoul**

## **10 La faune**

Vu les conditions désertiques difficiles (rareté d'eau, rareté d'aliment et forte chaleur) dans la région de Gourara, la faune a développé des stratégies d'adaptation pour qu'il puisse y vivre. La faune domestique composant le cheptel de la région d'étude est représentée principalement par le dromadaire, les chèvres et les ovins (notamment la race Demmane). Toutefois, la faune sauvage apparaît comme étant très diversifiée par rapport à la précédente. Alors, plusieurs classes des animaux sont observées dans la région d'étude, telles que :

- **Les mammifères** : parmi les espèces de cette classe qui existent dans cette région, on peut citer les antilopes (le mouflon à manchettes et la gazelle Dorcas), le Fennec, le Chacal, l'Hérisson, le Lièvre sauvage et le Gerboise.
- **Les reptiles** : cette classe est représentée par le Fouette queue, le varan de désert, les poissons de sable et les serpents.
- **Les oiseaux** : se sont constatés particulièrement au niveau des oasis dont les conditions microclimatiques sont favorables, tant pour les oiseaux sédentarisés que pour ceux migrants.

## 11 Le climat

Le climat, avec ses caractéristiques, joue un rôle essentiel dans la répartition des espèces végétales et animales, dans la formation du sol et dans les processus de plusieurs phénomènes naturels. Afin de caractériser le climat de la région d'étude, on a exploité les données météorologiques de station de Timimoun (tab.2), la seule qui existe dans la région d'étude. Ainsi, les données qu'on dispose donne une image plus ou moins générale sur le climat de la région. Toutefois, on aurait pu avoir une étude climatique plus complète et plus fiable si elles existaient d'autres stations météorologiques dans cette région vu son immensité.

**Tableau 2: Caractéristiques géographiques de la station météorologique de Timimoun**

Station	Altitude	Latitude	Longitude
Timimoun	312 m	29°15 N	00°17 E

### 11.1 Les précipitations

On désigne sous le mot précipitation, toutes les eaux météoriques, ou hydrométéores, qui tombent à la surface de la terre, tant sous forme liquide (pluie) que solide (neige, grêle, grésil) (**L'hote, 1993**). Les précipitations constituent avec la température les principaux éléments qui définissent le climat d'un lieu donné (**Elkhatri, 2003**). Au milieu désertique, les précipitations sont très faibles et conventionnellement sont en dessous de 200 mm/an (**Ozenda, 1977**). Le tableau suivant illustre les données de la pluviométrie moyenne mensuelle de la station de Timimoun, région de Gourara.

**Tableau 3: Précipitations moyennes mensuelles et annuelles de la station de Timimoun [1984-2014]**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	cumul
P (mm)	5,8	0,5	1,2	4,7	0,6	0,5	0,2	1,2	3,2	2,5	1,2	1,8	23,4

Source : ONM (station de Timimoun)

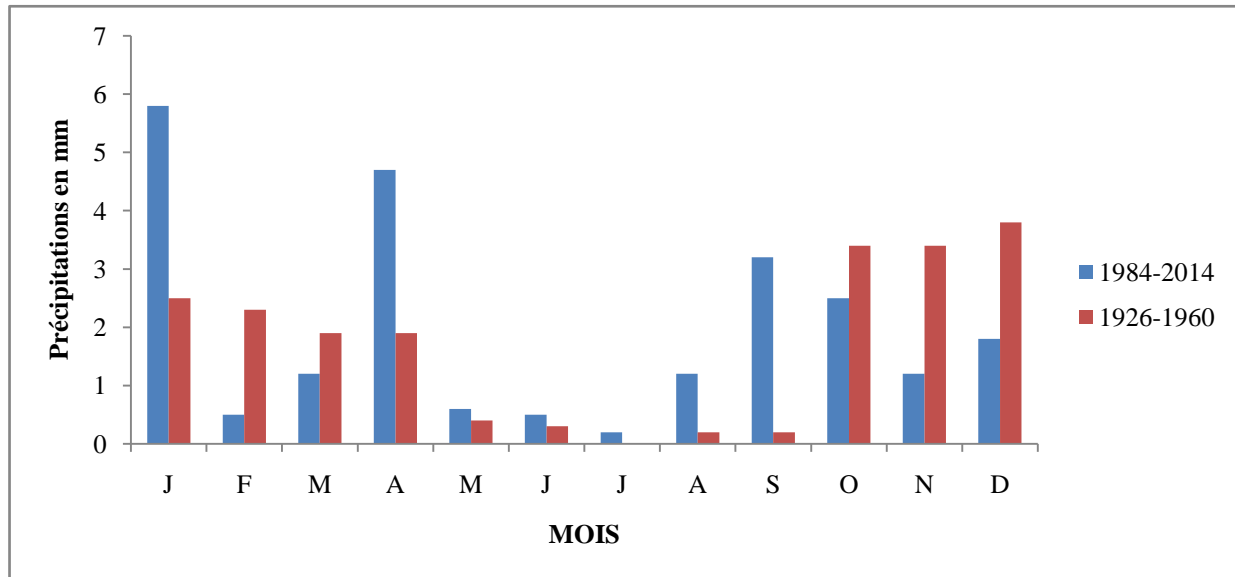
Les données du tableau précédent montrent que le régime mensuel des précipitations dans la région de Gourara se caractérise par un maximum de pluies enregistré le mois de janvier (5,8 mm) en hiver, alors que le minimum est constaté en été le mois de juillet (0,2 mm). Malgré les faibles quantités de précipitations qui arrosent la région de Gourara, il serait utile de signaler que leur régime saisonnier est de type HAPE. Ce régime signifie que l'hiver est plus pluvieux que l'automne, l'automne plus que le printemps, alors que l'été est la saison la moins pluvieuse de l'année. Il est important d'ajouter que les précipitations de Gourara sont irrégulières, tant pour la quantité qui précipite que pour leur répartition à l'échelle du temps interannuelle et intermensuelle.

Les régions sahariennes occupent une superficie d'environ huit (08) millions de km<sup>2</sup>, au-dessous de l'isohyète de pluviosité moyenne annuelle de 100 mm (**Le-Houerou, 1990**). La région de Gourara reçoit annuellement une quantité très faible de précipitations (environ 23,4 mm). Cette quantité d'eau ne répond pas aux besoins de certains végétaux, alors que le recours à l'irrigation est obligatoire en cas de leur plantation. La végétation spontanée, c'est elle qui bénéficie beaucoup plus des précipitations, car en cas d'averse, la couche superficielle du sol s'imbibe, ce qui aboutit à la germination des graines qui sont y enfouie. De cette manière que les espèces spontanées se sont adaptées pour assurer leur régénération. Pour avoir une idée sur l'état de précipitations dans le passé et la situation actuelle, le tableau ci-après mis à la disposition de lecteur les précipitations moyennes mensuelles de deux périodes différentes, la première entre [1926–1960] et la deuxième entre [1984-2014].



**Tableau 4 : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles de la station de Timimoun [1984-2014] et [1926-1960]**

Source	Période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	annuelle
<b>ONM station de Timimoun</b>	1984-2014	5,8	0,5	1,2	4,7	0,6	0,5	0,2	1,2	3,2	2,5	1,2	1,8	23,4
<b>Dubief 1959 In Callot 1987</b>	1926-1960	2,5	2,3	1,9	1,9	0,4	0,3	0,0	0,2	0,2	3,4	3,4	3,8	20,3



**Figure 16: Répartition des précipitations moyennes mensuelles pour la période [1926-1960] et la période [1984-2014]**

L'analyse des données indiquées en tableau 4 et la figure 16 fait apparaître que les précipitations moyennes annuelles ont connu une augmentation de 3 mm dans la période [1984-2014], par rapport à la période précédente [1926-1960]. De ce fait, on peut dire qu'au niveau des moyennes annuelles de précipitations le changement climatique est banal. Néanmoins, le changement réel est remarqué au niveau de la répartition mensuelle des précipitations, alors que les mois les plus pluvieux dans la période [1926-1960] furent les mois d'octobre, novembre et décembre. Cependant, pour la deuxième période [1984-2014] les mois les plus pluvieux, étaient les mois de janvier, d'avril et de septembre.

## 11.2 Les températures

La température est un facteur écologique fondamental pour la végétation. Toutefois, au-delà d'un certain niveau, la température peut en provoquer des effets néfastes (**Haddouche, 2009**). Le tableau ci-dessous présente les températures moyennes mensuelles et annuelles de la station de Timimoun.

**Tableau 5: Températures moyennes mensuelles et annuelles (en °C) enregistrées dans la région de Timimoun durant la période [2000-2014]**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	annuelle
<b>TM</b>	19,3	22,2	27,7	31,9	36,7	42,1	<b>45,6</b>	44	39,7	33,5	25	19,9	<b>32,3</b>
<b>Tm</b>	<b>4,9</b>	7,4	12,2	16,2	20,7	25,4	28,9	27,9	24,4	18,7	10,9	6,5	<b>17</b>
<b>T</b>	12,1	14,8	19,9	24	28,7	33,7	37,3	36	32	26,1	18	13,2	<b>24,7</b>

**TM** : température maxima ; **Tm** : température minima ; **T** : température moyenne.

**Source : ONM station de Timimoun**

En se référant au tableau ci-dessus, on trouve que la région de Gourara est marquée par une température moyenne annuelle de 24,7 °C. Le minimum de température est enregistré le mois de janvier (le mois le plus froid) avec une valeur de 4,9°C, alors que le mois le plus chaud est celui de juillet avec un maximum de température de 45,6°C. En général, les amplitudes thermiques de la région de Gourara sont énormément élevées, surtout pour la période estivale qui dure environ quatre mois. Ce dernier critère, doit être pris en considération pour le choix des espèces à planter.

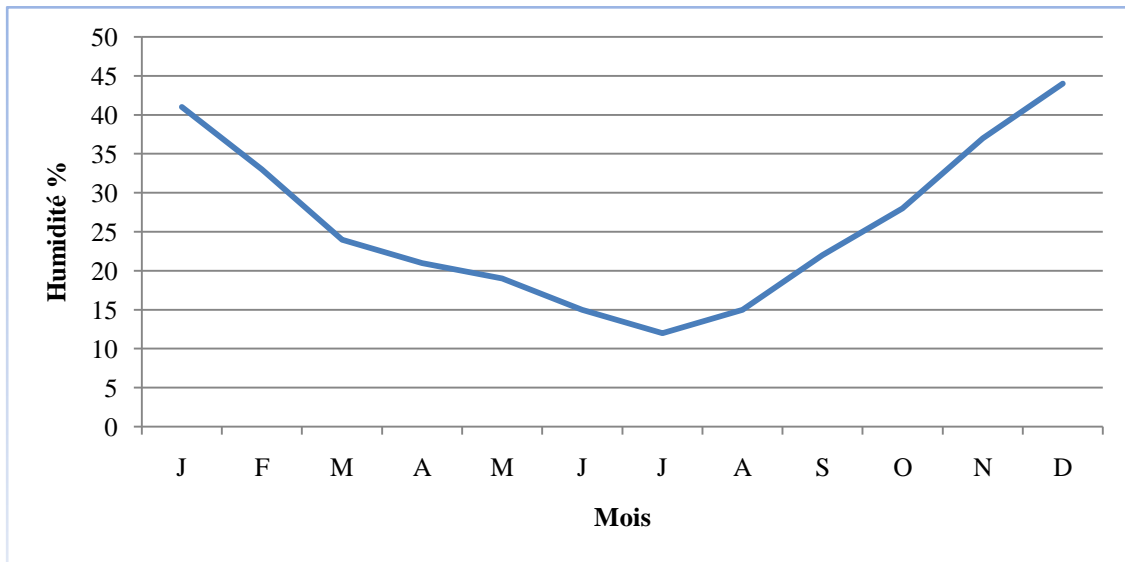
## 11.3 L'humidité atmosphérique

L'humidité relative de l'air ou le degré hygrométrique est le rapport entre la teneur réelle de l'air en vapeur d'eau, et la teneur que l'air peut contenir en état de sa saturation à la même température. L'humidité relative de l'air est un facteur déterminant de la qualité du climat. Concernant les espèces végétales, ce facteur influence directement leur état physiologique notamment la nutrition hydrique et la transpiration. L'humidité de l'air peut tomber jusqu'à 4% au Sahara central. Elle est plus forte en hiver qu'en été, la nuit que le jour (**Ozenda, 1977**). La région d'étude se caractérise par une aridité extrêmement élevée. Ceci est confirmé par les données de tableau ci-dessous.

**Tableau 6: Humidité relative moyenne mensuelle de l'air enregistrée dans la région de Gourara entre [2000-2014]**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	an
H %	41	33	24	21	19	15	12	15	22	28	37	44	25,9

Source : ONM Station de Timimoun



**Figure 17: Courbe de variation de l'humidité relative moyenne mensuelle de l'air dans la région de Gourara pour la période [2000-2014]**

L'humidité relative de l'air dans la région d'étude ne dépasse pas les 50% durant toute l'année (tab. 6 et fig.17). Le maximum d'humidité relative moyenne est enregistré en hiver durant le mois de décembre avec un taux de 44 %. Toutefois, le minimum est enregistré le mois de juillet avec une valeur de 12%.

#### 11.4 L'insolation

Est correspond à la période d'ensoleillement dans laquelle le sol est éclairé par le soleil. Cette notion est au contraire à la nébulosité qui signifie la couverture du ciel par les nuages. Selon **Dajoz (2006)**, la durée et l'intensité du rayonnement solaire agissent directement sur le type et le comportement de végétation. Le tableau ci-dessous illustre les moyennes mensuelles de la durée d'insolation en heure.

**Tableau 7: Les moyennes mensuelles d'insolation en heures de la région de Gourara pendant la période [2000 – 2014]**

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuelle
268,8	250,2	281,5	299,5	318,2	317,6	328,6	319,4	265,1	268,2	256,9	249,2	3407,8

Source : ONM Station de Timimoun

Le tableau précédent, montre que la région de Gourara est marquée par une insolation importante durant toute l'année (égale à 3407,8 heures par an). De plus, on trouve que la période estivale est la plus éclairée par rapport aux autres. Cela coïncide avec un taux d'humidité plus faible et de températures trop élevées, ce qui rend l'été comme le plus difficile sur le plan climatique.

### 11.5 Régime des vents

La différence de pression de masses d'air est à l'origine du vent, alors que ce dernier se produit lorsque l'air se déplace des zones de hautes pressions vers les zones de basses pressions. D'après **Ozenda (1977)**, le vent au désert se constate de façon continue, ce qui engendre l'érosion éolienne, ainsi l'ensablement et la formation des dunes.

Pour étudier le régime des vents de la région de Gourara, on a utilisé les données anémométriques de la station météorologique de Timimoun. Il s'agit de la répartition des moyennes des vitesses du vent par mois et ses fréquences par directions. Le tableau ci-dessous montre les moyennes mensuelles des vitesses du vent de la région de Gourara, pendant la période allant de 2000 jusqu'à 2014.

**Tableau 8: Moyennes mensuelles des vitesses du vent (m/s) enregistrées dans la région de Gourara entre [2000-2014]**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moyenne mensuelle des vitesses du vent (m/s)	4,2	4,8	5,2	5,5	5,8	5,3	4,9	4,8	4,6	4,3	3,9	3,8

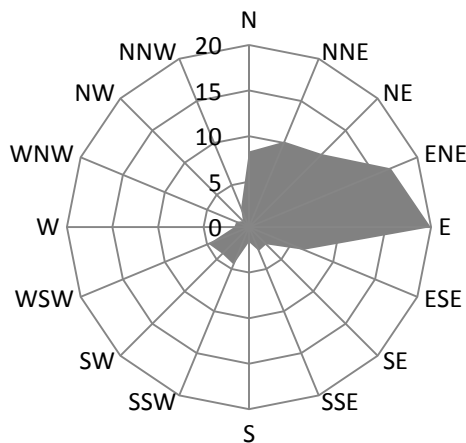
Source : ONM Station de Timimoun

La lecture de tableau précédent montre que les vents de Gourara sont de grandes vitesses surtout dans les dix premiers mois de l'année. La répartition des moyennes mensuelles des vitesses du vent par saison montre que le printemps est le plus venteux avec une vitesse moyenne mensuelle maximum de 5,8m/s enregistrée durant le mois de mars. Toutefois, les moyennes mensuelles des vitesses du vent les plus faibles sont celles de l'hiver avec une valeur minimum de 3,8 m/s enregistrée durant le mois de décembre. Il résulte de cette analyse que le risque de l'érosion éolienne, ainsi l'ensablement est très élevé en printemps, moyen en été et en automne et faible en hiver.

Pour avoir une idée sur les directions du vent dominant de la région de Gourara, on a fait appel aux données anémométriques de la station météorologique de Timimoun (tab. 9). Concernant la répartition fréquentielle des observations des vents selon les seize directions, pendant la période allant de 2005 à 2014.

**Tableau 9: La répartition fréquentielle des vents par 16 directions en pourcentage pendant la période [2005 – 2014]. Source : ONM station de Timimoun**

Direction du vent	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Fréquence du vent en %	8,31	10,16	11,34	16,85	19,95	6,5	2,66	2,83	1,63	4,44	4,1	4,79	1,62	1,5	0,95	2,26



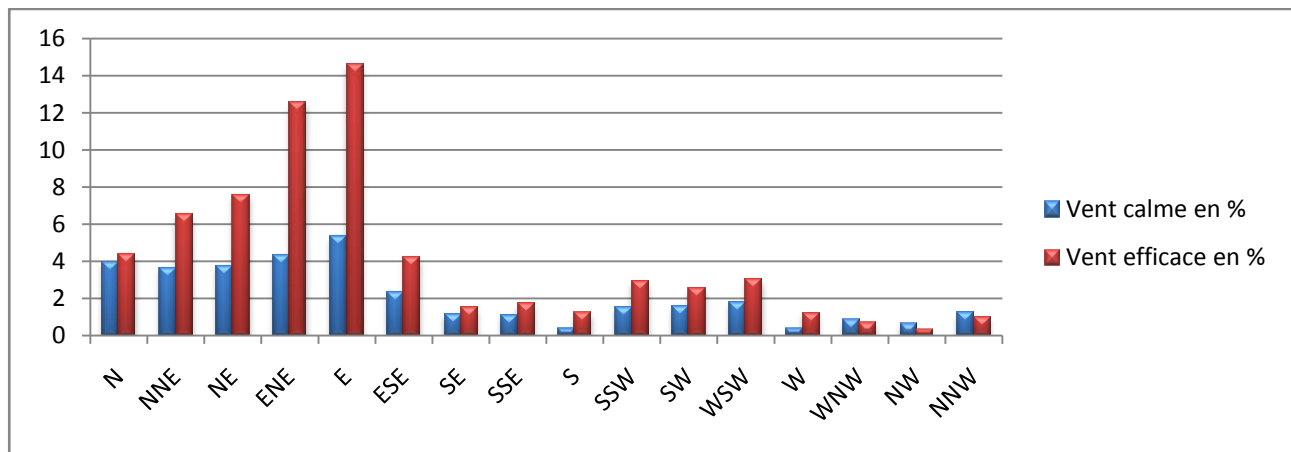
**Figure 18 : La rose des vents de la région de Gourara pour la période [2005-2014]**

En se référant au tableau 09 et la figure 18, il s'avère que la direction dominante du vent de la région d'étude est celle de l'Est suivi respectivement par la direction Est-Nord-Est, Nord-Est et Nord-Nord-Est. Par conséquent, le déplacement potentiel de sable (la migration de sable) le plus important de Gourara, suit une direction Est en premier lieu, et d'ordre moins les directions Est-Nord-Est, Nord-Est et Nord-Nord-Est. Selon **Mainguet et al, (2006)**, la mise en mouvement des particules de sable par le vent exige une vitesse du vent supérieur à 4 m/s. Dans ce dernier cas, on parle du vent efficace qui peut engendrer le phénomène d'érosion éolienne ainsi que l'ensablement. Cependant, les vents ayant une vitesse égale ou inférieure à 4 m/s, ce sont les vents calmes qui ne provoquent pas le problème d'érosion éolienne. Le tableau ci-dessous montre la répartition des vents calmes et les vents efficaces de la région d'étude selon les seize directions durant la période [2005 - 2014].

**Tableau 10 : La répartition fréquentielle des vents calmes et efficaces de la région de Gourara selon les seize directions [2005-2014]**

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
Vent calme en %	3,97	3,65	3,76	4,3	5,34	2,33	1,16	1,11	0,4	1,54	1,59	1,77	0,39	0,84	0,63	1,26	34,04
Vent efficace en %	4,34	6,51	7,58	12,56	14,6	4,18	1,51	1,72	1,24	2,9	2,55	3,03	1,23	0,67	0,31	1,01	65,96

Source : ONM station de Timimoun



**Figure 19: Histogramme de la répartition fréquentielle des vents calmes et efficaces de la région de Gourara selon les seize directions [2005-2014]**

D'après le tableau 10 et l'histogramme précédent (fig.19), on trouve que les vents efficaces ce sont les vents dominants pour toutes les directions à l'exception des directions WNW, NW et NNW (les vents calmes sont les dominants). Néanmoins, l'ensablement concerne toutes les directions car leurs vitesses caractéristiques présentent un pourcentage du vent dont la vitesse est  $> 4$  m/s et engendre le phénomène de l'érosion éolienne. Le Gourara de façon générale est une région de risque élevé d'ensablement, vue les potentialités anémométriques qu'elle dispose (65,96 % sont des vents efficaces contre seulement 34,04 % qui sont calmes).

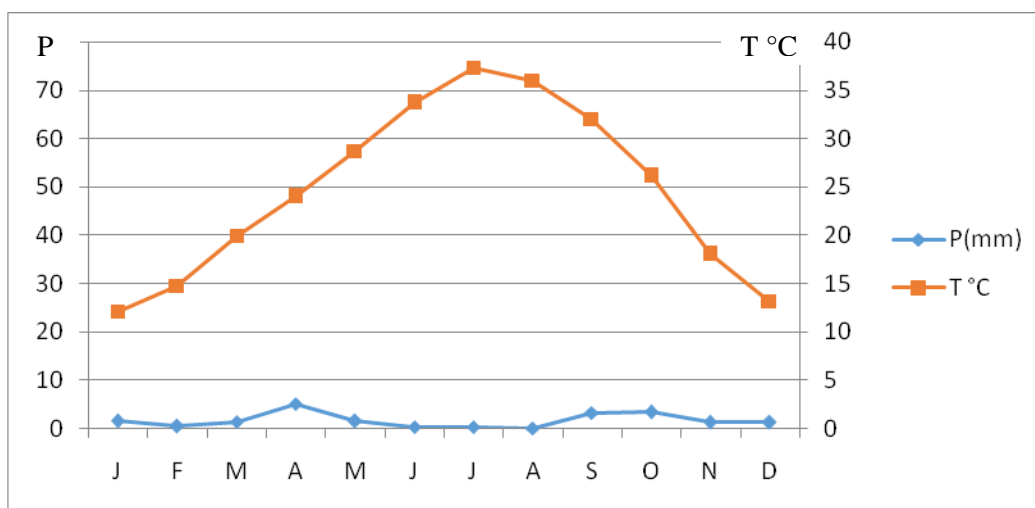
## 11.6 Synthèse climatique

Plusieurs indices sont élaborés pour caractériser le climat d'une région donnée, notamment ceux qui prennent en considération les moyennes de température et de précipitations.

### 11.6.1 Diagramme Ombrothermique

Le diagramme Ombrothermique de **Bagnouls et Gaussen (1953)** est une représentation graphique qui permet de comparer les moyennes mensuelles des précipitations et des températures afin de déterminer les périodes sèches et humides de l'année. Une période est considérée sèche lorsque  $P \leq 2T$ , alors que :

- P, Précipitations moyennes mensuelles en mm ;
- T, températures moyennes mensuelles en °C.



**Figure 20: Diagramme Ombrothermique de la région de Gourara [2000-2014]**

La lecture de la représentation graphique précédente (fig.20) montre que la région de Gourara se caractérise par une période sèche s'étalant sur tous les mois de l'année. En fait, ce dernier caractère concerne presque toutes les régions sahariennes algériennes. Il en résulte que l'aridité du milieu est permanente en Gourara, ce qui oblige les êtres vivants à développer une stratégie adéquate pour qu'ils puissent y vivre.

### **11.6.2 Indice d'aridité de Demartonne**

Le calcul de cet indice se base sur la combinaison des moyennes annuelles thermique et pluviométrique selon la formule suivante :

$$I = P / (T + 10) \dots \dots \dots (3)$$

Alors que

- P : la pluviosité moyenne annuelle en (mm) ;
- T : la température moyenne annuelle en (°C).

Cet indice sert à caractériser le degré de l'aridité du climat. Il est d'autant plus faible que le climat concerné est plus aride. La valeur de I est comprise entre 0 et 55 (tab, 11).

**Tableau 11: Les types de climat selon l'indice d'aridité de Demartonne**

<b>Valeur de l'indice</b>	<b>Type de climat</b>
0 < I < 5	Hyper aride
5 < I < 10	Aride
10 < I < 20	Semi-aride
20 < I < 30	Semi-humide
30 < I < 55	Humide

Source : **Moisselin et al (2002)**

En utilisant les données météorologiques de la station de Timimoun pour la période allant de 2000 à 2014 (P = 20,1 mm, T = 24,7 °C). On trouve que l'indice de Demartonne I = 0,58. Cela signifie que le climat de la région d'étude est hyperaride.



### 11.6.3 Quotient pluviométrique d'Emberger

Pour connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude, on a utilisé le quotient pluviométrique d'Emberger qui sert à caractériser notamment le climat méditerranéen et celui de l'Afrique du Nord. Ce quotient Q2 est défini par la formule suivante :

$$Q2 = 2000 P / M2 - m2.....(4)$$

Sachant que:

- M : température moyenne maxima du mois le plus chaud en degré kelvin (°K),
- m : température moyenne minima du mois le plus froid en degré kelvin (°K),
- P : précipitation annuelle en mm.

Selon les données météorologiques de la station de Timimoun pour la période [2000-2014] (P = 20,1 mm, M = 45,6°C, m = 4,9 °C), le quotient pluviométrique d'Emberger Q2 est de 1,65. D'après ce résultat et selon le climagramme pluviométrique d'Emberger (fig.21), la région d'étude se caractérise par un climat saharien inférieur à hiver doux.

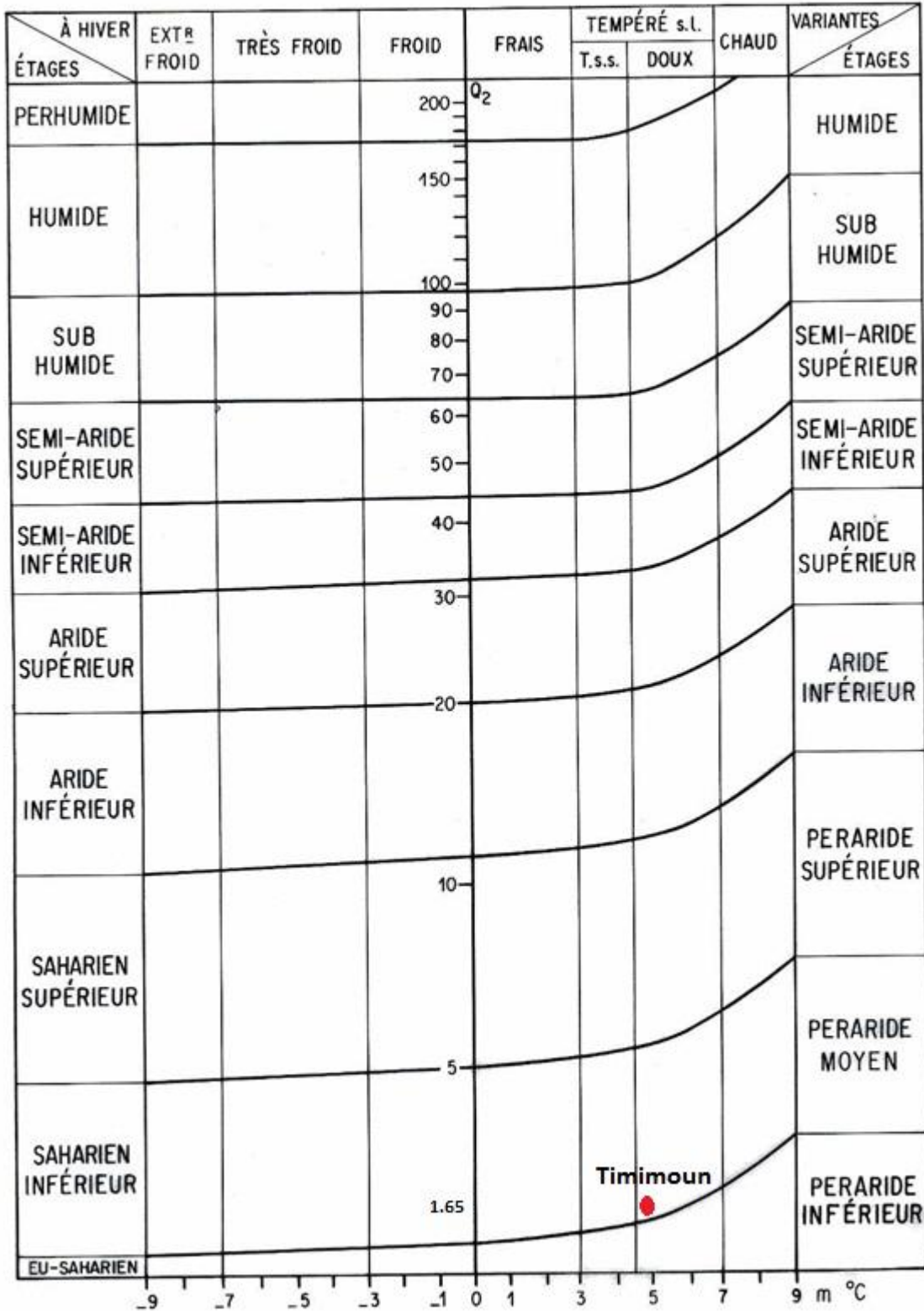


Figure 21: Climagramme du quotient pluviométrique d'Emberger

## **12 Conclusion**

La région de Gourara occupe la partie Nord de la wilaya d'Adrar. Elle est composée de dix communes et compte une population estimée de 123201 habitants.

L'étude du milieu physique montre que la géologie de cette région est dominée par des séries Paléozoïques et de crétacé. La géomorphologie de Gourara est marquée par la présence de l'Erg occidentale qui représente la source d'alimentation des vents en sables. L'étude des paramètres climatiques montre que le climat de la région d'étude est de type saharien inférieur avec un hiver doux et aridité extrême. Les températures sont énormément élevées surtout dans la période estivale où celles-ci dépassent les 45 °C. Les précipitations sont très faibles en quantité (ne dépassent pas annuellement les 25 mm) et irrégulières de point de vue répartition. Les vents sont violents surtout les dix premiers mois de l'année. Ils sont efficaces dans les seize directions étudiées avec des vitesses assez importantes provoquant le phénomène d'érosion éolienne ainsi l'ensablement. Le couvert végétal est très faible. Cependant, son rôle est très important dans la fixation des dunes et la stabilisation de sable pris en charge par le vent.

L'ensemble des caractéristiques physiques et naturelles du milieu rend le territoire de Gourara comme région d'activité éolienne avec un risque d'ensablement très élevé.

**CHAPITRE III**  
**LES TECHNIQUES DE LUTTE**  
**CONTRE L'ENSABLEMENT DANS**  
**LA REGION DE GOURARA**

## **CHAPITRE III : LES TECHNIQUES DE LUTTE CONTRE L'ENSABLEMENT DANS LA REGION DE GOURARA**

### **1 Introduction**

La lutte contre l'ensablement est une préoccupation primordiale de la population de la région de Gourara. Elle vise à protéger le milieu vital de l'être humain (agglomération, terrains agricoles et infrastructures socio-économiques), par la confection de certains procédés mécaniques, biologiques et aérodynamiques.

La stratégie de lutte contre l'ensablement adoptée dans la région d'étude est fondée sur :

- L'utilisation des produits locaux ;
- Un cout de réalisation plus ou moins faible ;
- L'implication des objectifs socio-économiques et environnementaux ;
- La durabilité de la technique installée.

D'après l'enquête réalisée à travers la présente étude, plusieurs techniques de lutte contre l'ensablement ont été constatées sur le terrain dans la région de Gourara. Ces techniques sont des procédés ancestraux dans la majorité des cas, pratiquées par les habitants depuis la nuit des temps. Toutefois, le développement des techniques d'irrigation, notamment le système goutte à goutte a permis au service des forets dans les dernières années d'installer des centaines d'hectares de bandes vertes. Ces bandes sont plantées comme nouveau procédé de lutte biologique contre l'ensablement.

Dans cette partie de la thèse, on va donner la description et le détail de chaque technique de lutte contre l'ensablement, constatée dans la région d'étude. Cependant, une étude particulière est réservée aux bandes vertes, puisqu'elles représentent la nouvelle technique de lutte introduite dans la région d'une part et sont méconnues à l'échelle locale et nationale d'autre part.

## **2 La palissade en palme sèche**

Vu la disponibilité du palmier dattier ainsi ses palmes dans les oasis de Gourara, la palissade est un procédé de lutte contre l'ensablement bien maîtrisé et très répandue dans la région. La réalisation de la palissade passe généralement par les trois principales étapes suivantes :

- Acquisition et transport des palmes sèches ;
- Ouverture des tranchées dont la profondeur est de cinquante centimètre (50 cm) ;
- Edification des palissades et comblement des tranchées.

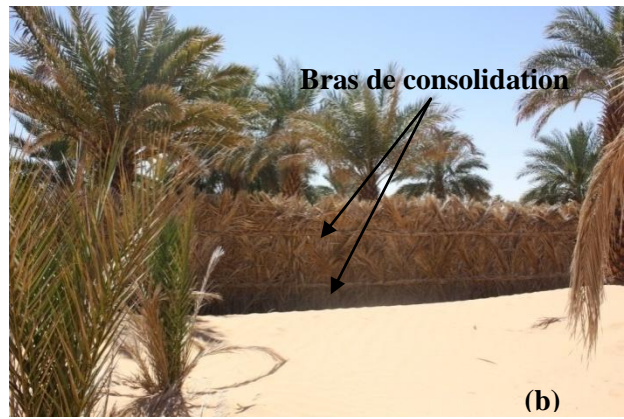
L'édification des palissades se fait par l'installation verticale ou bien inclinée des palmes sèches, en suivant une trajectoire linéaire. La densité moyenne des palmes sèches est de dix-sept (17) palmes par mètre linéaire. Dans certains cas, des piliers sont installés le long de la palissade afin de la consolider, espacées entre eux de trois mètres. Ces piliers peuvent être des troncs du palmier dattier ou bien des grosses branches et troncs du tamarix. Afin de renforcer encore plus la palissade, un ou deux bras sont installés à son niveau moitié (photo 03b). Ces bras (branche complète du palmier dattier) sont installés perpendiculairement par rapport aux axes des palmes sèches. La partie aérienne de la palissade mesure en moyenne un mètre et demi (1,5 m) d'hauteur.

La réalisation d'un kilomètre linéaire de palissade en palmes sèche du palmier dattier coute quatre cent mille dinars algériens (400 000 DA) d'après le service technique de la conservation des forêts de la wilaya d'Adrar.

Selon l'objectif ciblé par la lutte contre l'ensablement, la palissade peut être d'arrêt ou bien de déviation. Plusieurs scénarios de palissades ont été constatés sur terrain, installés pour la protection des infrastructures socio-économiques, routes (photo 02), terrains agricoles (photo. 03a et b) et habitats.



**Photo 2: Palissade de protection contre l'ensablement de la route et de la ligne d'électrification Tganet - KsarKadour**



**Photo 3: (a) et (b) Palissades installées pour la protection des terrains agricoles contre l'ensablement (Tinerkouk )**

### **3 La Tabia**

Est une technique mécanique qui consiste à surélever le sol (photo 4), en forme de talus (longitudinal avec différentes hauteurs), en utilisant d'un engin approprié. L'installation de cette technique doit être perpendiculaire par rapport à la direction du vent dominant. Le recours à l'utilisation de la Tabia est constaté fréquemment dans les nouveaux terrains de mise en valeur agricole, là où il y a une nécessité urgente de se protéger contre l'érosion éolienne et vu que les brise-vents prennent du temps après leur installation pour qu'ils arrivent au stade efficace. Le rôle

de la Tabia dans ce cas-là est de dévier la direction du vent et de réduire sa vitesse afin de protéger les cultures avoisinantes contre les dégâts mécaniques du vent, ainsi l'ensablement. Sur le versant au vent de la Tabia, on constate généralement des amas de sable stabilisés.



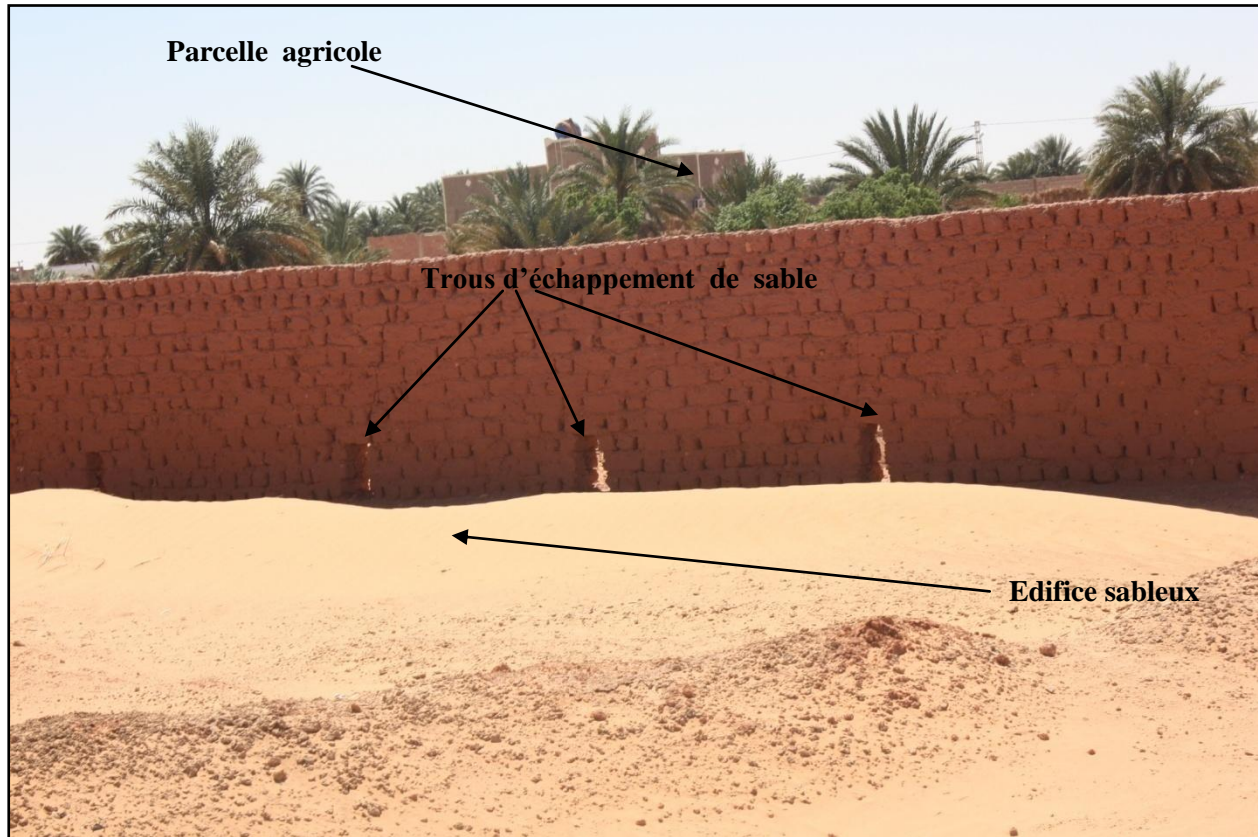
**Photo 4: La Tabia, nouveau périmètre de mis en valeur Aougrout**

#### **4 La murette**

Est un procédé mécanique qui consiste à construire une murette en pierres ou bien par l'utilisation des briques fabriqués par différents matériaux tels que le ciment et le mélange d'argile et terre végétale. Cette technique est installée généralement perpendiculaire par rapport à la direction du vent dominant. La murette souvent est menue par des trous (photo 5) installés à 0,5 m au-dessus du sol et espacés entre eux presque de 2 m (en moyenne). Ces trous jouent un rôle aérodynamique, puisque le vent se concentre lorsqu'il passe par eux, alors que sa vitesse de sortie est plus importante que celle d'entrée. De ce fait, le vent sortant empêche l'accumulation de sable (en échappant le sable stabilisé auparavant) à la base de la murette. Pour cela, on constate toujours de part et d'autre de la murette des édifices sableux (fig.26) avec crête, plus ou moins éloignés de sa base. Le rôle des murettes est de réduire la vitesse du vent et de stabiliser le sable



qu'il apporte, afin de protéger les infrastructures socio-économiques humaines contre le phénomène d'ensablement. La hauteur moyenne constatée sur le terrain des murettes est généralement de deux mètres (2 m).



**Photo 5: Murette de lutte contre l'ensablement, construite par des briques de mélange d'argile et terre végétale (commune de Tinerkouk)**

## **5 Les bandes vertes**

La technique de la bande verte consiste à planter des lignes (plus de quatre lignes) des arbres autour d'une infrastructure humaine afin de la protéger contre l'ensablement. A partir de l'année 2007 et dans le cadre de la lutte biologique contre l'ensablement, la région de Gourara a connu l'installation de plusieurs bandes vertes, réalisées par l'administration des forêts en utilisant le système goutte à goutte pour leur irrigation. La plantation de ces bandes vertes (Fig. 22) a été faite à base de l'espèce de *Tamarix aphylla*.

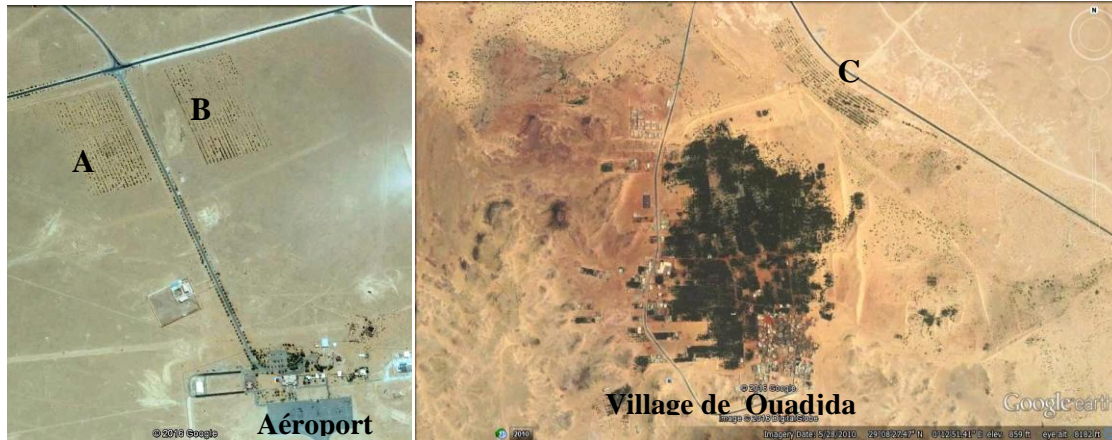
La présente étude concerne trois bandes vertes, dont l'écartement entre les lignes de plantation est

de 10 m, alors que l'espacement entre les sujets est de 5 m (densité d'arbre est de 200 pieds par hectare).

A : La bande verte droite de l'aéroport de Timimoun (06 hectares plantés en 2009),

B : La bande verte gauche (06 hectares plantés en 2009).

C : La bande verte du village d'Ouadjda (05 hectares plantés en 2007).



**Figure 22 : image google earth : Bandes vertes A, B et C**

(A) bande verte droite de l'aéroport de Timimoun (29°15133' N, 0°16768' E ; altitude: 308 m), (B) bande verte gauche de l'aéroport de Timimoun (29°14989' N, 0°16600' E, altitude: 308 m) ; (C) bande verte du village d'Ouadjda (29° 07717' N, 0°12973' E, altitude: 270 m)

## 5.1 Etude dendrométrique

Afin d'étudier les caractéristiques dendrométriques ainsi la structure des peuplements des bandes vertes, nous avons réalisé des relevés dendrométriques. La méthode d'inventaire statistique par échantillonnage systématique a été adoptée. Selon **Sylvain (1996)**, cette méthode consiste à mettre en place des placettes à surface définie avec une forme le plus souvent circulaire ou bien elliptiques. Dans notre cas, nous avons installé des placettes circulaires de 20 m de rayon. L'espace entre le centre d'une placette et celui d'une autre est de 100 m. D'après **Pardé et Bouchon (1988)**, les sujets ayant moins de 1,5 m de hauteur et ceux ayant un diamètre moins de 1 cm sont négligés dans les mesures dendrométriques. Le taux d'échantillonnage adopté dans la présente étude est de l'ordre de 12,56 %. Il permet de connaître à la fois les caractéristiques dendrométriques et la densité de plantation des bandes vertes en question. Le tableau 12 illustre les différentes classes mesurées de hauteur et de diamètre.



**Photo 7: Mesure de la hauteur d'un arbre (> 8m) de Tamarix en utilisant le Blum-Leiss bande verte d'Ouadjda**



**Photo 8: Mesure de diamètre d'un arbre de Tamarix en utilisant le compas forestier, bande verte (C)**

## 5.5 Résultats et discussion

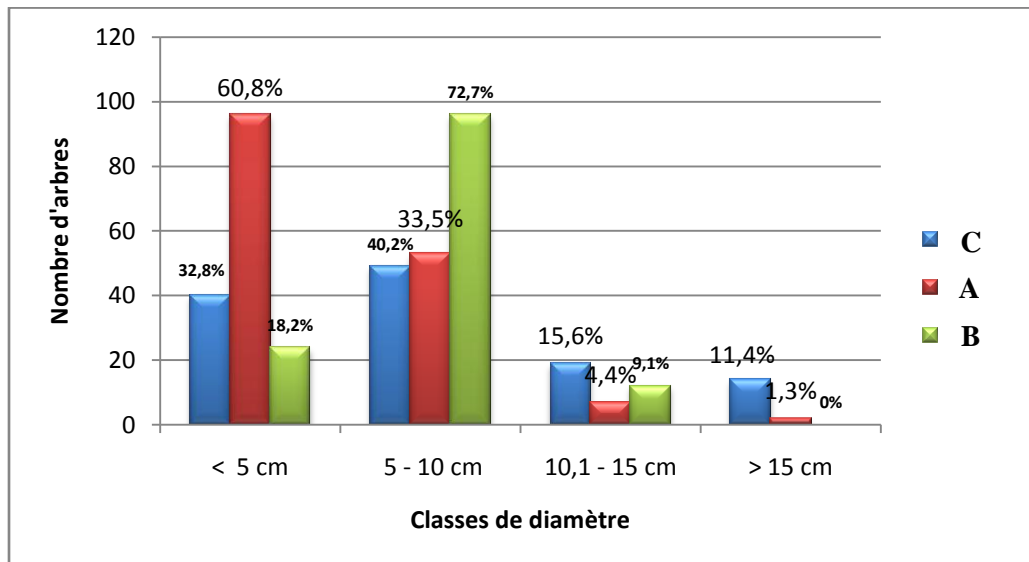
Selon la FAO (2011), plusieurs régions du monde ont connu la lutte biologique contre l'ensablement par la plantation forestière. C'est le cas, par exemple, de la Chine ; l'Iran ; l'États Unis ; le Chili ; la France ; le Danemark ; le Sénégal ; la Mauritanie...etc. D'après **Benderrah et Zandouche (2007)**, en Algérie le cordon dunaire Boussaada Djelfa, est un exemple ancien du pays dans la fixation des dunes réalisé en 1982 par la plantation des espèces ligneuses. Notre région d'étude a connu la lutte biologique contre l'ensablement seulement à partir de l'année 2007.

### 5.5.1 Structure de bandes vertes

Dans les trois bandes vertes nous avons constaté une densité des arbres différente : La densité des arbres est de 175 sujets par hectare pour la bande verte droite de l'aéroport de Timimoun (06 hectares plantés en 2009), 210 sujets pour la bande gauche (06 hectares plantés en 2009) et 194 arbres par hectare pour la bande verte du village d'Ouadjda (05 hectares plantés en 2007).

#### 5.5.1.1 Répartition des arbres par classes de diamètre

Le résultat de distribution des arbres par classes de diamètre à 1,30 m sont donnés sous forme de l'histogramme suivant (fig.24):

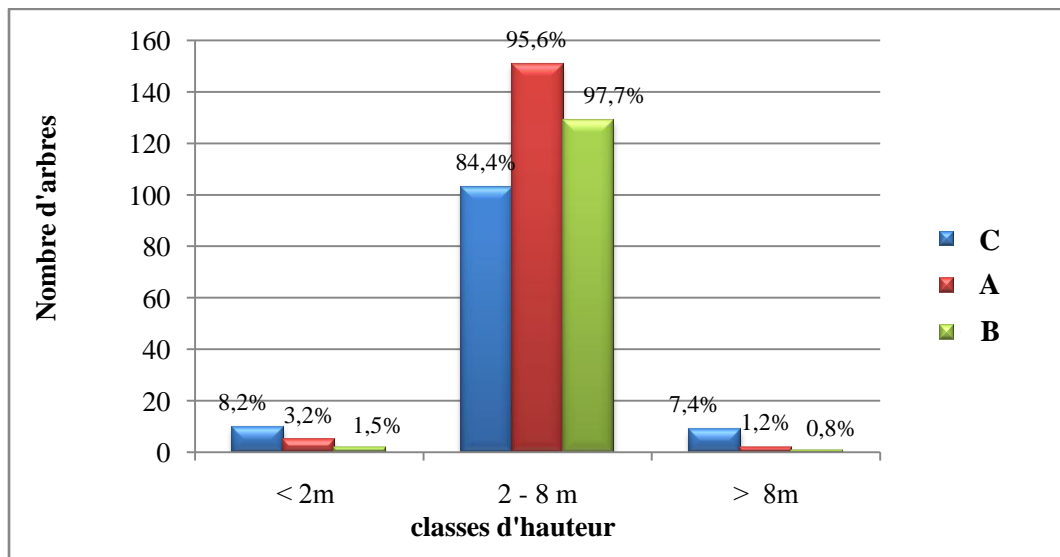


**Figure 24: Distribution des arbres par classes de diamètre en cm à 1.30 m du sol dans les bandes vertes**

La répartition des arbres par classes de diamètres dans les trois bandes vertes se caractérise par la dominance des jeunes arbres ayant un diamètre égale ou bien inférieur à 10 cm (fig.24). Ces sujets représentent plus de deux tiers de l'ensemble des individus dans les bandes vertes. La bande verte droite se particularise par la dominance de la première classe de diamètre (< 5 cm) par rapport aux autres bandes, là où la deuxième classe est la dominante (5-10 cm). Les arbres qui ont un diamètre supérieur à quinze (15) cm (fig.24), ne présentent qu'un faible pourcentage, ne dépassant pas 12% pour les trois bandes. L'analyse de la répartition des arbres par classe de diamètre montre que les trois bandes vertes ont une structure de jeune futaie équiennne. Pour ces trois bandes, les individus ont presque la même classe d'âge (la différence d'âge est moins de six ans). La légère différence de distribution des arbres par classes de diamètre s'explique par la pratique sylvicole appliquée sur chaque bande verte. Les services des forêts procédaient une plantation tardive de regarni au niveau de la bande verte droite (A). A cet effet, une différence d'âge entre les individus s'est produite par la dominance des très jeunes sujets ayant un diamètre inférieur à cinq (5) cm. Par contre, les deux autres bandes vertes, leurs individus ont presque la même date de plantation, ainsi ils ont le même âge presque.

### 5.5.1.2 Répartition des arbres par classes d'hauteur

Le résultat de la distribution des arbres par classes d'hauteur en m (fig.25) est donné sous forme de l'histogramme suivant :



**Figure 25: Distribution des arbres par classe d'hauteur en m dans les trois bandes vertes**

D'après l'analyse des données de la répartition des arbres par classes d'hauteur (Fig.25), on trouve que la strate microphanérophyte, dont les arbres ayant une hauteur comprise entre 2 et 8 mètres, est la strate la plus dominante. A cette strate appartient 95,6 % des sujets de la bande droite de l'aéroport, 97,7% des individus de la bande gauche et 84,4 % des arbres de la bande verte du village d'Ouadjda. Toutefois, selon **Anding et al (2017)**, La strate mésophanérophyte dont les arbres ayant une hauteur > 8 m, ne représente qu'un faible pourcentage des sujets. Est-ce le cas de notre région d'étude. A cette catégorie appartiennent 1,2 % des individus de la bande droite de l'aéroport, 0,8 % de la bande gauche et 7,4 % des arbres de la bande d'Ouadjda (fig.25).

La plantation de ces bandes vertes a été faite principalement par le *Tamarix aphylla* qui représente plus de 90% de l'ensemble des sujets plantés dans les trois bandes vertes étudiées. Les autres espèces plantées (Tab.17) ne représentent que moins de 10 % de l'ensemble des sujets plantés. De ce fait, ces bandes vertes sont plus ou moins faibles sur le plan de la biodiversité. A travers cette étude, on veut améliorer leur composition floristique ainsi que leur biodiversité, par l'utilisation des autres espèces locales et introduites, bien adaptées avec les conditions du milieu de la région d'étude. Plusieurs essences forestières ont été introduites avec réussite dans la région d'Adrar (**Ould safi et al., 20015 A**). Certaines peuvent être plantées dans les bandes vertes de la lutte contre l'ensablement (Tab.16).

**Tableau 16: Espèces introduites par l'INRF dans la wilaya d'Adrar, OULD SAFI et al., (20015)**

Espèce	Provenance	Date de plantation	Pourcentage de réussite
<i>Acacia raddiana</i>	Tamanrasset	28/01/2010	100 %
<i>Pistacia atlantica</i>	Laghouat	26/01/2010	77,88%
<i>Prosopis juliflora</i>	Djelfa	17/01/2010	89%
<i>Rhus tripartitus</i>	Tamanrasset	03/05/2011	52 %
<i>Acacia nilotica</i>	Niger	03/05/2011	63,15%

### **5.5.1.3 Corrélation [Diamètre /hauteur]**

Le coefficient de corrélation calculée  $r$  montre que la hauteur est fortement corrélée au diamètre dans les trois bandes vertes (A ; B ; C). Cela signifie que l'augmentation d'accroissement au niveau de la hauteur correspond à une augmentation d'accroissement au niveau du diamètre. Toutefois, la valeur  $r$  (0,82) de la bande verte gauche (B), est plus au moins faible par rapport à celles de la bande verte d'Ouadjda (C) et la bande verte droite (A), où  $r = 0,86$ . Cette légère différence de corrélation constatée s'explique par le manque d'irrigation constaté au niveau de la bande verte gauche par rapport aux deux autres bandes.

### **5.5.2 Cortège floristique des bandes vertes**

Les résultats des relevés floristiques, effectués dans les trois bandes vertes, sont donnés dans le tableau 17. Ils montrent que le cortège floristique des bandes vertes est assez diversifié, composé de 18 essences appartenant aux différentes familles. Quatre espèces sont communes et marquent leur présence dans les trois bandes vertes à savoir : *Tamarix aphylla* ; *Cornulaca monacantha* ; *Zygophyllum album* et *Traganum nudatum*, alors que les autres espèces leur présence est différente d'une bande à une autre. Selon le mode d'installation des espèces qui composent le cortège floristique des bandes vertes, neuf essences sont plantées et neuf autres sont installées naturellement (spontanées). En plus, quatorze espèces ayant le caractère ligneux et quatre sont herbacées.

**Tableau 17: Les espèces végétales constituant le cortège floristique des trois bandes vertes**

Bande verte		A							B					C			
Numéro de relevé		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Espèces	Familles																
<i>Tamarix aphylla</i> (*, L)	Tamaricaceae	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
<i>Phoenix dactylifera</i> (*, L)	Arecaceae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Olea europaea</i> (*, L)	Oleaceae	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Dodonaea viscosa</i> (*, L)	Sapindaceae	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cornulaca monacantha</i> (+, L)	Amaranthaceae	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
<i>Nerium oleander</i> (*, L)	Apocynaceae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Zygophyllum album</i> (+, L)	Zygophyllaceae	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0
<i>Casuarina equisetifolia</i> (* , L)	Casuarinaceae	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Vitex agnus-castus</i> (*, L)	Verbenaceae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Phragmites communis</i> (+,L)	Poaceae	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Elymus repens</i> (+,H)	Poaceae	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Traganum nudatum</i> (+,L)	Chénopodiaceae	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0
<i>Randonia africana</i> (+,H)	Résédacées	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Acacia farnesiana</i> (* , L)	Fabaceae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
<i>Farsetia aegyptiaca</i> (+,H)	Brassicaceae	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0
<i>Aristida pungens</i> (+,H)	Poaceae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Leucaena leucocephala</i> (* , L)	Fabaceae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Tamarix gallica</i> (+,L)	Tamaricaceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Nombre d'espèces par relevé		6	3	6	6	5	6	4	6	7	7	4	4	5	4	3	2

(\* ) Espèce plantée ; (+) Espèce spontanée ; (L) Espèce ligieuse ; (H) Espèce Herbacée ; (1) présence ; (0) absence.

### 5.5.2.1 Classification numériques des relevés

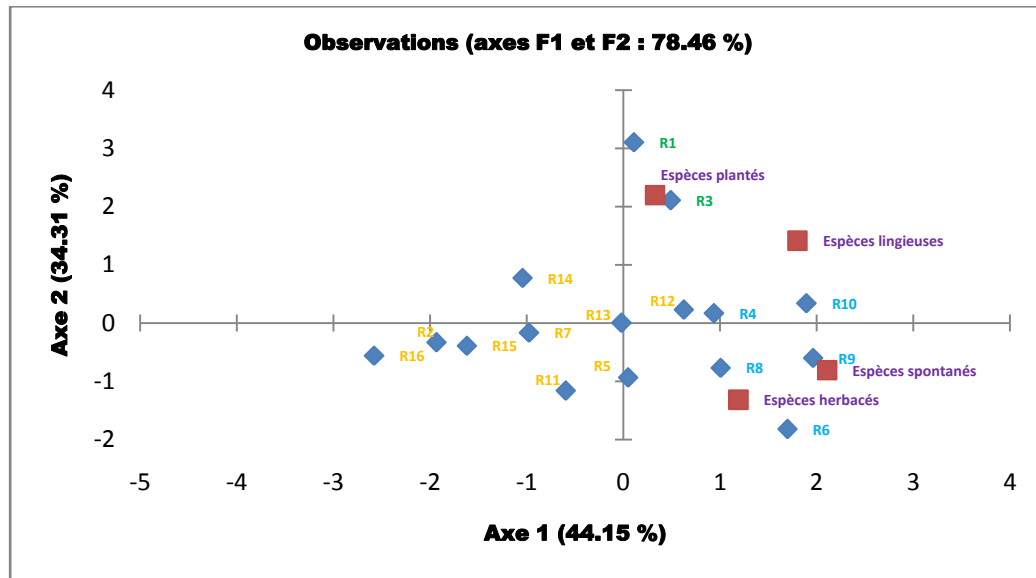
Les résultats obtenus après une série d'observations sur 3 bandes vertes étudiée, montrent une forte présence des espèces à caractère spontanés et celles à caractère ligneux qui présente respectivement des valeurs  $3,06 \pm 1,43$  et  $4,06 \pm 1,34$ . Par contre une faible présence est marquée pour les espèces à caractère planté et celles à caractère herbacé qui présentent respectivement des valeurs moyennes  $1,93 \pm 0,92$  et  $0,93 \pm 0,77$ .

### 5.5.2.2 Analyse multidimensionnelle [ACP]

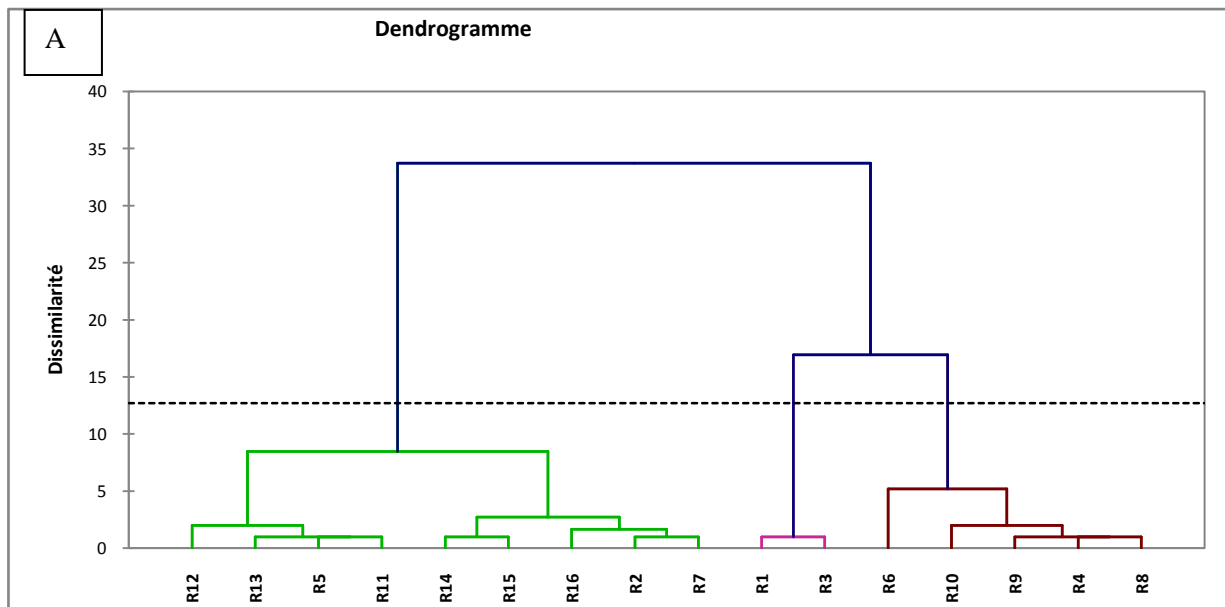
Le résultat d'analyse des composantes principales de 4 types de variables (espèce plantée, espèce spontanée, espèce ligneuse et espèce herbacée) sur 16 relevés est représenté dans la figure 26. Au total, 78,46% d'inertie est expliquée par les deux premiers axes avec respectivement : 44,15 % (Axe 1) et 34,31 % (Axe 2) de l'inertie totale.



L'analyse de la représentation des données suivant ces deux axes révèle la présence d'une corrélation positive entre les deux variables espèce ligneuse et espèce plantée d'une part et entre les deux autres (espèce spontanée et espèce herbacée) d'autre part. Cependant, une corrélation négative a été enregistré entre les deux paires des variables [espèce ligneuse/espèce plantée] et [espèce herbacée/espèce spontanée].



**Figure 26 : Présentation de la distribution des observations individuelles des relevés par l'ACP**





**Figure 27: A). Classification ascendante hiérarchique (CAH) ; B) profil des groupes**

La classification ascendante hiérarchique issue de cette ACP a permis de distinguer trois groupes de relevés (fig. 27A). Le premier groupe est constitué par deux relevés (R1 et R3). Ce groupe est riche en espèces plantées de type ligneuses (fig. 27B). En fait, ces relevés sont composés des espèces observées généralement en bordure des bandes vertes étudiées. Le deuxième groupe est composé par neuf relevés (R2, R5, R7, R11, R12, R13, R14, R15 et R16). Il se caractérise par une hétérogénéité élevée en espèces. Celle-ci s'explique par le positionnement de ces relevés au centre de bandes vertes, là où il y a un microclimat permettant l'installation de diverses espèces. Le dernier groupe renferme le reste des relevés (R4, R6, R8, R9 et R10). Il est marqué par la forte présence des espèces spontanées de type herbacée et ligneuse. Il s'agit des espèces observées sur les micro-dunes dans les bandes vertes.

La planche ci-après montre quelques espèces qui composent le cortège floristique des bandes vertes étudiées. L'aspect morphologique et la manière d'installation est différente d'une espèce à une autre.

- Le troisième et dernier groupe correspond aux relevés d'ensablement où les placettes sont bien recouvertes en sable (taux de recouvrement plus de 70%) avec une hauteur des accumulations sableuses élevée dépassant les deux mètres dans certains cas (les relevés de la bande verte de Ouadjda mentionnés en rouge sur la figure 28). Ce groupe coïncide avec des valeurs d'I.S.S élevées, et se caractérise par la présence de toutes les classes d'hauteur et de taux de recouvrement en sable.

## **6 Conclusion**

Dans la région de Gourara de la wilaya d'Adrar (Sud-Ouest algérien), les techniques de lutte contre l'ensablement se basent principalement sur des procédés ancestraux à savoir: les palissades, les murettes et les Tabias. Depuis 2007, la région a connu l'installation de plusieurs bandes vertes, réalisées par les services des forêts dans le cadre de la lutte biologique contre l'ensablement. L'étude dendrométrique montre que la structure des bandes vertes étudiées est une jeune futaie équiennne de faible diamètre d'individus, avec dominance de la strate microphanérophytes dont la hauteur des arbres est comprise entre 2 et 8 m. Les trois bandes vertes disposent d'un cortège floristique composé de 18 espèces appartenant aux différentes familles. Parmi ces essences certaines sont spontanées, car ces bandes vertes offrent un microclimat favorisant leur installation. Ces bandes vertes préservent la biodiversité floristique de cette région saharienne.

En plus de la protection contre l'ensablement et la préservation de la biodiversité, les bandes vertes jouent un rôle touristique par l'accueil du public pour passer des moments de loisir sous un espace forestier en pleine région saharienne et hyperaride.

La présente étude a permis de concevoir un nouvel indice de stabilisation du sable (ISS) afin d'évaluer l'efficacité des bandes vertes installées dans les régions arides algériennes pour de lutter contre l'ensablement. L'application de cet indice dans la région d'étude Gourara (wilaya d'Adrar, sud-ouest Algérien), a permis d'évaluer le rôle joué par les bandes vertes concernant la stabilisation de sable pour protéger les infrastructures humaines. En plus, les relevés d'ensablement de 2015 et 2018, ils ont donné deux valeurs différentes d'I.S.S. Cela signifié que

cet indice est utile pour suivre l'évolution diachronique de stabilisation de sable au niveau des bandes vertes. Toutefois, il est recommandé de tester davantage cet indice dans d'autres milieux arides et semi-arides touchés par le problème d'ensablement.

**CHAPITRE IV**  
**IMPACT SOCIO-ECONOMIQUE**  
**DE L'ENSABLEMENT SUR LA**  
**REGION DE GOURARA**

## **CHAPITRE IV : IMPACT SOCIO-ECONOMIQUE DE L'ENSABLEMENT SUR LA REGION DE GOURARA**

### **1 Introduction**

Les incidences des aléas naturels sur la vie socio-économique de l'être humain sont néfastes et multiples, surtout celles qui sont provoquées par la désertification. L'exploitation des écosystèmes d'une manière irraisonnable aboutie à l'affaiblissement de la productivité en biomasse des végétaux. Cette dernière devient minime et insuffisante pour pouvoir répondre aux besoins de l'homme et son cheptel. Du ce fait, un bouleversement de la nature se produit sous forme de désertification voire même de désertisation, qui s'achève par la perte totale des ressources naturelles et l'exode rural.

La région de Gourara de la wilaya d'Adrar (Sud-Ouest algérien), est très affectée par le problème d'ensablement. A cet effet, par le biais de ce chapitre, nous allons mettre en évidence les causes et les conséquences de ce problème, à travers une enquête réalisée sur terrain dans la région d'étude.

Les données issues de l'enquête sont organisées sous forme d'une base de données SIG, ce qui facilite la tâche des gestionnaires confrontés au problème d'ensablement pour pouvoir prendre les décisions les plus adéquates. Cette recherche est une initiation pionnière dans la région d'étude pour connaître et suivre le phénomène d'ensablement dans un contexte scientifique et académique.

### **2 Approches méthodologiques**

L'étude de l'impact socio-économique du phénomène d'ensablement dans la région de Gourara a été faite à travers une enquête réalisée sur terrain, concernant cinq communes, à savoir : Aougrou ; Timimoun ; Ksar kaddour ; Ouled Said et Tinerkouk. Dans chaque commune, nous avons rempli six fiches d'enquête concernant six localités différentes (Annexe 01). Chaque fiche d'enquête comporte un questionnaire composé par plusieurs questions portent sur les causes et les conséquences du phénomène d'ensablement. Les questions de chaque fiche d'enquête, ont été renseignées par un habitant qui connaît très bien sa localité qui est ciblée par l'enquête.

Un GPS de marque Garmin et un autre de téléphone portable ont été utilisés pour la prise des coordonnées géographiques latitude, longitude et l'altitude de chaque localité. La prise des photos a été faite en utilisant un appareil photos numérique de marque Canon

## 2.1 Traitement des données et cartographie

La réalisation de différentes cartes thématiques a été faite par l'utilisation des logiciels suivants : Arcgis, Erdas imagine, Envi. Les données issues de l'enquête font l'objet d'une base de données SIG utile pour les gestionnaires confrontés au problème d'ensablement.

Des images satellitaires ont été utilisées comme support pour élaborer certaines cartes thématiques. Par ailleurs, la réalisation de ces cartes vise à renforcer les données de l'enquête effectuée. Les images utilisées sont de type Landsat8 et Sentinel2. Ces images sont téléchargées respectivement à partir du site de l'institut américain des études géologiques « USGS » et celui de l'agence européenne spatiale.

La carte de recouvrement de la végétation du parcours de Belghazi a été réalisée en utilisant une image Sentinel2 qui comporte les caractéristiques mentionnées dans tableau ci-dessous:

**Tableau 19: Caractéristiques de l'image Sentinel2 utilisée**

Satellite	Date de prise d'image	Résolution de bandes utilisées
Sentinel2B	01.03.2018	10 m

Pour réaliser cette carte, on a utilisé l'indice **MSAVI2**. Cet indice est utilisé dans les zones de faible couvert végétal au lieu de l'**NDVI** qui peut être influencé par les variations de signature spectrale du sol **Haddouche (2009), Escadafal et Beghi (2016)**.

L'indice **MSAVI2** se calcule par la formule suivante :

$$\text{MSAVI2} = \frac{2\text{PIR}+1 - \sqrt{(2\text{PIR}+1)^2 - 8(\text{PIR}-\text{R})}}{2} \dots\dots\dots [6] \text{ (Qi et al, 1994)}.$$

Sachant que : **PIR** : représente la réflectance de la bande proche infrarouge ; **R** : représente la réflectance de la bande rouge.

L'image satellitaire Sentinel2 utilisée est prise en date du premier mars 2018 qui correspond à la période où la végétation est maximum de sa formation en biomasse. L'image a subi un traitement d'amélioration par l'élaboration d'une composition colorée de type B2. B3. B4. B8a. Cette dernière correspond respectivement aux bandes spectrales bleu, vert, rouge et infra-rouge de l'image satellitaire Sentinel2. Le choix de cette composition colorée a été fait pour pouvoir calculer l'indice **MSAVI2** d'une part et pour visualiser la végétation sur terrain d'autre part. Sous le logiciel Erdas imagine, l'image produite par ce dernier traitement a été utilisée pour produire une image de la zone de parcours de Belghazi. Ainsi, un fichier vecteur a été utilisé pour établir le masque de la zone d'étude du parcours de Belghazi. Ce masque est utilisé pour établir la carte de végétation en appliquant l'indice **MSAVI2**, et cela après la validation des résultats obtenus sur terrain.

Le reste des cartes a été réalisé en se basant sur des images satellitaires de Landsat8 qui présentent les caractéristiques mentionnées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 20: Caractéristiques des images Landsat8 utilisées**

Satellite	Date de prise d'image	Path/Raow	Résolution de bandes utilisées
Landsat8	23.06.2017	196/38	30 m
Landsat8	01.08.2017	197/39	30 m
Landsat8	03.03.2017	196/39	30 m
Landsat8	22.10.2017	195/39	30 m
Landsat8	09.08.2014	197/40	30 m
Landsat8	04.06.2016	196/40	30 m
Landsat8	26.01.2018	195/40	30 m

Les scènes téléchargées, choisies selon leur qualité atmosphérique et radiométrique, sous ENVI sont utilisées pour produire des images raster avec une composition colorée de type B5. B3. B2. Le choix de cette trichromie s'est basé sur la bonne visualisation de l'occupation du sol, notamment les zones d'ensablement. Les images raster produites ont fait l'objet d'un mosaïquage qui a donné une image raster couvrant toute la région d'étude. L'image résulte de ce mosaïquage a subi un découpage (masque) par l'utilisation d'un fichier vecteur de la région de Gourara. Il en



résulte une image synthèse qui respecte exactement les limites géographiques de la région d'étude. Cette dernière image après son amélioration radiométrique a été utilisée comme support pour la plupart des cartes de ce présent chapitre.

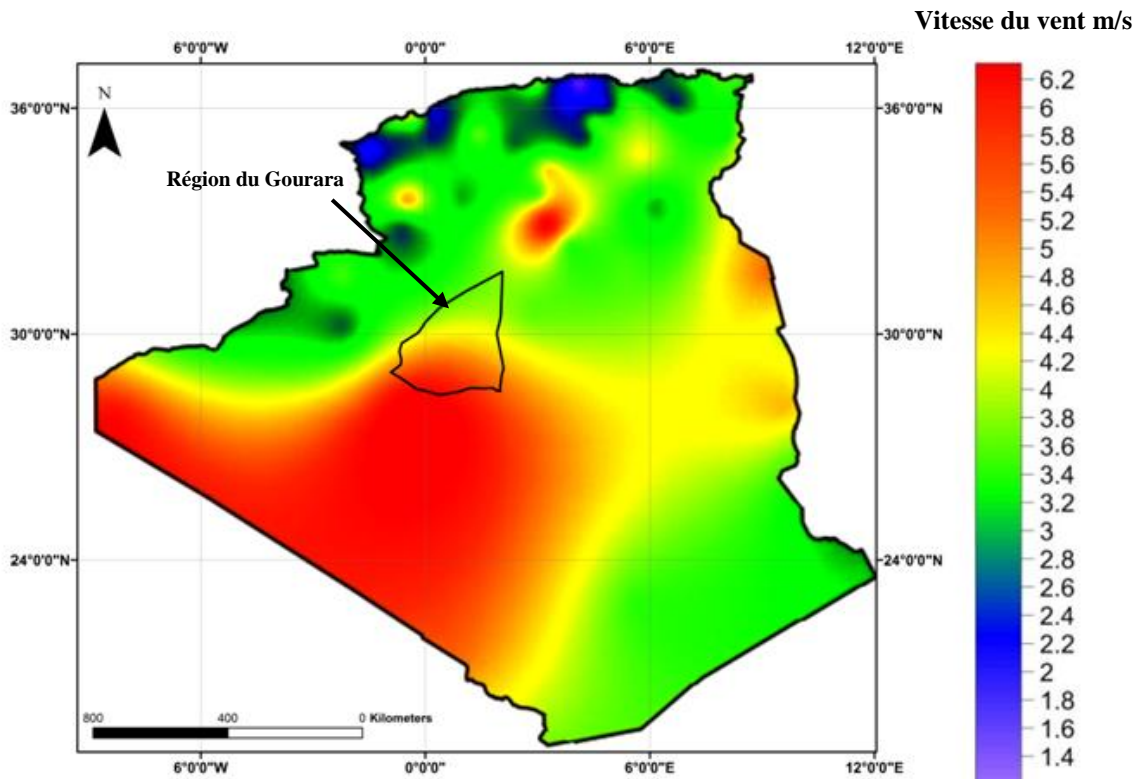
### 3 Résultats et discussions

#### 3.1 Les causes d'ensablement

L'enquête réalisée dans la région de Gourara a dévoilé plusieurs facteurs causals d'ensablement.

##### 3.1.1 Le vent de grande vitesse

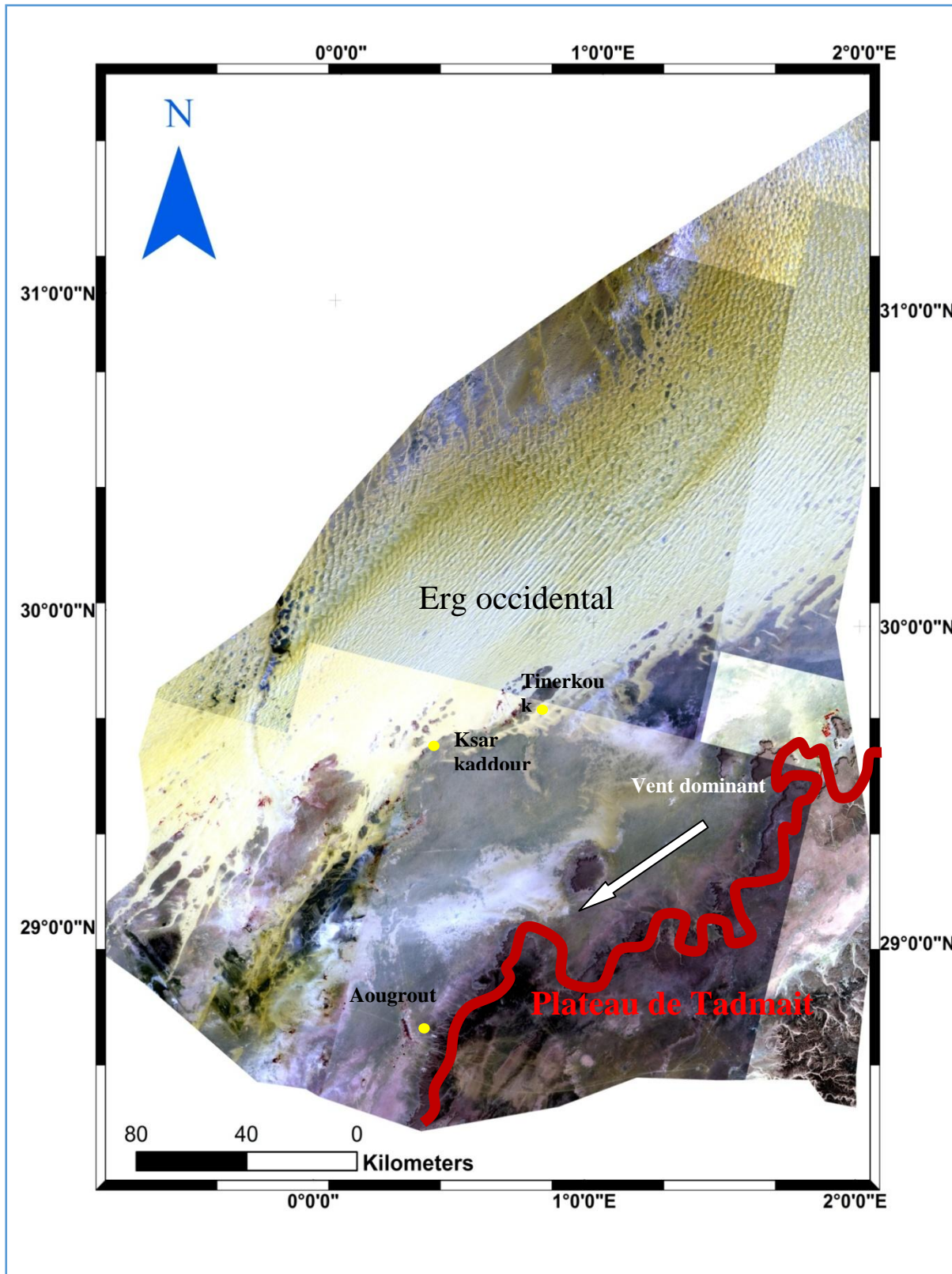
La région de Gourara se caractérise par de grandes vitesses moyennes mensuelles du vent. Elle est considérée parmi les régions algériennes de haut potentiel éolien (fig.29). Ces vitesses du vent de tous les mois sont presque des vitesses efficaces engendrant le phénomène d'érosion éolien ainsi l'ensablement. Selon Mainguet et Dumay (2006), une valeur de vitesse du vent égale ou supérieur à 4 m/s est efficace pour le déclenchement de l'érosion éolien ainsi que l'ensablement.



**Figure 29: Situation de la région de Gourara sur la carte d'Algérie des vitesses du vent (période: 2001-2010), réalisée par Boudia, (2013)**

### **3.1.2 Facteur géomorphologique**

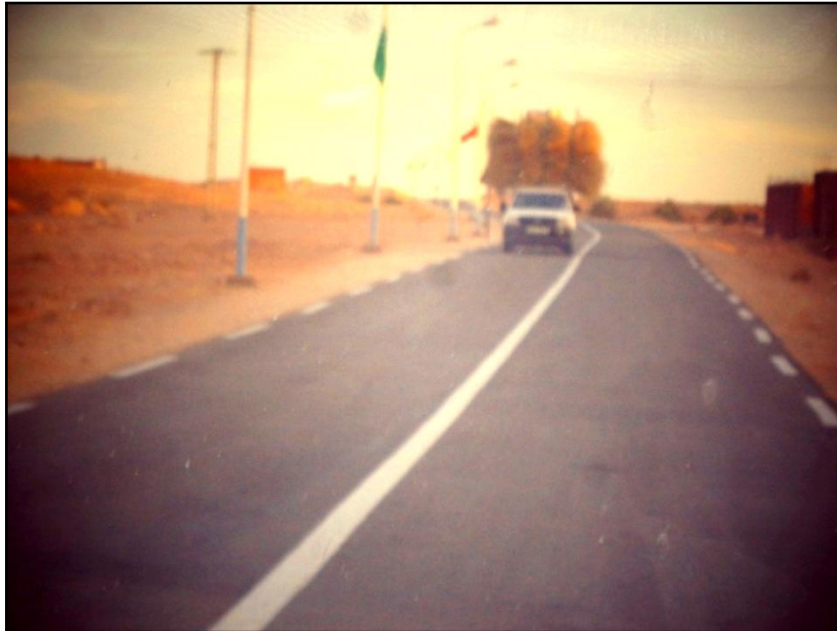
La région de Gourara se caractérise par la présence d'une grande formation dunaire qui est l'Erg occidental. Cet aspect morphologique représente la zone d'alimentation des vents en sable. Les résultats de l'enquête montrent que le facteur géomorphologique est très important pour déterminer l'intensité du phénomène d'ensablement. Les localités les plus proches de l'Erg sont les plus touchées par l'ensablement (cas de la commune de Ksar Kadour et celle de Tinerkouk), par contre les zones éloignées de l'Erg sont moins affectées par l'ensablement. C'est le cas de la commune d'Aougrout. Cette commune se particularise aussi par rapport aux autres communes de Gourara par la présence du plateau de Tademaït dans sa partie Nord-Est (fig.30). Le Tademaït joue le rôle d'un obstacle naturel contre l'avancement des vents chargés en sable provenant du Nord-Est. Ce dernier facteur met, encore une autre fois, la commune d'Aougroute à l'abri de l'ensablement.



**Figure 30: Situation géographique d'Aougrout, Tinerkouk et Ksar Kaddour par rapport au plateau de Tadmaït à l'Erg occidental**

### **3.1.3 Arrachage de la végétation spontanée**

La flore spontanée de la région de Gourara joue un rôle non négligeable dans la fixation des dunes et stabilisation de sable pris en charge par le vent. Toutes les personnes enquêtées ont déclarées que l'arrachage de la végétation spontanée est le facteur aggravant principal de l'ensablement. Cette végétation arrachée est utilisée comme fourrage pour l'alimentation du cheptel (bétails) ou bien comme bois de chauffage. Dans l'ère actuelle, ce phénomène est de plus en plus en augmentation surtout avec l'utilisation des véhicules pour le transport de la végétation arrachée (photo 12).

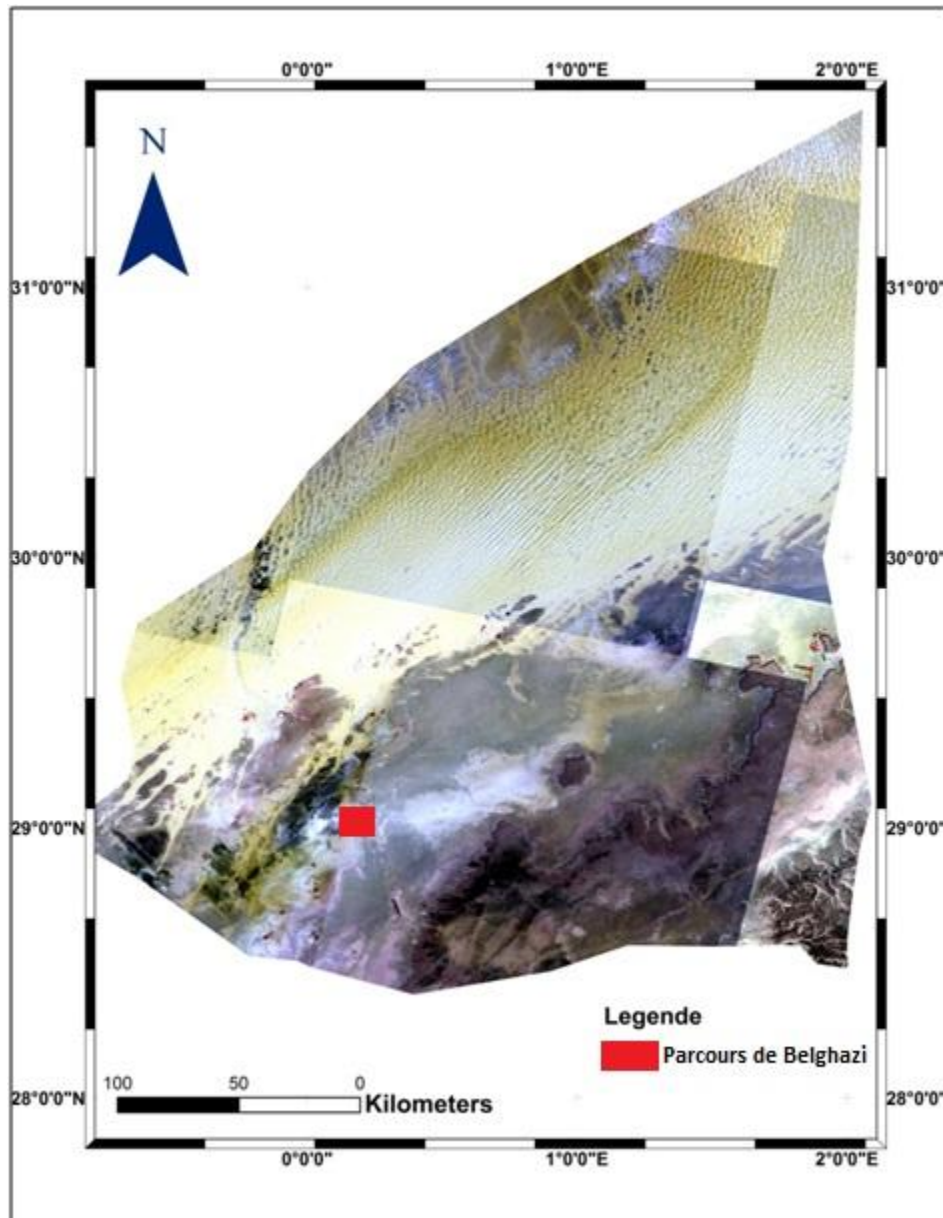


**Photo 12: Camionnette de marque « Hilux » chargée en *Aristida pungens* Ksar Kadour.**

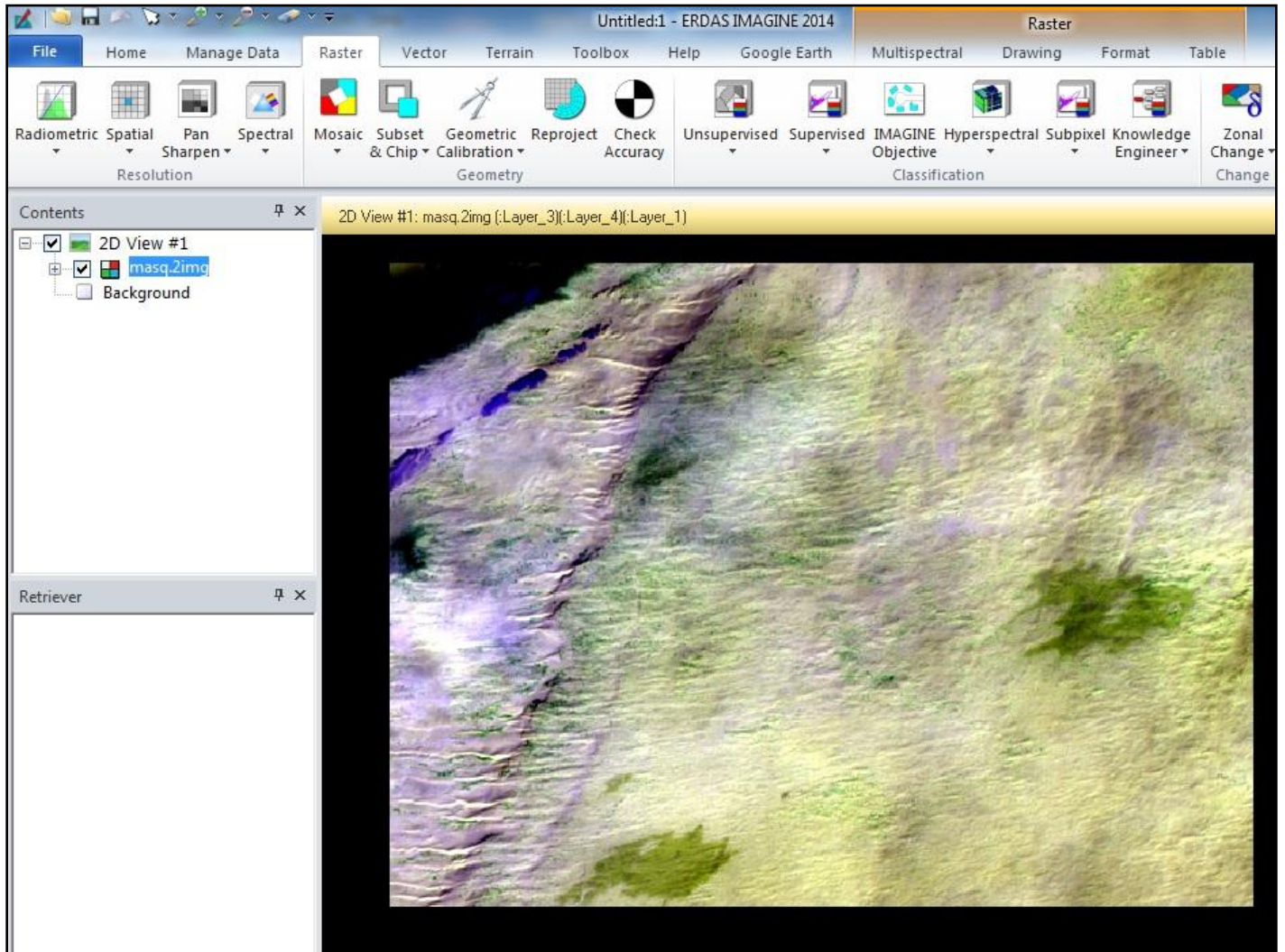
Les principales espèces concernées par l'arrachage sont :

- *Aristida pungens* appelé localement « Drin » ;
- *Calligonum azela* appelé localement « Lazal » ;
- *Retama retama* appelé localement « El rtem » ;
- *Cornulaca monacantha* appelé localement « Elhad » ;
- *Randonia africana* appelé localement « Leggdam » ;
- *Ephedra alata* appelé localement « Laalanda » ;
- *Zygophyllum album* appelée localement « Elaaggaya ».

Afin de connaître le recouvrement de la végétation spontanée fixatrice des dunes dans la région de Gourara, on a choisi le parcours de Belghazi (fig.31 et 32) comme cas d'exemple. Il s'agit de vastes superficies occupées par plusieurs espèces végétales spontanées fixatrices des dunes et stabilisatrices de sable pris en charge par le vent. La végétation de parcours de Belghazi est composée par huit espèces végétales xérophiles bien adaptées aux conditions sahariennes.

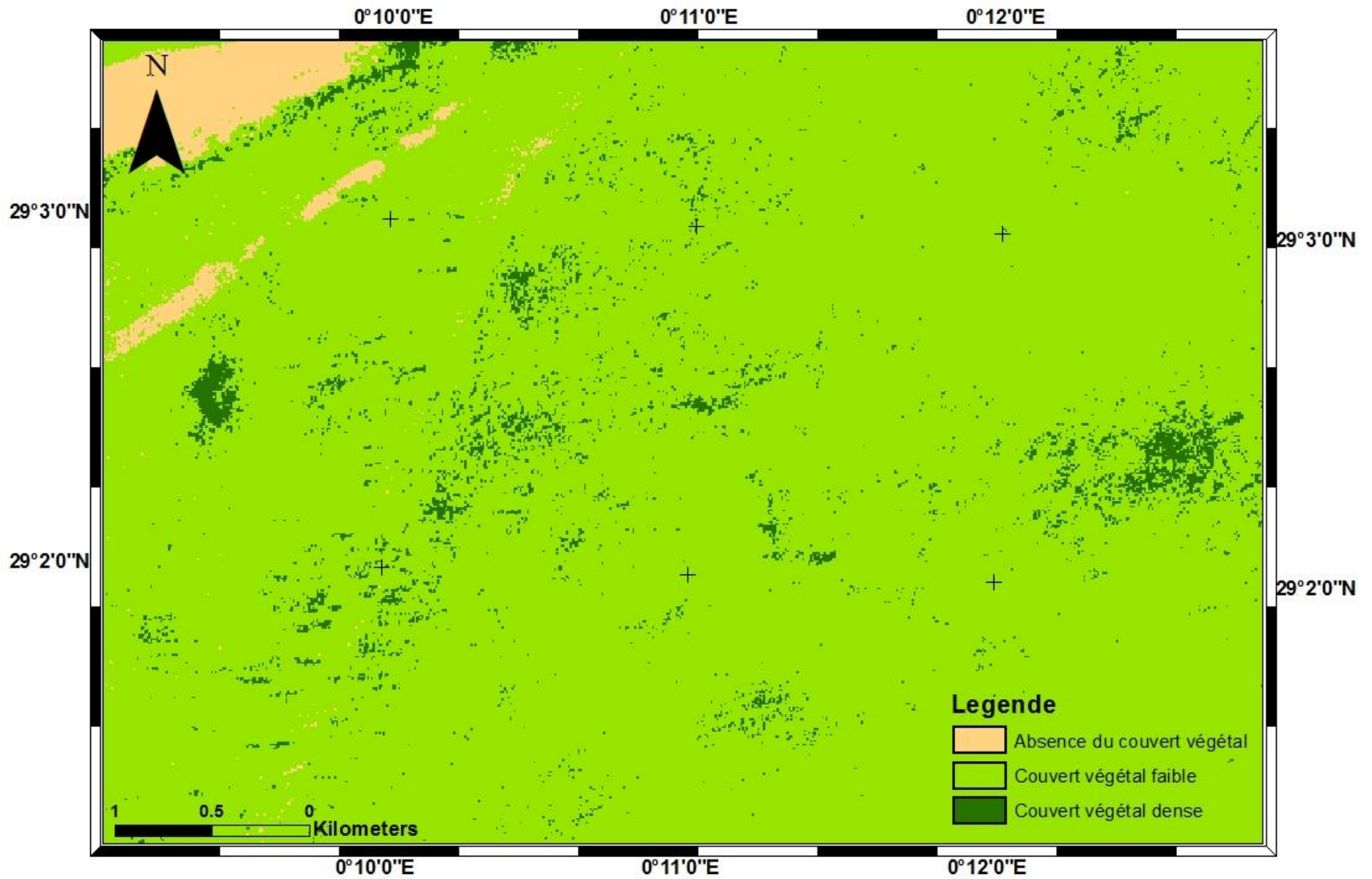


**Figure 31: Situation géographique de parcours de Belghazi**



**Figure 32: Image satellitaire Sentinel2 montrant le parcours de Belghazi sous Erdas imagine**

Pour estimer le taux de recouvrement de la végétation de parcours de Belghazi, on a utilisé l'indice **MSAVI2** afin d'établir la carte de taux de recouvrement de la végétation spontanée (fig.33).



**Figure 33: Carte du recouvrement de la végétation du parcours de Belghazi après application de l'indice MSAVI2 (01.03.2018)**

Les résultats obtenus montrent que les sols occupés par le couvert végétal dense représentent 91,27 ha (3,4 %), les sols occupés par le couvert végétal faible représentent 2486,77 ha (93,3 %), alors que les sols dépourvus de végétation représentent 87,95 ha (3,3%). En général, le couvert végétal est faible dans le parcours de Belghazi. En fait, ce caractère est la spécificité de la végétation spontanée de toute la région de Gourara. Cette végétation est de type saharien d'endémisme élevé et bien adaptée avec les conditions hyperarides. Malgré le faible taux du recouvrement des végétaux de la région de Gourara, toutefois celui-ci joue un rôle important dans la fixation des dunes (un système racinaire développé) et la stabilisation de sable pris en charge par le vent. Après la validation sur terrain des résultats obtenus de l'MSAVI2, cet indice a permis d'exprimer la réalité du couvert végétal du parcours de Belghazi.

Afin de préserver la végétation spontanée de la région de Gourara il faudrait prendre en considération les points suivant :

- La connaissance de cette végétation par la procédure des études à différentes échelles, phytoécologie, phytosociologie, dynamique de végétation ...etc.;
- La mise en défens des zones peuplées par cette végétation contre toutes les formes de dépassement ;
- L'installation et la subvention de la culture fourragère pour satisfaire les besoins du cheptel de la région à travers un programme bien étudié. De ce fait, le recours à la végétation spontanée deviendra non justifié.

#### **3.1.4 Ramassage du gravier**

Selon l'enquête réalisée, le ramassage du gravier est l'un des facteurs aggravant de l'ensablement. Cette pratique est largement répandue dans la région d'étude. Il s'agit d'enlever la couche superficielle du sol formée par le gravier, en laissant la couche sous-jacente, qui est du sable, exposée à l'érosion éolienne. Cette dernière devient facile d'être arrachée par la moindre vitesse du vent. Le ramassage du gravier est exercé par les gens comme source de revenu, vu le chômage et la pauvreté qui touchent la région.



### **3.1.5 Nature du sol**

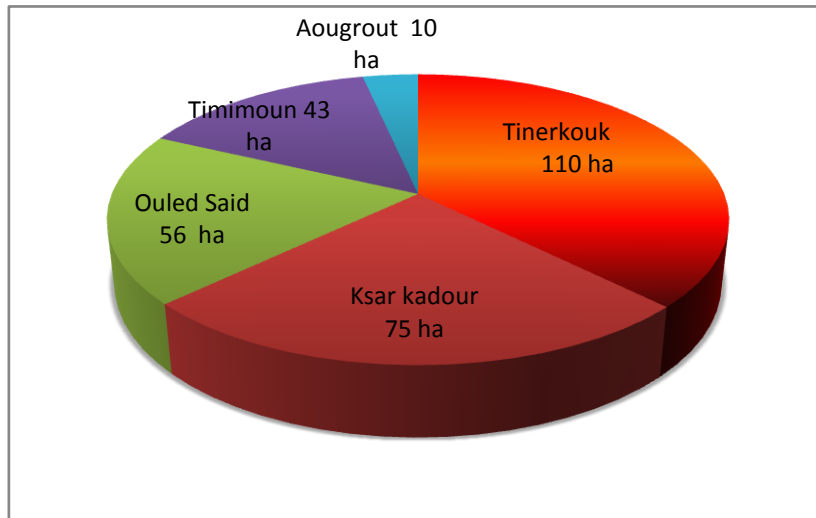
A la lumière de l'investigation réalisée sur terrain, la quasi-totalité des sols de la région d'étude est de texture sableuse, facile d'être transporté avec les plus faibles vitesses du vent. Cependant, l'origine du sable, sa texture, sa sédimentologie et sa composition chimique restent inconnus, malgré que ces éléments sont nécessaires de les connaître pour pouvoir comprendre et expliquer la dynamique éolienne de la région. A cet effet, il serait très utile de conduire d'autres travaux de recherche portant sur l'étude des éléments cités précédemment.

### **3.2 L'impact socio-économique de l'ensablement sur la région de Gourara**

Dans le même contexte de l'enquête en question, une bonne partie a été réservée aux impacts socio-économiques du phénomène étudié. Les incidences constatées dans les cinq communes concernées par l'enquête sont principalement les terrains agricoles ensablés, les routes ensablées, les habitats ensablés et l'exode rural.

### **3.3 Les terrains agricoles ensablés**

La région de Gourara est connue par ses terrains agricoles productifs. La production agricole est très diversifiée représentée principalement par la phœniciculture, les céréales et le maraichage. Dans cette région l'ensablement a dégradé au fil de temps des superficies importantes de terres agricoles. Les résultats de l'enquête (fig.34) menée sur terrain montrent que Tinerkouk est la commune la plus touchée par la dégradation des terres agricoles (phot.13) sous l'effet d'ensablement avec 110 ha, suivi par Ksar kadour avec 75 ha, Ouled Said 56 ha, Timimoun 43 ha et Aougrouit 10 ha.



**Figure 34: Répartition des terrains agricoles ensablés par communes en hectare selon l'enquête réalisée**

Dans toute la région de Gourara, la majorité des terrains agricoles ensablés font partie des anciens périmètres (les oasis) dont l'irrigation est assurée par « la Foggara ». Les terrains de mise en valeur sont moins affectés par l'ensablement, ça s'explique par le bon choix de leur emplacement. Cependant, dans le passé le point d'apparition de la Foggara en surface de terre est celui qui déterminait l'emplacement de terrains agricoles (même dans les zones de risque d'ensablement élevées).

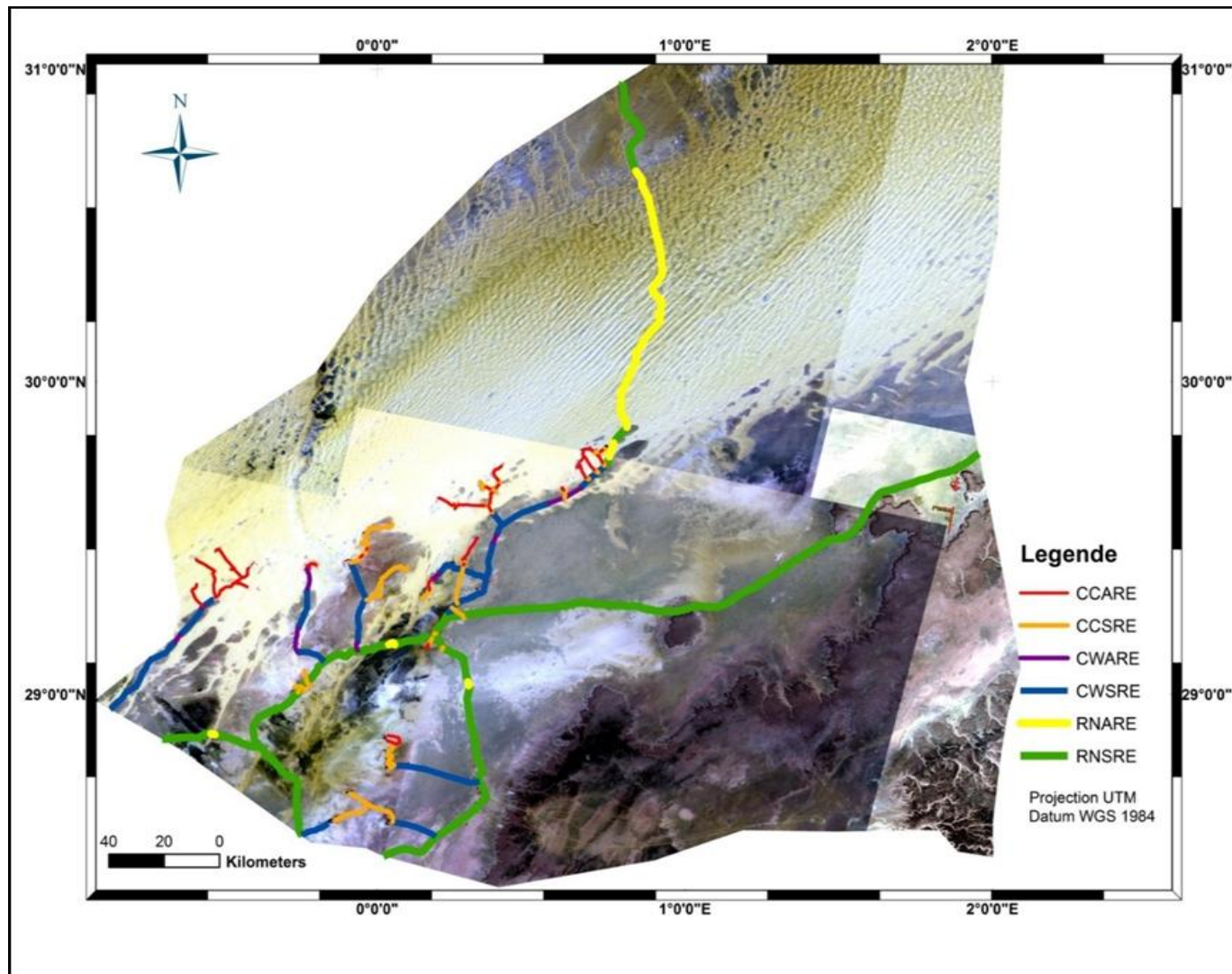


**Photo 13: Terrain agricole totalement ensablé « Tinerkouk »**

### **3.3.1 Les routes ensablées et mise en valeur**

Les localités de Gourara sont très dispersées les unes des autres. A cet effet, les voiries sont les veines de vie de cette région, puisqu'elles jouent un rôle primordial pour maintenir la vie de la population locale. Néanmoins, une bonne partie des routes dans cette région sont dégradées sous l'effet d'ensablement. L'enquête réalisée, nous a permis d'estimer 99 km de routes ensablées à la commune de Ksar Kaddour, 96 km à Tinerkouk, 41 km à Timimoun, 17 km à Ouled Said et 0 km de routes ensablées à Aougrouit. L'ensablement des routes peut être partial ou bien complet. Ce dernier, aboutit dans certains cas à l'enclavement de certaines zones qui restent isolées pendant une longue durée.

Afin d'avoir une idée exhaustive sur l'état d'ensablement des routes de toute la région d'étude, on a établi une carte (fig.35) qui met en évidence leur situation vis-à-vis de ce problème. Les routes concernées sont de trois catégories, à savoir : les routes nationales, les chemins de wilaya et les chemins communaux. Pour réaliser la carte en question, on a eu le recours à l'utilisation des données satellitaires de Landsat8 comme support pour la numérisation des différents types de routes, en se basant sur des connaissances préalables de terrain (service de développement des voiries, direction des travaux publics d'Adrar).



**CCARE** : chemin communal avec risque d'ensablement ;  
**CCSRE** : chemin communal sans risque d'ensablement ;  
**CWARE** : chemin de wilaya avec risque d'ensablement ;  
**CWSRE** : chemin de wilaya sans risque d'ensablement ;  
**RNARE** : route nationale avec risque d'ensablement,  
**RNSRE** : route nationale sans risque d'ensablement

**Figure 35: Carte de l'état d'ensablement des routes de la région de Gourara**

Les résultats obtenus de la carte de l'état d'ensablement des routes de la région de Gourara se présentent en tableau ci-dessous :

**Tableau 21 : Etat d'ensablement des routes de la région de Gourara**

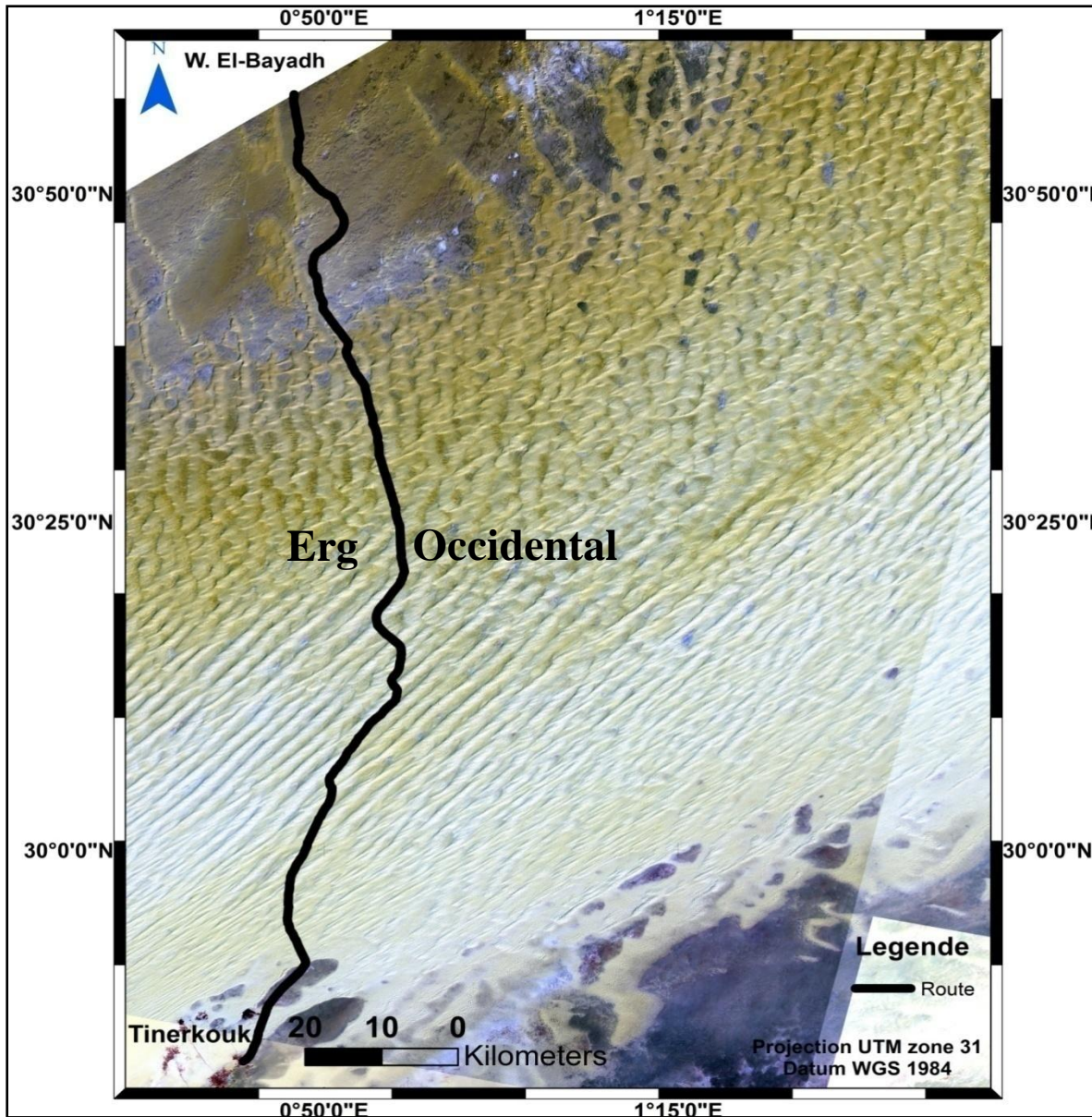
Catégorie de la route	Sans risque d'ensablement	Avec risque d'ensablement	Total
Route nationale	496 km	108 km	604 km
Chemin de wilaya	249 km	38 km	287 km
Chemin communal	141 km	151 km	292 km

A la vue de tableau 21, on trouve que les chemins communaux ce sont les plus touchés par l'ensablement avec 151km affectés qui représentent 51% des routes de cette catégorie. Par ordre moins, 108 km des routes nationales soit 17,8% de cette catégorie sont avec risque permanent d'ensablement. Toutefois, les chemins de wilaya sont moins touchés par le fléau d'ensablement par rapport aux autres catégories. De ce fait, on trouve 38 km qui sont touchés par l'ensablement soit 1,3% de cette catégorie de routes.

Quel que soit la catégorie de la route, les tronçons affectés par l'ensablement ont besoin de protection permanente. Pour cela, des mesures de lutte contre l'ensablement doivent être prises en considération. Il s'agit généralement des techniques mécaniques (la palissade et la maille plastique), biologique (plantation) et aérodynamique (Drâa).

#### **4. Protection et mise en valeur intégrée de la route transsaharienne Tinerkoug El-Bayadh**

La route transsaharienne Tinerkoug El-Bayadh a été mise en œuvre en 2012. Elle est de catégorie nationale non classée. Elle relie la commune de Tinerkoug (wilaya d'Adrar) à la wilaya d'El-Bayadh sur une distance de 553 km dont 104 km traversent les dunes géantes de l'Erg occidental (fig.36). La route en question actuellement est devenue l'artère de vie pour toute la wilaya d'Adrar, alors que son ensablement (Photo14) abouti à l'enclavement de toute la région, aux accidents de circulation mortels qui sont constaté annuellement et à la perte économique à cause de la rupture de transport de la marchandise.



**Figure 36: Carte la route transsaharienne Tinerkouk El-Bayadh**



**Photo 14: Ensablement de la route transsaharienne Tinerkouk El-Bayadh**

La route transsaharienne Tinerkouk El-Bayadh offre un raccourci pour la région de Gourara estimé de 300 km de moins pour rejoindre les régions du nord, par rapport aux routes passant par Bechar et par Ghardaia. Vu l'importance de cette route, on veut proposer par le biais de ce présent travail une solution de sa protection contre l'ensablement avec une mise en valeur intégrée.

La protection proposée se base sur l'installation des techniques mixtes mécaniques et biologiques. Pour ce faire, on doit planter de part et d'autre de la route des bandes vertes toute en commençant par l'installation des palissades, de mailles plastiques et de palmes sèches. Les espèces à planter doivent être bien adaptées avec les conditions sahariennes et dunaires.

Pour réaliser cette protection, plusieurs études doivent être effectuées pour assurer la réussite de ce projet. Les études concernées sont :

- Etude du milieu (géologie, sol, climat, faune, flore...etc.) ;
- Etude géomorphologique (typologie des dunes, profile topographique des dunes, ...etc.) ;
- Etude de la dynamique éolienne (déplacement potentiel de sable) ;

- Etude hydrogéologique et hydraulique (installation des forages d'eau, système d'irrigation approprié, matériel d'irrigation...etc.),
- Etude sylvicole (espèces à planter, technique de plantation, conduite et entretien de plantation) ;
- Etude environnementale (impacte environnementale de projet) ;
- Etude économique (le cout de réalisation et entretien de projet).

A l'échelle internationale, la route la plus longue au monde qui traverse les dunes de sable (446 km) se trouve dans le désert chinois de Taklamakan. Afin de protéger cette route contre l'ensablement, les chinois ont appliqué des techniques mixtes mécaniques et biologiques (palissade et plantation) (photo15).



**Photo 15: Protection contre l'ensablement de la route du désert de Taklamakan en Chine**

**(Source : [hiddenunseen.blogspot.com](http://hiddenunseen.blogspot.com))(2018)**

On peut inspirer de cet exemple international de protection des routes contre l'ensablement des idées utiles pour notre cas de la route transsaharienne Tinerkouok El-Bayadh.



La mise en valeur qu'on veut proposer à travers ce travail concerne les bandes vertes à planter. La plantation de ces bandes vertes doit comporter des espèces d'intérêt fourrager servant comme support alimentaire pour la faune sauvage qui peuple les zones traversées par la route. De ce fait, les bandes vertes vont jouer deux rôles à la fois, la protection contre l'ensablement d'une part et l'alimentation de la faune sauvage d'autre part.

Plusieurs espèces animales (certaines espèces sont menacées d'extinction) ont été constatées dans les zones de l'Erg occidental traversées par la route transsaharienne Tinerkouk El-Baydh. Parmi ces espèces on peut citer à titre d'exemple :

- La gazelle ;
- Le fennec ;
- L'hérisson !
- Le chacal ;
- Le renard ;
- Le fouette que ;
- Le varan de désert ;
- Le lièvre sauvage.

Malgré les avantages qu'elle offre la route transsaharienne Tinerkout El-Bayadh, cependant il est très utile de signaler un inconvénient important de son ouverture qui est la facilitation du braconnage. Alors, un nombre important d'individus des animaux est abattu annuellement. Auparavant le braconnage était banal vu l'accès difficile à ces zones de l'Erg. Pour cette raison la plantation des bandes vertes de part et d'autre de cette route est un appui pour la préservation de la faune sauvage saharienne de la région de Gourara.

Dans le même contexte de la mise en valeur intégrée de projet de protection de la route transsaharienne contre l'ensablement par plantation, on propose l'installation d'un centre cynégétique à Tinerkouk. Ce centre s'occupera du développement et de la protection de la faune sauvage de la région de Gourara notamment celle de l'Erg occidental. Ce même centre se chargera de l'étude de l'impact de projet en question sur la faune sauvage des zones de l'Erg occidental traversées par la route transsaharienne Tinerkout El-Bayadh.

### **3.3.2 L'ensablement des habitats**

A la lumière des résultats issus de l'enquête, l'ensablement affecte un nombre important des habitations dans la région d'étude. A Timimoun 131 habitats ensablés ont été constatés, suivi par Ksar Kaddour avec 130 habitats, Tinerkouk 123 habitats et 96 habitats ensablés ont été constatés à Ouled Said. Cependant, à Aougroute aucun habitat ensablé n'a été constaté. Plusieurs habitats sont menacés (Photo 16) par l'ensablement dans la région d'étude vu la cadence accélérée de ce phénomène.



**Photo 76: Habitat menacé par l'ensablement village de « Tganet », « Ksar Kaddour »**

### **3.3.3 L'exode rural**

L'ensablement des terrains agricoles, des routes et des habitations pousse les gens à quitter leur village pour s'implanter dans les villes, ce qui fait un déséquilibre entre la société urbaine et celle rurale. Les résultats globaux de l'enquête montrent que Ksar Kadour est la commune la plus touchée par l'exode rural avec un pourcentage de 3,1 % par rapport à sa population totale, suivi par la commune d'Ouled Said avec un pourcentage de 2,5 %, 1,5 % pour Tinerkouk, 0,8 % pour Timimoun. Toutefois la commune d'Aougroute reste intacte vu l'exode rural ( tab.22)

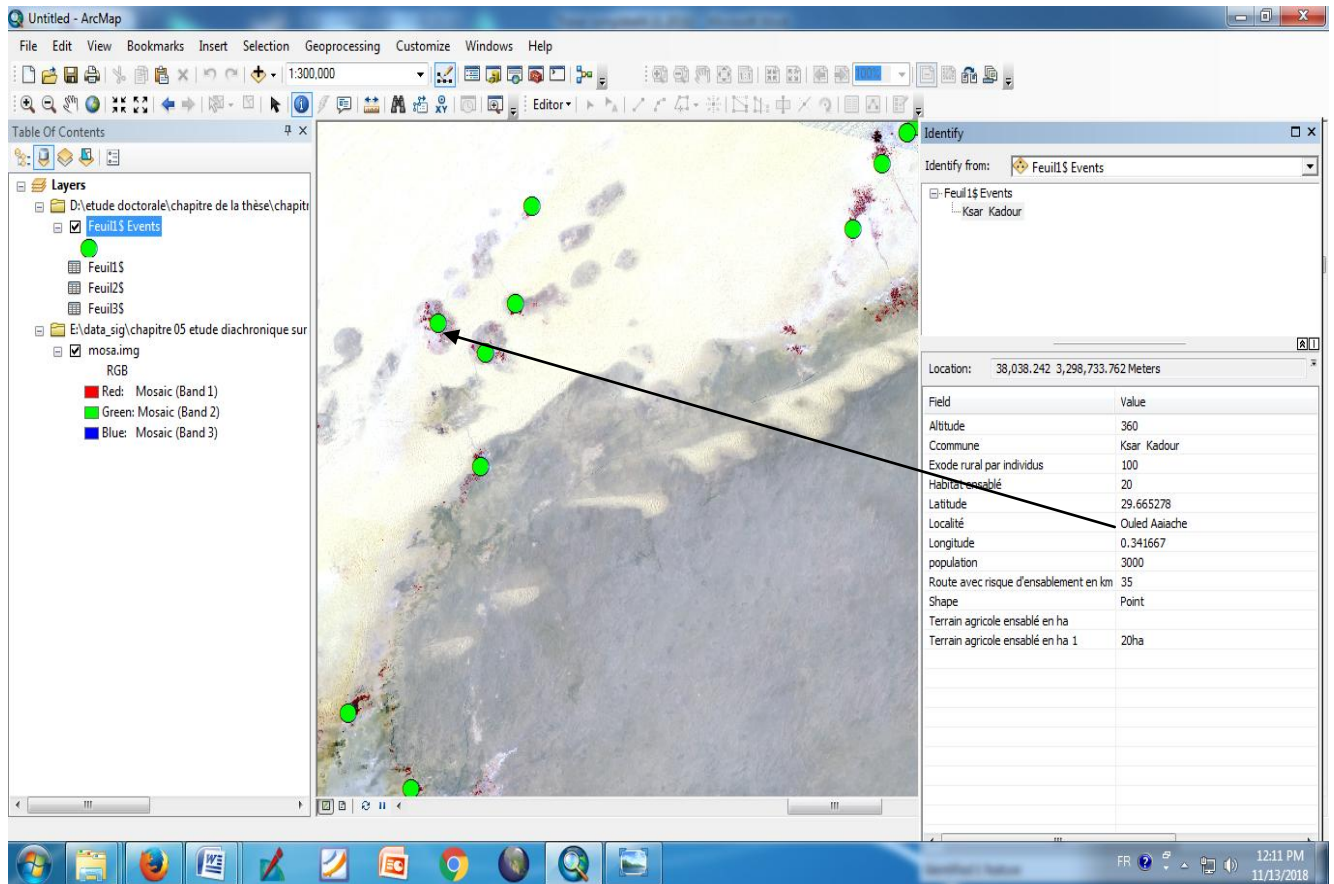
**Tableau 22: L'exode rural par individus dans les communes concernées par l'enquête**

<b>Commune</b>	<b>Nombre d'habitants</b>	<b>Exode rural par individus</b>
Tinerkouk	15980	250
Ksar kadour	4742	150
Ouled said	8219	205
Timimoun	33060	255
Aougrouit	11 784	0

### **3.4 La base de données SIG d'ensablement**

Les données récoltées de l'enquête font l'objet d'une base de données SIG. Sur Excel ces données sont organisées en deux catégories d'informations. Les informations géographiques (longitude et latitude) et les informations d'ensablement, précisément les conséquences (Annexe 2).

La carte des localités d'enquête sur Arcgis, est reliée à sa base de données SIG (fig.37). Une fois on clique sur n'importe localité, s'affichera un tableau qui comporte ses propres informations d'ensablement. L'objectif principal de la réalisation de cette base de données est de faciliter la tâche des gestionnaires confrontés au problème d'ensablement.



**Figure 37: Exemple de la base de données SIG de localités concernées par l'enquête d'ensablement.**

#### **4 Conclusion :**

A la lumière de l'investigation réalisée à travers cette étude, les causes du phénomène d'ensablement dans la région de Gourara sont de différentes origines.

Les facteurs causals d'origine naturelle sont :

- Le vent de grandes vitesses qui caractérise la région ;
- La présence de L'Erg occidental qui représente la zone d'alimentation principale du vent en sable.

Concernant les causes d'origine anthropique, deux facteurs ont été constatés :

- L'arrachage de la végétation spontanée ;
- Le ramassage du gravier laissant les sols exposés au vent.

Dans le même contexte de cette étude, plusieurs dégâts occasionnés par l'ensablement ont été enregistrés, à savoir :

- L'ensablement des terrains agricoles productifs, sachant que la commune de Tinerkouk est la plus touchée (110 ha) par rapport aux autres communes concernées par l'enquête ;
- L'ensablement des routes qui est largement constaté surtout sur les chemins communaux. En plus des résultats de l'enquête, la carte d'état d'ensablement des routes de la région de Gourara a montré que ce fléau affecte 51% des chemins communaux, 17,8% des routes nationales et 1,3% des chemins de wilaya,
- L'ensablement des habitats, là où on trouve la commune de Timimoun est la plus touchée par rapport aux autres communes concernées par l'enquête. Par ailleurs, la commune d'Aougroust reste intacte vis-à-vis d'ensablement des habitats ;
- L'exode rural qui est la résultante de la dégradation du milieu de vie humaine sous l'action d'ensablement. Les résultats de l'enquête dévoilent que la commune de Ksar Kadour est la plus touchée par l'exode rural. Au cours de 30 dernières années. Cette commune a perdu 3,1% de sa population. Par contre, la commune d'Aougroust n'a enregistré aucun cas d'exode rural sous l'action d'ensablement.

**CHAPITRE V**  
**IMPACT ECOLOGIQUE DE**  
**L'ENSABLEMENT: CAS DE LA**  
**ZONE HUMIDE OULED SAÏD**

## **CHAPITRE V : IMPACT ECOLOGIQUE DE L'ENSABLEMENT: CAS DE LA ZONE HUMIDE OULED SAÏD**

### **1 Introduction**

Les zones humides à l'échelle mondiale représentent les entités les plus importantes pour la survie de l'humanité. Sur le plan de la biodiversité, ces zones humides sont les plus riches en espèces flore et faune. Elles sont les écosystèmes du globe terrestre les plus productifs, alors que plusieurs services écosystémiques sont fournis par ces zones humides au profit de l'être humain. Parmi ces services, on peut citer à titre d'exemple l'eau douce, aliments bio, lieu de loisir, préservation du climat...etc. Toutefois, les zones humides à l'échelle internationale subissent plusieurs enjeux de dégradation notamment ceux posés par les changements climatiques et la pression démographique.

Selon **Ramsar (2015)**, l'Algérie a recensé 1451 dont 762 sont naturelles et 689 artificielles. Leur répartition géographique se constate sur différents écosystèmes, marins, forestiers, steppiques et sahariens.

En région de Gourara, l'oasis d'Ouled Saïd est une zone humide artificielle créée par l'homme grâce au système traditionnel d'irrigation la « Foggara ». Cet écosystème saharien est composé principalement par le palmier dattier, associé avec d'autres espèces végétales et animales. La zone humide Ouled Saïd est classée sur la liste Ramsar comme site d'importance internationale. Elle remplit plusieurs rôles à différent niveaux, tels que : l'accueil des oiseaux migrateurs, la production d'aliments bio issus de variétés locales source d'eau de qualité, lieu touristique de qualité...etc.

Malgré l'importance de cette zone humide, sa situation est en déclin continue à cause de problème d'ensablement. Pour mettre en évidence la dynamique de la régression de cet écosystème, on a utilisé à travers ce chapitre des données satellitaires permettant un suivi diachronique de l'évolution de l'état de cette zone humide au cours des dernières années.

## **2 Généralité sur les zones humides**

### **2.1 Définition de la zone humide**

Selon la convention Ramsar, les zones humides sont des « étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres » (**Ramsar.2013**). En général, on entend par la zone humide un lieu dans lequel l'eau est l'élément le plus remarquable de l'environnement. Cette eau peut être d'origine marine, sous terraine, eau de précipitation, eau de fleuve...etc. Par conséquent, les zones humides sont des milieux vitaux là où la faune et la flore trouvent le maximum de conditions favorables pour qu'ils puissent y vivre.

### **2.2 L'importance des zones humides**

Les zones humides sont des réservoirs de la biodiversité. Car, elles offrent l'alimentation, et les habitats de reproduction, de nidification et d'hivernage, pour plusieurs espèces animales. D'après **Ramsar (2016)**, plus d'un milliard de personnes dépendent des zones humides en leurs moyens d'existence. Les zones humides jouent des rôles importants par les services qu'elles offrent, tels que :

- Le stockage et l'alimentation en eau de qualité ;
- L'amélioration de qualité du climat par l'atténuation de la sécheresse, la diminution de température, l'absorption des gazes à effet de serre ...etc. ;
- La production des aliments bio d'origine végétale et animale ;
- L'offre d'un habitat adéquat pour les espèces faune et flore ;
- La protection contre l'érosion et les inondations ;
- La diversification de l'économie des régions dans lesquelles existent les zones humides, par le tourisme notamment l'éco-tourisme.

### **2.3 La convention Ramsar sur les zones humides**

La convention Ramsar sur les zones humides est un traité intergouvernemental adopté le deux février 1971 dans la ville Iranienne Ramsar, d'où la convention a pris son nom. Cette convention



a pour mission « La conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides par des actions locales et nationales et par la coopération internationale, en tant que contribution à la réalisation du développement durable dans le monde entier » (**Ramsar, 2016**). D'après ce dernier auteur, en 2016, 169 pays sont devenus parties contractantes à la convention et plus de 2220 zones humides (couvrants 214 millions d'hectares) d'importance internationale sont inscrites sur la liste Ramsar. Pour l'identification des zones humides d'importance internationale, la convention Ramsar adopte neuf critères qui sont motionnés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 23: Les critères d'identification des zones humides d'importance internationale selon la convention Ramsar (Ramsar, 2013)**

<b>Groupe des critères</b>	<b>Critères spécifiques</b>	<b>Critères d'identification</b>
<b>Groupe « A »</b> Sites contenant des types de zones humides représentatifs, rares ou uniques		<b>Critère 1:</b> une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale, si elle contient un exemple représentatif, rare ou unique de type de zone humide naturelle ou quasi naturelle de la région biogéographique concernée.
	Critères tenant compte des espèces ou des communautés écologiques	<b>Critère 2:</b> une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale, si elle abrite des espèces vulnérables, menacées d'extinction ou gravement menacées d'extinction ou des communautés écologiques menacées.
<b>Critère 3:</b> une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite des populations d'espèces animales et/ou végétales importantes pour le maintien de la diversité biologique d'une région biogéographique particulière.		
<b>Critère 4:</b> une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite des espèces végétales et/ou animales à un stade critique de leur cycle de vie ou si elle sert de refuge dans des conditions difficiles.		
<b>Groupe « B »</b> Sites d'importance internationale pour la conservation de la diversité biologique	Critères tenant compte des oiseaux d'eau	<b>Critère 5:</b> une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite, habituellement, 20 000 oiseaux d'eau ou plus.
		<b>Critère 6:</b> une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite, habituellement, 1% des individus d'une population d'une espèce ou sous-espèce d'oiseau d'eau.
		<b>Critère 7:</b> une zone humide devrait être considérée

	Critères tenant compte des poissons	comme un site d'importance internationale si elle abrite une proportion importante de sous-espèces, espèces ou familles de poissons indigènes, d'individu à différents stades du cycle de vie, d'interactions interspécifiques et/ou de populations représentatives des avantages et/ou des valeurs des zones humides et contribue ainsi à la diversité biologique mondiale.
		<b>Critère 8:</b> une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle sert de source d'alimentation importante pour les poissons, de frayère, de zone d'alevinage et/ou de voie de migration dont dépendent des stocks de poissons se trouvant dans la zone humide ou ailleurs.
	Critères tenant compte d'autres taxons	<b>Critère 9:</b> une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite régulièrement 1 % des individus d'une population d'une espèce ou sous-espèce animale dépendant des zones humides mais n'appartenant pas à l'avifaune.

Selon **Ramsar (2016)**, pour inscrire un site comme zone humide d'importance internationale, il doit remplir au moins un des neuf critères d'identification cités en tableau précédent. En quatrième session de la conférence des parties contractantes en Suisse 1990, il y a eu l'adoption d'un système de classification des types de zones humides. Ce système a identifié quarante-deux types de zones humides regroupés en trois catégories, à savoir : les zones humides côtières et marines, les zones humides continentales et les zones humides artificielles.

L'Algérie a adhéré à la convention Ramsar sur les zones humides en date de novembre 1982 (**DGF, 2016**).

### **3 Les zones humides algériennes**

L'Algérie compte 1451 zones humides de différents types (tab.24) dont 50 sites sont d'importance internationale et inscrits sur la liste Ramsar (**Ramsar, 2015**). La plupart des zones humides algériennes sont de catégories continentales, sont plus nombreuses au Nord notamment à l'Est (**Saifouni, 2009**). Cette situation des zones humides en Algérie est déterminée par le facteur climatique. Au Nord du pays, les précipitations sont importantes, alors que les zones humides qui s'y trouvent sont des plaines d'inondation, des marais et lacs d'eau douce, des

sebkhas d'eau salée...etc. Dans les zones steppiques, les zones humides de ces régions sont généralement des sebkhas, des lacs salés et chotts de faibles profondeurs. En régions sahariennes là où les précipitations sont très faibles, les zones humides constatées principalement sur les lits d'oued, sous forme d'oasis et Guelta. Vu les conditions désertiques sévères qui règnent dans le Sahara algérien, ses zones humides ayant une importance particulière pour préserver la biodiversité saharienne faune et flore, sans oublier leur rôle primordial concernant l'accueil des oiseaux migrateurs.

**Tableau 24: Typologie des zones humides Algériennes**

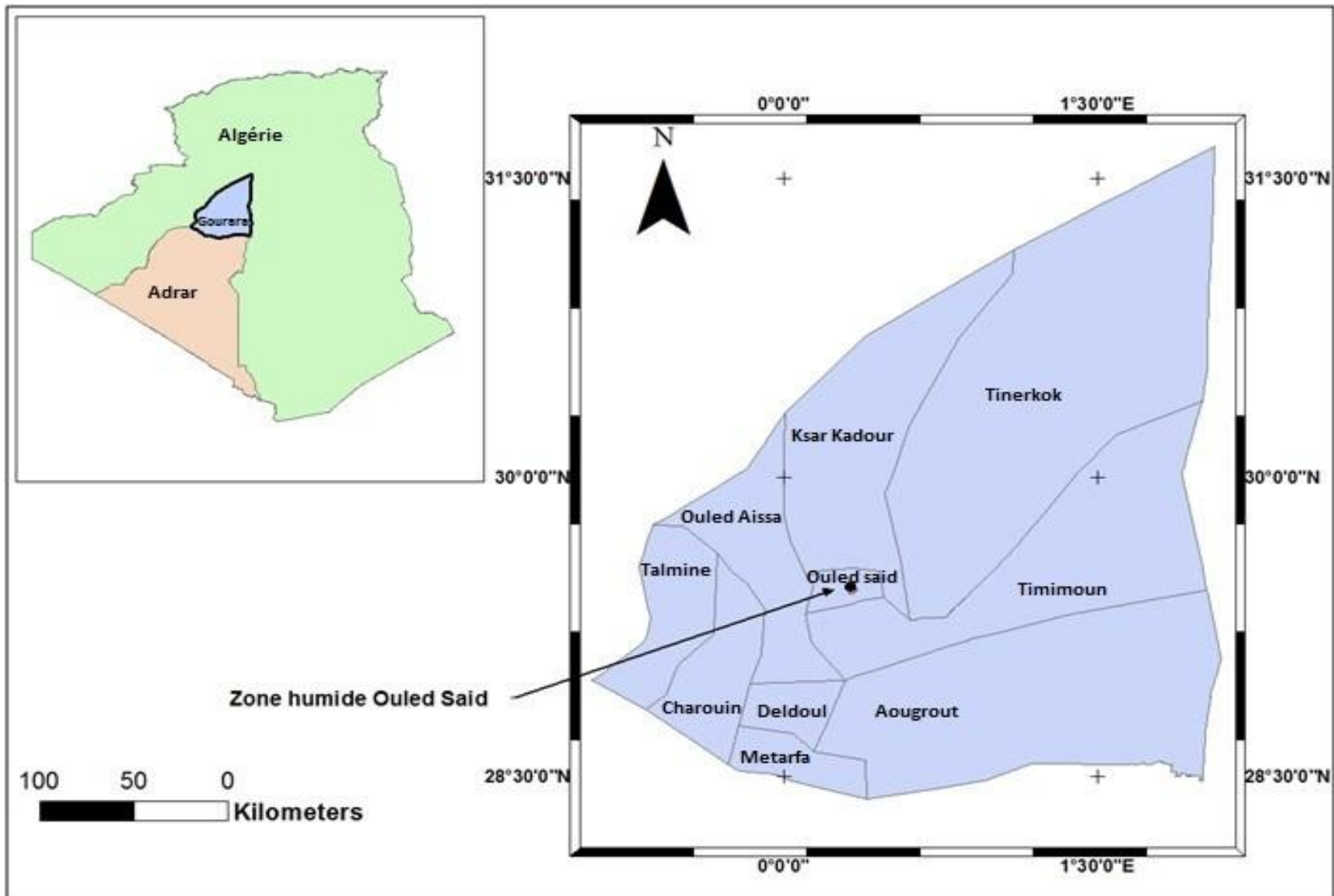
Type de zone humide	Nombre	Type de zone humide	Nombre	Type de zone humide	Nombre
Lac	41	Cours d'eau	263	Daya	19
Sebkha	22	Dune littorale	1	Garaa	37
Marais	19	Foret humide	16	Plaine d'inondation	9
Mare/Marécage	79	Tourbière	2	Oasis	314
Chott	43	Salines	2	Zones humides artificielles	375
Lagune	1	Guelta	23	Divers	212

**Source : la direction générale des forêts (2006), in Zaafour (2012)**

#### **4 La zone humide Ouled Saïd**

##### **4.1 La présentation de la zone humide Ouled Saïd**

La zone humide Ouled Saïd est une oasis sise, presque, au centre de la région de Gourara (fig.38) de la wilaya d'Adrar. Sur le plan géographique, elle est située entre la longitude 0°13'59''NE et 0°15'09''NE, et entre la latitude 29°24'26''N et 29°26'07''N. Elle occupe une superficie de 350 ha avec une altitude moyenne de 244 m. L'emplacement de la zone humide Ouled Saïd a été fait dans une zone comprise entre la limite méridionale de l'Erg occidental et la sebkha de Timimoun. Cette situation s'explique par les points d'apparition en surface des eaux des « Foggaras », ce qui oblige les gens à implanter leur oasis dans ces endroits, qui sont réellement des terrasses éoliennes. Les buttes témoins qui s'appellent Djebel Tibchirine sont une barrière naturelle qui sépare la zone humide Ouled Saïd de la sebkha de Timimoun.



**Figure 38: Situation géographique de la zone humide Ouled Saïd par rapport à la région de Gourara**

Le climat de la zone humide Ouled Saïd est de type saharien hyper-aride. Cependant, à l'intérieur de cette zone humide un microclimat doux est constaté résultant de la végétation oasienne qui en peuple. Le sol de la zone humide est dominé par la texture sableuse en mélange avec l'argile et le limon.

Les « Foggaras » (Photo 17) sont les veines de vie desquelles proviennent les eaux qui irriguent la zone humide Ouled Saïd. Ce système traditionnel de génie humaine de 14<sup>ème</sup> siècle a permis aux oasisiens d'exploiter les eaux souterraines de la nappe phréatique du continental intercalaire. Grâce à la « foggara » les eaux se distribuent d'une manière rationnelle et équitable selon la part de chaque propriétaire. Par conséquent, l'eau dans la zone humide Ouled Saïd est utilisée de façon raisonnable, en se basant sur des techniques traditionnelles qui prennent en considération la notion de l'économie de l'eau, alors que chaque goutte qui ruisselle sur des canaux (Sagguia) à ciel ouvert se dirige vers un but bien précis. L'oasis d'Ouled Saïd, par son système d'irrigation la « Foggara », est un exemple type de l'utilisation rationnelle de l'eau préconisée par la convention Ramsar. Toutefois, que sans protection et sans entretien humains, la zone humide Ouled Saïd est vouée à une disparition graduelle sous l'action d'ensablement (DGF. 2001).



**Photo 17: Système traditionnel d'irrigation la « Foggara », zone humide Ouled Saïd**

## **4.2 Importance de la zone humide Ouled Saïd**

### **4.2.1 L'importance écologique**

Sur le plan écologique, la zone humide Ouled Saïd est un écosystème saharien qui préserve la biodiversité flore et faune de la région.

Concernant la flore de cette zone humide, on constate de type de végétation à savoir :

La flore cultivée qui est composée principalement par le palmier dattier et ses cultivars, associé aux autres cultures vivrières telles que : les céréales (blé et orge), culture maraichère (tomate, laitue, pois, coriandre, lentille, melon, pastèque...etc.), les arbres fruitiers (abricotier, figuier, la vigne, le citronnier et l'oranger) et la culture fourragère (avoine, mille, sorgho et luzerne).

La flore spontanée est composée par les espèces xériques telles que : le Tamarix, les Roseaux, le *Zygophyllum*, l'*Aristida*...etc.

La faune sauvage constatée dans la zone humide Ouled Saïd est représentée par les oiseaux migrateurs, les oiseaux sédentaires, certains mammifères tels que le fennec, l'hérisson et le chacal. Certains reptiles sont aussi constatés tels que le varan de désert, le fouette-queue et quelques serpents. La zone humide Ouled Saïd est un habitat idéal pour la flore spontanée et faune sauvage notamment les oiseaux migrateurs.

### **4.2.2 L'importance économique**

La zone humide Ouled Saïd est connue par la production agricole notamment les dattes, surtout les cultivars de Tinlemsou et Tinnacer qui sont commercialisés localement et l'échelle nationale. D'après **Bendjlid (2011)**, l'oasis d'Ouled Saïd compte 26 400 palmiers dattiers de différents cultivars dont 91,5% sont productifs.

Le tourisme est une activité économique très répondeuse dans cette zone humide, vu les potentialités qu'elle dispose, les magnifiques « Foggaras » et jardins, les belles dunes et les vieux ksours.

### **4.2.3 Classification Ramsar de la zone humide Ouled Saïd**

La convention Ramsar a classé l'oasis d'Ouled Saïd comme zone humide d'importance internationale de type continental. Selon la **DGF (2001)**, le critère 1 (tab.23) de la convention Ramsar est le mieux qui caractérise le site d'oasis d'Ouled Saïd. La classification d'oasis d'Ouled Saïd comme site d'importance internationale sur la liste Ramsar, est justifiée par son mode d'utilisation rationnelle de l'eau de Foggara. La zone humide Ouled Saïd est l'une des rares oasis du monde de son type de gestion de l'eau et de l'organisation sociale et culturelle. Elle témoigne le sacrifice de l'homme pour lutter contre les conditions difficiles de la nature notamment l'ensablement.

## **5 Matériels et méthodes**

L'étude diachronique du changement de l'aspect paysager de la zone humide Ouled Saïd sous l'action du phénomène d'ensablement repose sur l'analyse spatiotemporelle et le traitement des images satellitaires par télédétection. Pour atteindre cet objectif, plusieurs étapes ont été suivies, à savoir:

### **5.1 L'acquisition des images satellitaires**

Les images utilisées sont téléchargées du site de l'USGS. Il s'agit de deux images de date différente, de Landsat5 (TM) février 1995 et de Landsat8 (OLI) février 2017. La date choisie permet une meilleure visualisation des classes visées par la présente étude.

### **5.2 Traitement d'amélioration de l'image**

La composition colorée adoptée pour la présente étude est de type 4.2.1 pour l'image Landsat5 de 1995 et de type 5.3.2 pour celle de Landsat8 de 2017. Elle correspond aux bandes multispectrales proche infrarouge, vert et bleu. Cette composition colorée assure des meilleurs résultats pour étudier le phénomène d'ensablement. Les images produites sont améliorées sur le plan radiométrique sous le logiciel Erdas Imagine. L'image de Landsat8 2017 a subi une amélioration de sa résolution par la fusion de l'image de la composition colorée 5.3.2 avec la bande panchromatique. De ce fait, la résolution de l'image produite de Landsat 2017 passe de 30 m aux 15 m de résolution spatiale.

### 5.3 Traitements spécifiques

Une classification non-supervisée (algorithme K-means) a été effectuée, sous Erdass Imagine et Arcgis, pour connaître le changement de l'aspect paysager de la zone humide Ouled Saïd dans la période allant de 1995 à 2017. A cet effet, cinq classes d'occupation du sol ont été retenues et comparées entre eux les unes aux autres. Les classes concernées sont: les dunes de sable, les sols nus, l'urbanisation, la végétation oasienne en bonne santé et les terrains agricoles ensablés. Après les résultats de la classification obtenus, une validation sur terrain a été effectuée, suivie par une correction pour chaque classe afin d'établir la carte de synthèse finale ( fig 39 et fig 40).

### 5.4 Indices de végétations

Afin de connaître la dynamique de la végétation de la zone humide Ouled Saïd, on a procédé une étude diachronique par l'application des indices spécifiques pour l'évaluation de l'état du couvert végétal. Il s'agit de deux indices, l'NDVI : indice de végétation par différence normalisée et l'MSI : indice de stresse en humidité. Pour réaliser cette partie de l'étude, on a utilisé les mêmes données satellitaires qu'on a cité dans la première partie de la présente étude.

#### 5.4.1 L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI)

L'indice de végétation par différence normalisée permet de générer des images concernant le couvert végétal et sa variation. Il a été utilisé pour la première fois par **Rousse et al** en **1974**. Le NDVI est largement utilisé dans l'étude de la végétation et sa dynamique, car il est simple et efficace comme un indicateur du comportement de la végétation et son activité chlorophyllienne (**Bouzekri, 2015**). Cet indice permet d'estimer le rendement des cultures, la productivité en biomasse du tapis végétatif, la dégradation du couvert végétal...etc. Il est calculé à partir des canaux rouge (R) et proche infra rouge (PIR) par la formule suivante :

$$NDVI = \frac{PIR-R}{PIR+R} \dots\dots\dots (7)$$

Où

**PIR** : Réflectance spectrale de la bande proche infrarouge

**R** : Réflectance spectrale de la bande rouge

Les valeurs du NDVI sont comprises entre -1 et +1. La végétation ayant des valeurs positives



comprise généralement entre 0,1 et 1, alors que les valeurs les plus proches de +1 correspondent au couvert végétal le plus dense. Le NDVI est influencé par la signature spectrale du sol nu. Pour cela, son application dans les zones à faible densité de végétation reste limitée, notamment dans les zones arides. Toutefois, la zone humide Ouled Saïd dispose d'un couvert végétal dense malgré sa situation géographique saharienne, car elle est artificielle et irriguée par l'être humain. De ce fait, on a choisi le NDVI pour étudier la dynamique de sa végétation.

#### **5.4.2 L'indice de stress en humidité (MSI)**

Est un indice simple qui se base dans son calcul sur la réflectance spectrale de la bande proche infrarouge et celle de la bande infrarouge moyen. Cet indice permet d'évaluer l'état de stress en humidité du couvert végétal. Le MSI est corrélé à la teneur en eau liquide dans la feuille du végétal (**Davranche, 2008**). Il est calculé par la formule suivante :

$$\text{MSI} = \frac{\text{MIR}}{\text{PIR}} \dots\dots\dots (8)$$

Où

**MIR** : réflectance spectrale de la bande infrarouge moyenne

**PIR** : réflectance spectrale de la bande proche infrarouge

Les logiciels utilisés pour réaliser cette étude sont l'Erdas imagine et l'Arcgis.

## **6 Résultats et discussion**

### **6.1 Changement de l'aspect paysager de la zone humide Ouled Saïd sous l'action d'ensablement**

Dans la région de Gourara, l'ensablement est un réel défi contre toutes les formes d'activités économiques, telles que l'agriculture, le transport et l'urbanisation. L'oasis Ouled Saïd, la seule zone humide classée et qui existe dans la région d'étude, a connu une dégradation intense sous l'action d'ensablement (Photo 18) dans les dernières années. L'objectif de l'étude engagée est d'apprécier la dégradation de l'aspect paysager de cette zone humide sous l'action de ce phénomène (fig.39 et 40). Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous:

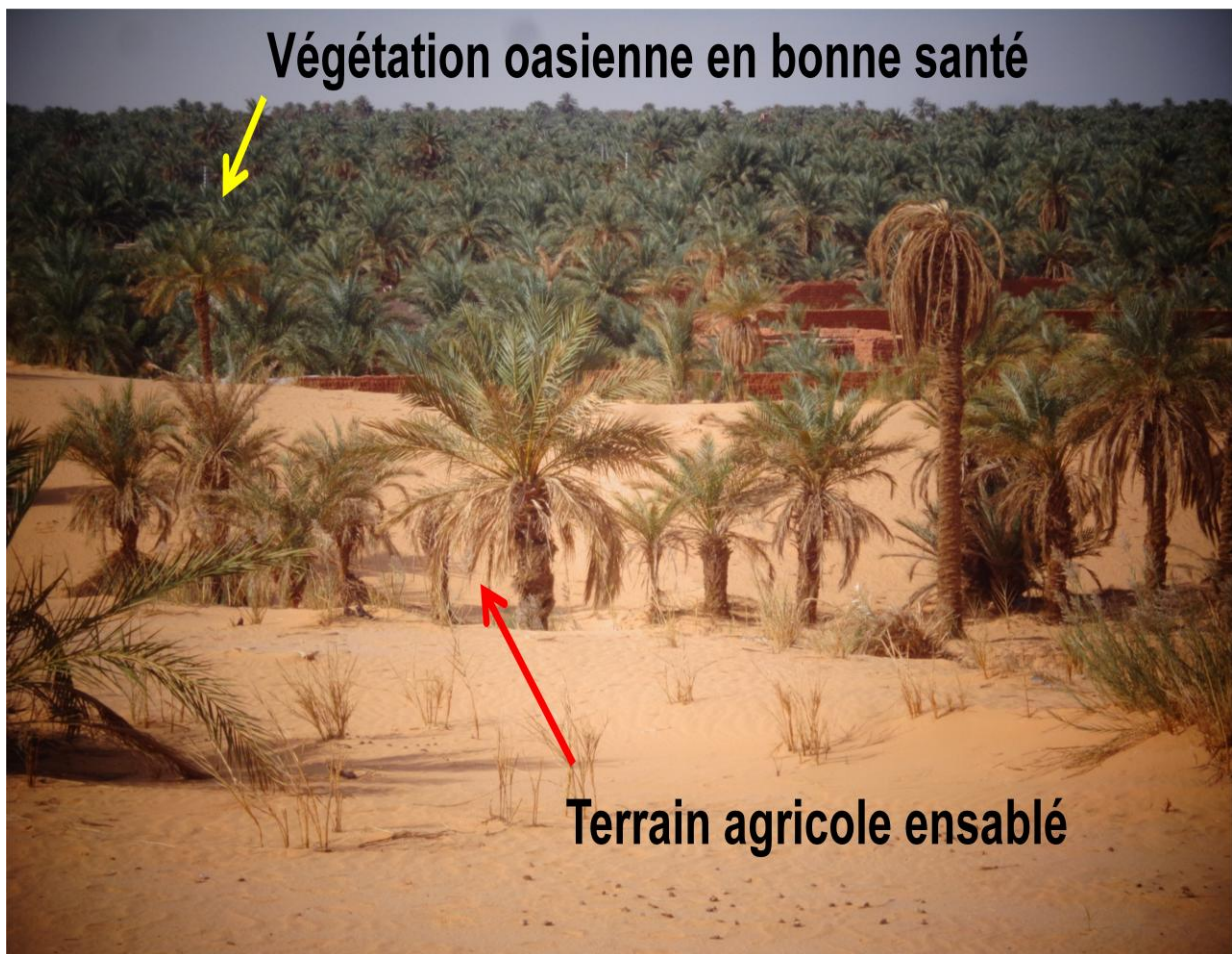
**Tableau 25: Résultats du changement de l'aspect paysager de la zone humide Ouled Saïd [1995-2017]**

Classes	Superficie année 1995		Superficie année 2017	
Dunes de sable	682,10 ha	42,64%	1050,37 ha	65,67 %
Végétation en bonne santé	169,26 ha	10,58%	134,2 ha	8,39 %
Terrains agricoles oasiens ensablés	121,7 ha	7,61%	167,24 ha	10,46%
Sol nu	597,15 ha	37,18%	89,59 ha	5,6 %
Urbain	29,29 ha	1,99%	158,10 ha	9,88 %
Total	1599,5 ha	100,00%	1599,5 ha	100,00 %

Les résultats de cette étude diachronique (tab.25) montrent que la zone humide Ouled Saïd a connu une augmentation des superficies occupées par les dunes de sable, cette classe a passé de 682,10 ha en 1995 à 1050,37 ha en 2017. Concernant les terrains agricoles ensablés étaient de 121,7 ha en 1995 et devenaient 167,24 ha en 2017 avec une augmentation de 45,54 ha. L'urbanisation était de 29,29 ha en 1995 et devenait 158,10 ha en 2017 avec une augmentation importante de 128,81 ha. Toutefois, la végétation oasienne de la zone humide Ouled Saïd a connu une dégradation de sa superficie. Elle était de 169,26 ha en 1995 et devenait 134,2 ha en 2017. En fin, les sols nus ont connu une diminution intense en superficie, étaient de 597,14 ha en 1995 et devenaient 89,59 ha en 2017, ça s'explique que ces sols nus sont envahis par le sable au cours des dernières années. D'après cette analyse, on peut dire que la zone humide Ouled Saïd a connu une dégradation intense de son aspect paysager sous l'action d'ensablement. Cette situation peut s'expliquer par:

- Les grandes vitesses du vent que connaît la région d'étude ;
- L'augmentation démographique (pression anthropique) ;
- L'arrachage de la végétation spontanée, surtout celle qui fixe les dunes en amont de la zone humide ;
- L'absence d'un programme sérieux de lutte contre l'ensablement, notamment dans les dernières années ;
- L'exode rural professionnel, dans lequel les gens quittent l'agriculture oasien qui est moins rentable, pour rejoindre des autres activités à l'image du commerce et d'autres fonctions d'une manière générale.

À la lumière de cette étude, on lance un appel d'urgence pour prendre des mesures et pour faire en sorte que cette zone humide, d'importance internationale, soit protégée sérieusement contre l'ensablement. Pour cela, nous proposons un programme de lutte qui se base sur l'installation des bandes vertes en mélange avec des palissades en carroyage. Ces techniques doivent être installées dans le côté Nord, Nord-Est et Est de la zone humide (perpendiculairement à ces directions citées). Le choix de cette direction est justifié par la direction du vent dominant dans cette région.



**Photo 18: Menace d'ensablement des oasis de la zone humide Ouled Saïd**

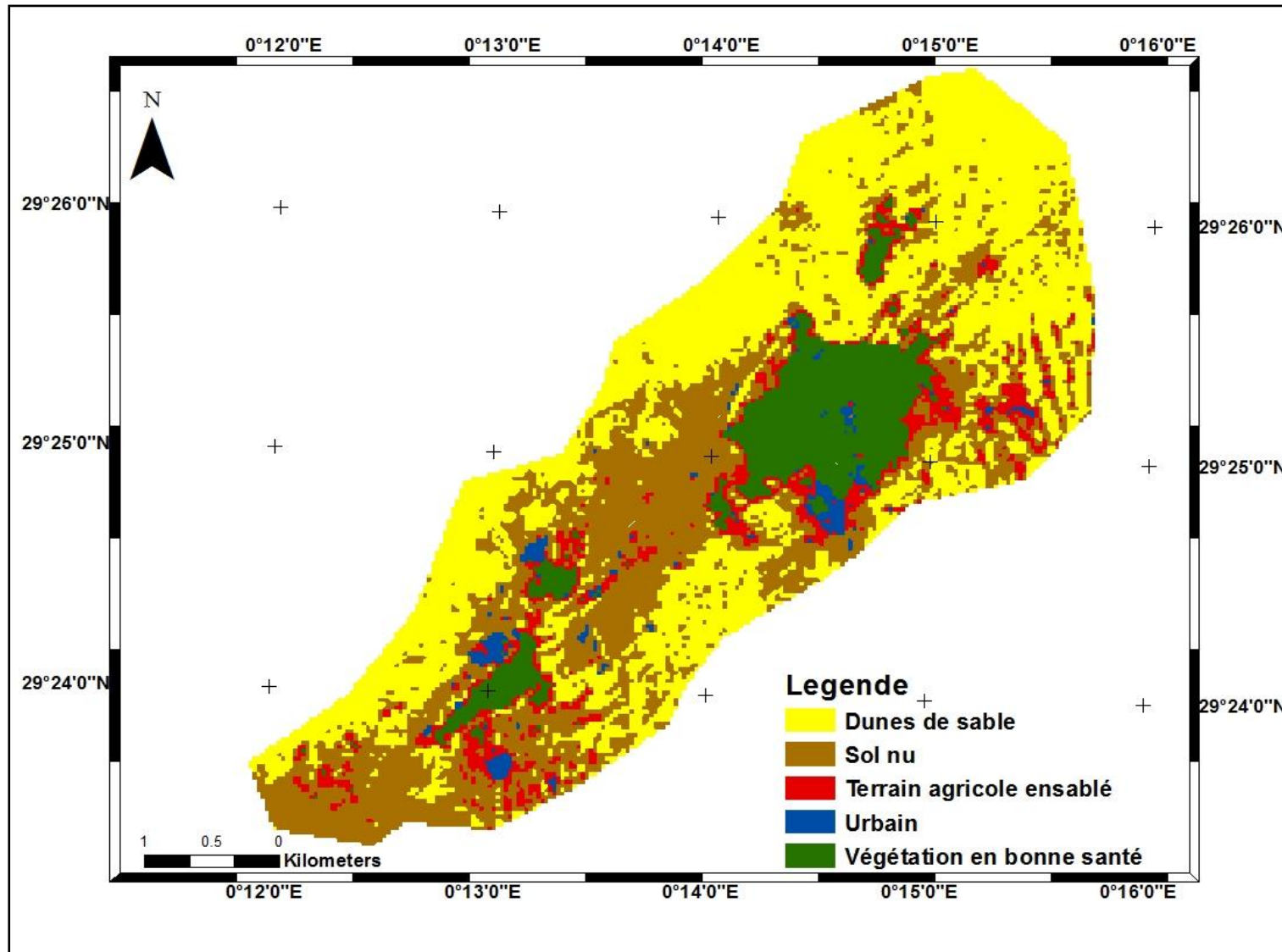
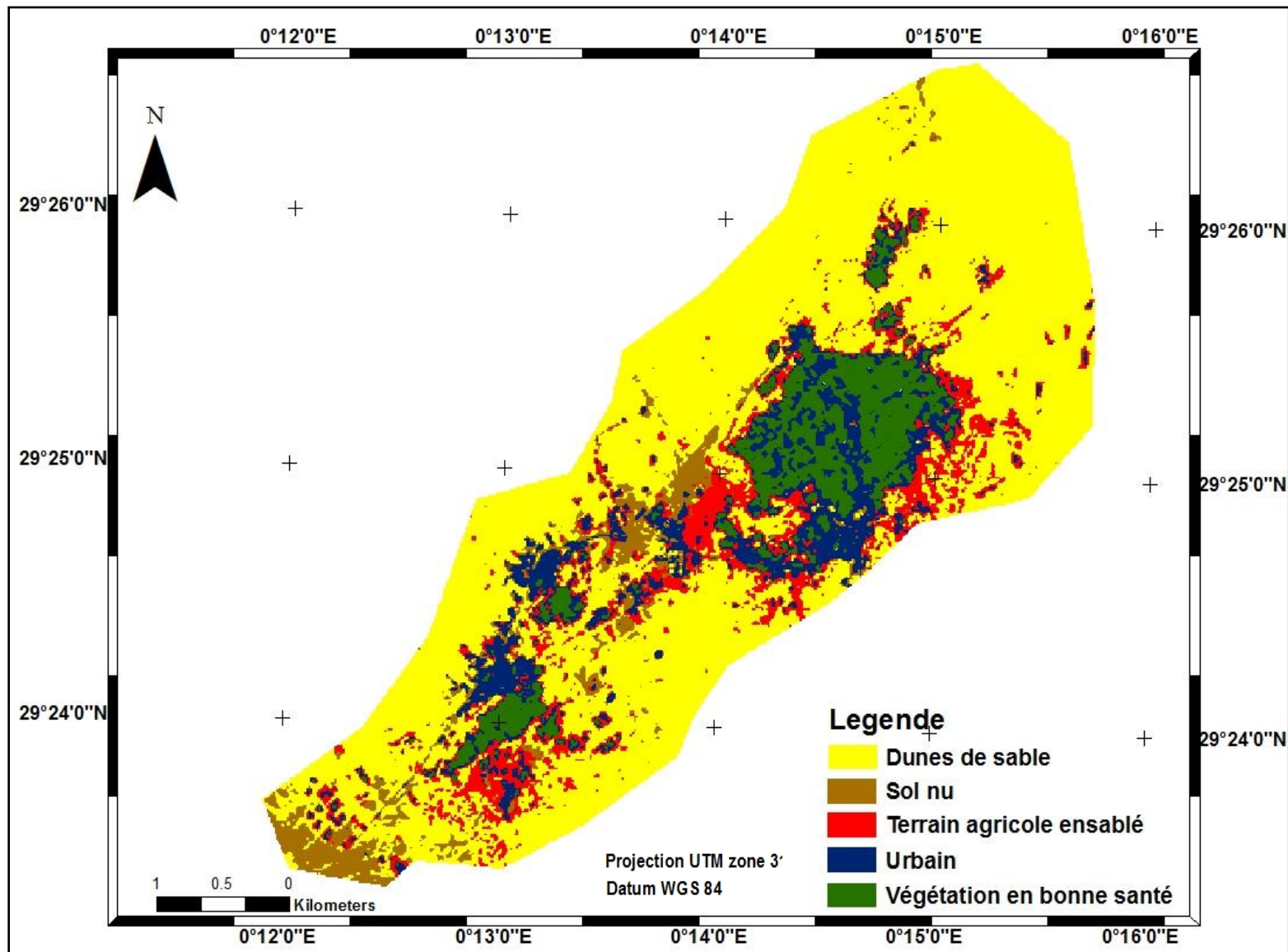


Figure 39: Carte d'occupation du sol de la zone humide Ouled Saïd 1995



**Figure 40: Carte d'occupation du sol de la zone humide Ouled Saïd 2017**

## **6.2 Dynamique de la végétation**

### **6.2.1 Résultat de l'NDVI**

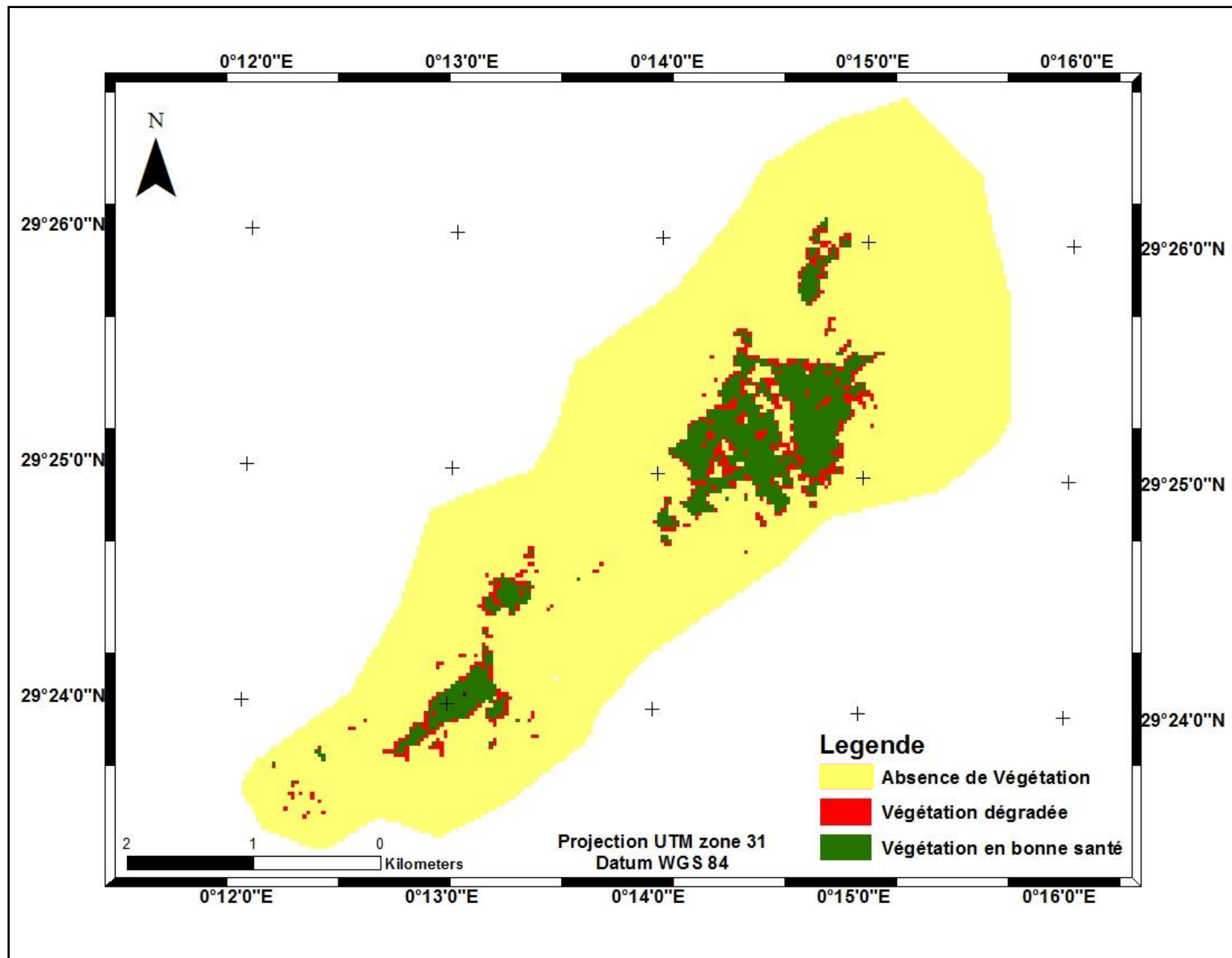
Le résultat de l'NDVI calculé concernant la végétation de la zone humide Ouled Saïd se présente dans les figures (41 et 42) et le tableau suivant :

**Tableau 26 : Les différentes classes de l'NDVI thématisé de la zone humide Ouled Saïd pour les années 1995 et 2017**

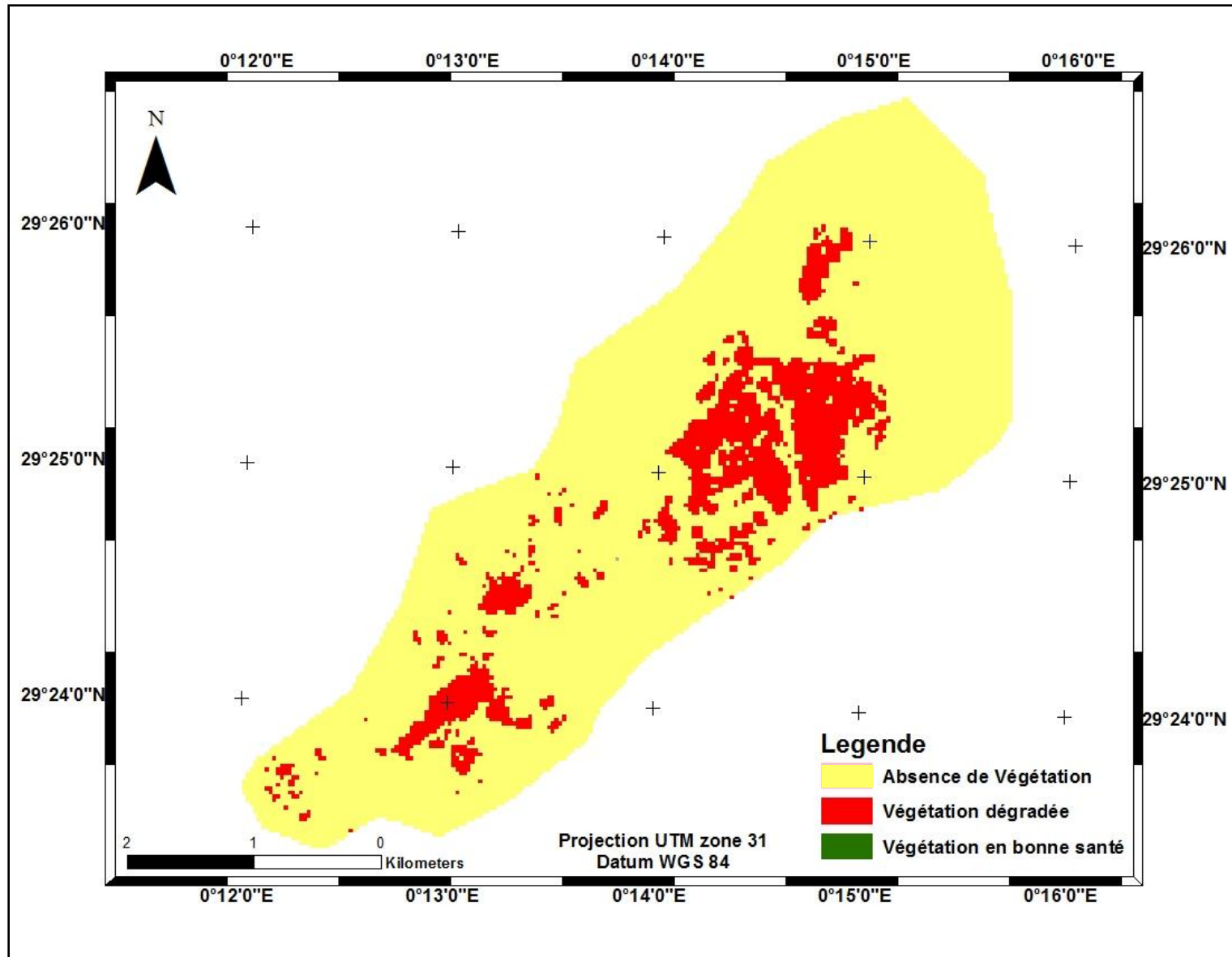
<b>Classes</b>	<b>1995</b>		<b>2017</b>	
<b>Végétation en bonne santé</b>	126,63 ha	8,74%	0 ha	0%
<b>Végétation dégradée</b>	51,93 ha	3,55%	212,56 ha	14,68%
<b>Absence de végétation</b>	1270,17 ha	87,71%	1235,62 ha	85,32%
<b>Totale</b>	1448,19	100%	1448,19 ha	100%

A la vue de tableau ci-dessous, on trouve que la zone humide Ouled Saïd a connu une augmentation de superficie recouverte par la végétation de 34 ha, entre l'année 1995 et l'année 2017. Toutefois, le couvert végétal s'est dégradé totalement de l'année 1995 à l'année 2017. Ce constat s'explique par deux facteurs :

- a) L'ensablement des oasis ;
- b) La diminution de débit des « Foggaras » causée par le manque d'entretien et le rabattement de la nappe phréatique que connaît la région. Il en résulte un manque en quantité d'eau destiné à l'irrigation des oasis. de ce fait, la végétation oasienne se dégrade.



**Figure 41 : Visualisation de différentes classes de l'NDVI thématiqué de la zone humide Ouled Saïd 1995**



**Figure 42: Visualisation de différentes classes de l'NDVI thématisé de la zone humide Ouled Saïd 2017**



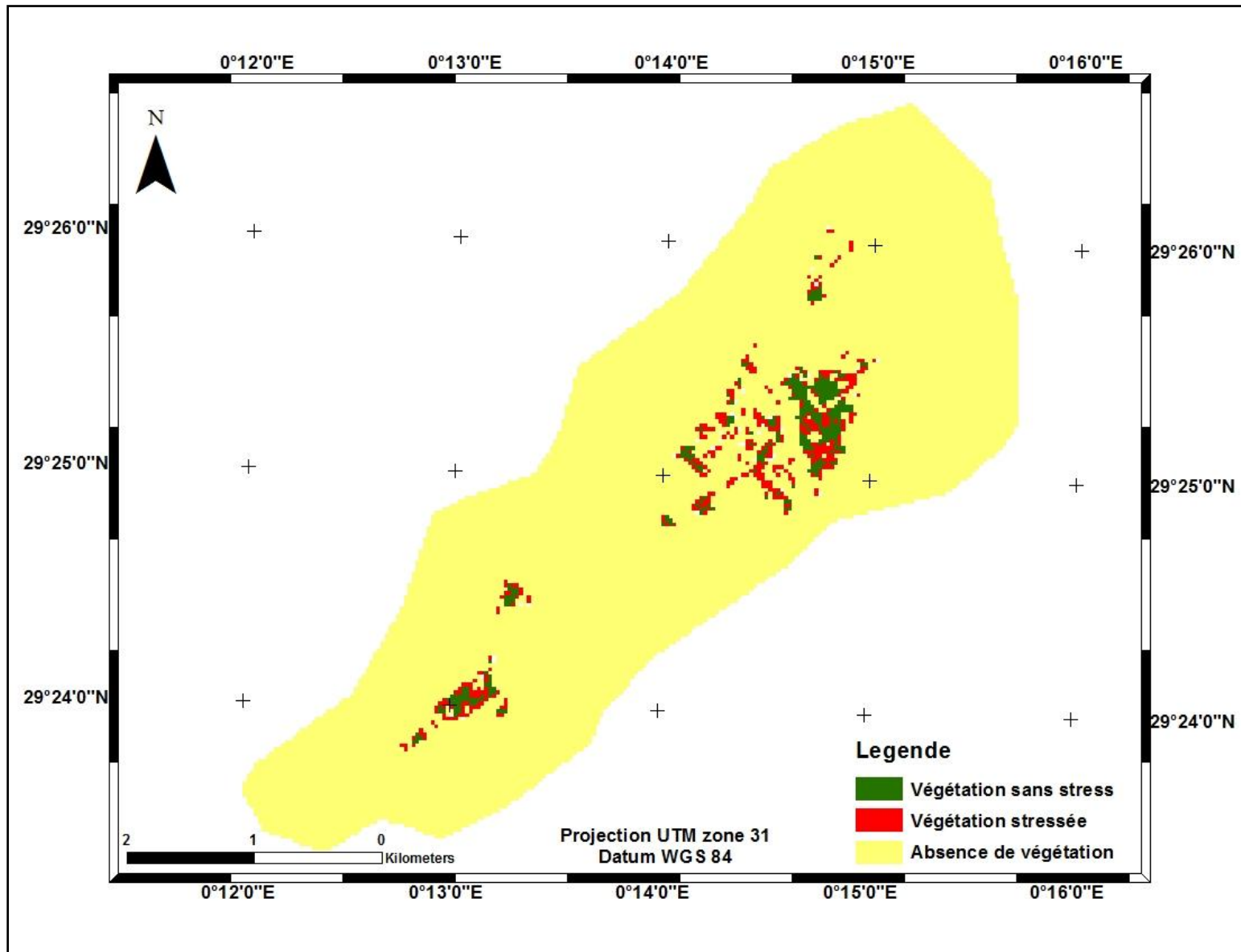
## 6.2.2 Résultat de l'MSI

Le résultat de l'MSI calculé concernant la dynamique de la végétation de la zone humide Ouled Saïd (fig. 43 et 44) se présente sous forme de tableau suivant :

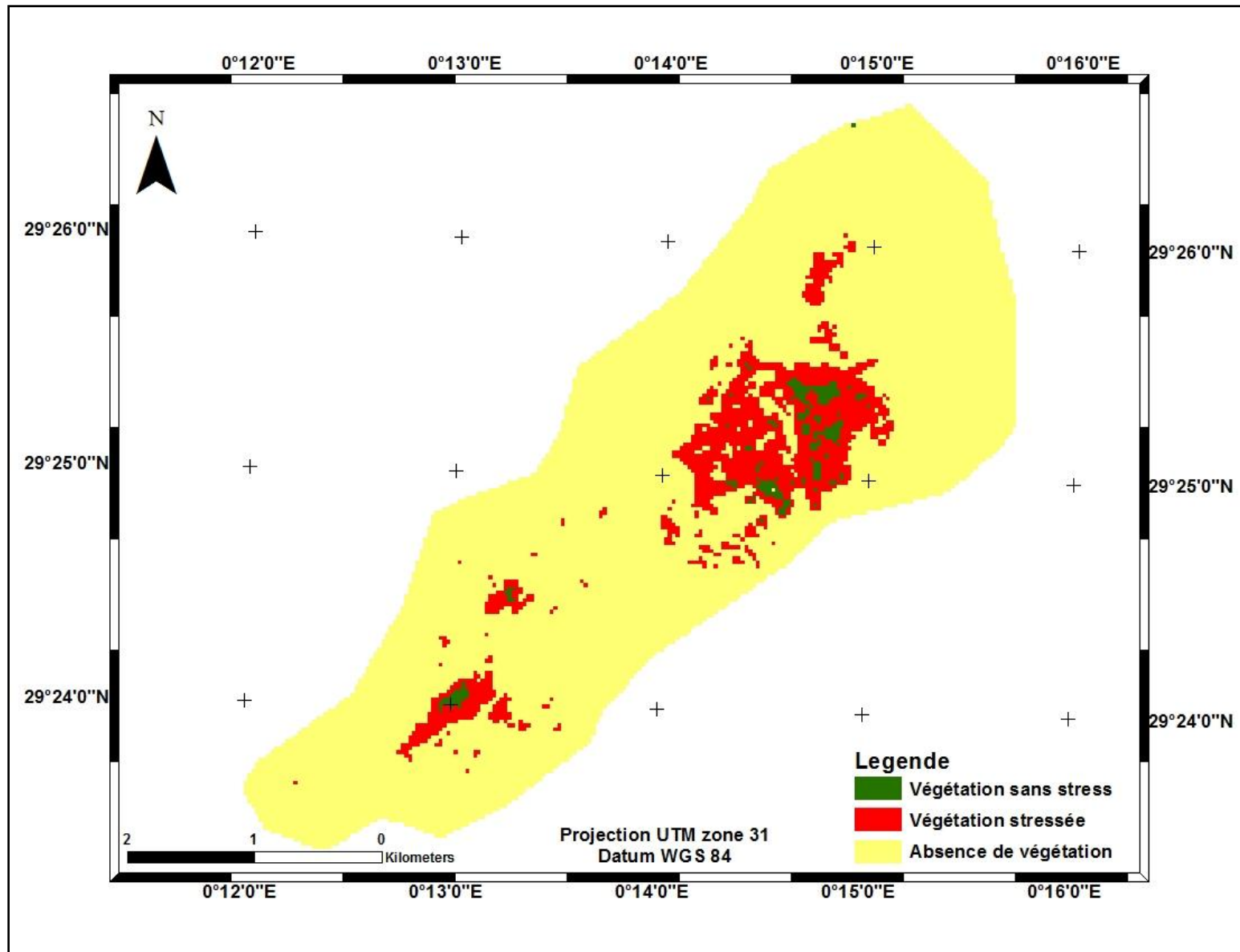
**Tableau 27: les différentes classes de l'MSI thématiqué de la zone humide Ouled Saïd pour les années 1995 et 2017**

Classes	1995		2017	
Végétation sans stress hydrique	29,06 ha	2,01%	19,03 ha	1,31%
Végétation stressée	36,07 ha	2,50%	155,23 ha	10,72%
Absence de végétation	1383,04 ha	95,49%	1273,93 ha	87,97%
Totale	1448,19 ha	100%	1448,19 ha	100%

Les résultats obtenus à travers l'indice MSI montrent encore une autre fois la diminution du taux de végétation en bonne santé, qui est sans stress dans la zone humide. Toutefois, la superficie globale recouverte par la végétation a connu une augmentation importante entre les années 1995 et 2017. Cette augmentation est due à la mise en valeur de certains terrains avoisinants. Néanmoins, cette augmentation est dominée par la végétation stressée (dégradée). Cette situation s'explique par les mêmes raisons que l'NDVI. En plus, un troisième facteur peut expliquer mieux les résultats de l'MSI. Il s'agit du remplacement du système de l'irrigation par submersion (cette technique dépend des eaux de la « Foggara ») par le système d'irrigation par goutte à goutte (cette technique dépend des eaux des puits et des forages). La submersion offre aux couches profondes du sol une grande quantité en eau ce qui augmente leur capacité de rétention en eau qui se traduit par la bonne santé des végétaux. Par contre, le système goutté à goutte est très localisé et n'offre pas aux couches profondes une quantité d'eau importante, alors que l'eau reste concentrée dans les couches superficielles dans des endroits très localisés. La fréquence d'irrigation en submersion est assez étalée qui peut arriver jusqu'à quinze jours. Dans cette période, les sols irrigués par ce système leurs couches superficielles se dessèchent. Il pourrait être que l'MSI les considérait comme sols nus, sous l'action de signature spectrale des sols desséchés. De façon générale, le résultat l'MSI pour l'année 1995 n'a pas pu exprimer la réalité de terrain.



**Figure 43: Visualisation de différentes classes de l'MSI thématiqué de la zone humide Ouled Saïd pour l'année 1995**



**Figure 44: visualisation de différentes classes de l'MSI thématisé de la zone humide Ouled Saïd pour l'année 2017**

## **7 Conclusion**

Le suivi diachronique de la zone humide Ouled Saïd à travers les données satellitaires de Landsat entre 1995 et 2017 montre que ce site d'importance internationale est en régression sur le plan écologique. Ce déclin est constaté sous forme des points suivants :

- L'augmentation de superficies recouvertes par les dunes de sables résultantes du phénomène d'ensablement ;
- Les superficies d'urbanisation a connu une augmentation importante surtout au niveau d'oasis d'Ouled Saïd ;
- Les trois méthodes utilisées dans la présente étude (la classification non supervisée, l'indice NDVI et l'indice MSI) confirment que la végétation en bonne santé est en régression, par contre la végétation dégradée est en progression.

Le déclin de la zone humide Ouled Saïd est dû à plusieurs facteurs notamment :

- L'intensification du phénomène d'ensablement qui a dégradé au cours de dernières années des dizaines d'hectares de terrains agricoles productifs ;
- La pression anthropique résultante de la croissance démographique que connaît la région ;
- La dégradation du système d'irrigation traditionnel la « Foggara » à cause du manque d'entretien ;
- L'immigration professionnelle constatée dans la région, où les gens quittent l'agriculture oasisienne qui est moins rentable, pour rejoindre des autres activités considérées plus rentables telles que le commerce et les fonctions.

# **CONCLUSION GENERALE**

## Conclusion générale

La désertification est un phénomène qui touche plus d'un tiers du globe terrestre. Elle est la résultante de plusieurs facteurs d'ordres naturel (climat ; sol, géomorphologie...etc.) et anthropique (pression démographique et exploitation irrationnelle des ressources naturels). Ce phénomène s'exprime par la dégradation des ressources en eau, de végétation et de terrains productifs.

En Algérie, la majorité du territoire national est touchée par la désertification vu les conditions climatiques d'aridité et sécheresse qui y caractérisent. A cet effet, des millions d'hectares sont affectés par l'ensablement, notamment dans les régions du sud, là où ce fléau est l'aspect de la désertification le plus préoccupant et le plus dégradant du milieu.

La région de Gourara, wilaya d'Adrar (Sud-Ouest algérien), est composée de dix communes et compte une population estimée de 123201 habitants. Elle est très affectée par le problème d'ensablement. Dans la présente étude, nous avons essayé d'apporter le maximum de résultats ainsi d'informations relatives au phénomène d'ensablement qui touche avec acuité cette région.

L'étude du milieu physique a dévoilé que la géologie de cette région est dominée par des formations de Paléozoïques et du crétacé. La géomorphologie de la région de Gourara est caractérisée par la présence de l'Erg occidentale qui représente la zone d'alimentation des vents en sables. L'étude du climat a montré que la région de Gourara dispose d'un climat de type saharien inférieur avec un hiver doux et aridité extrême. Les précipitations dans cette région sont très rares, faibles en quantité (ne dépassent pas annuellement les 30 mm) et irrégulières de point de vue répartition. De ce fait, le recours à l'irrigation est obligatoire en cas du reboisement. Les températures sont énormément élevées surtout dans la période estivale où celles-ci dépassent les 45°C notamment la journée. Les vents sont de grandes vitesses surtout dans les dix premiers mois de l'année. A cet effet, sont efficaces dans les seize directions étudiées pour engendrer le phénomène d'érosion éolienne ainsi l'ensablement. Le couvert végétal est très faible et composé par des essences xériques. Cependant, son rôle est très important dans la fixation des dunes et la stabilisation de sable pris en charge par le vent. Par conséquent, Les caractéristiques physiques et

naturelles du milieu de la région de Gourara rendent ce territoire comme région d'activité éolienne avec un risque d'ensablement très élevé.

La lutte contre l'ensablement s'est basé depuis longtemps sur des techniques ancestrales à savoir: les palissades, les murettes et les Tabia. Depuis 2007, la région a connu l'installation de plusieurs bandes vertes, comme nouvelle technique biologique dans le cadre de la lutte contre ce fléau. L'étude dendrométrique a montré que la structure des bandes vertes étudiées est une jeune futaie équienne de faible diamètre d'individus, avec dominance de la strate microphanérophyte dont la hauteur des arbres est comprise entre 2 et 8 m. Le cortège floristique des trois bandes vertes est composé de 18 espèces appartenant aux différentes familles. Parmi ces espèces, certaines sont installées spontanément, car ces bandes vertes offrent un microclimat favorisant leur installation. De ce fait, ces bandes vertes est un appui pour la biodiversité floristique de cette région saharienne. En plus de leur rôle de protection contre l'ensablement, les bandes vertes jouent un rôle touristique par l'accueil du public comme forêts récréative afin de passer des moments de loisir.

Une bonne partie de ce présent travail de recherche a été réservée à la conception d'un nouvel indice de stabilisation de sable (ISS) afin évaluer l'efficacité des bandes vertes installées dans les régions arides algériennes pour de lutter contre l'ensablement. L'application de cet indice dans la région de Gourara a permis d'évaluer le rôle joué par les bandes vertes concernant la stabilisation de sable pour protéger les infrastructures humaines contre l'ensablement. L'indice calculé entre 2015 et 2018 a donné deux valeurs différentes d'I.S.S. Cela signifie que cet indice est utile pour suivre l'évolution diachronique de stabilisation de sable au niveau des bandes vertes. Toutefois, il est recommandé de tester davantage cet indice dans d'autres milieux arides et semi-arides touchés par le problème d'ensablement.

A la lumière de l'investigation (enquête socio-économique) réalisée à travers ce travail concernant les causes du phénomène d'ensablement dans la région de Gourara, deux types de facteurs causals sont constatés, à savoir : Les facteurs causals d'origine naturelle :

- Les vents de grandes vitesses qui engendrent l'érosion éolienne ainsi l'ensablement;

- La présence de l'Erg occidental qui représente la zone d'alimentation principale du vent en sable.

Les facteurs causals d'origine anthropique :

- L'arrachage de la végétation spontanée notamment l'Aristida ;
- Le ramassage du gravier qui mis le sol exposé au vent et facile d'être arraché.

Concernant l'impact socio-économique, plusieurs dégâts occasionnés par l'ensablement ont été enregistrés dans la région de Gourara, à savoir :

- L'ensablement des terrains agricoles productifs, sachant que la commune de Tinerkouk est la plus touchée (110 ha) par rapport aux autres communes concernées par l'enquête ;
- L'ensablement des routes qui est largement constatés surtout sur les chemins communaux des localités les plus proches de l'Erg. En plus des résultats issus de l'enquête, la carte d'état d'ensablement des routes de la région de Gourara a montré que ce fléau affecte 51% des chemins communaux, 17,8% des routes nationales et 1,3% des chemins de wilaya,
- L'ensablement des zones urbaines notamment les habitats, là où on trouve la commune de Timimoun est la plus touchée par rapport autres communes concernée par l'enquête. Par contre, la commune d'Aougrout reste intacte vis-à-vis d'ensablement des habitats ;
- L'exode rural fait que les gens quittent leurs localités rurales pour s'installer dans les villes. Dans ce sens-là, notre étude a dévoilé que la commune de Ksar Kadour est la plus touchée par l'exode rural par rapport aux autres communes concernées par l'enquête. Au cours de 30 dernières années, cette commune a perdu 3,1% de sa population.

Le suivi de l'évolution de l'état la zone humide Ouled Saïd à travers les données satellitaires de Landsat entre 1995 et 2017 a montré que celle-ci est en régression sur le plan écologique. Cette dégradation est constatée sous forme de :

- L'augmentation de superficies recouvertes par les dunes de sables résultantes du phénomène d'ensablement ;
- Les superficies d'urbanisation ont connu une augmentation importante surtout au niveau d'oasis d'Ouled Saïd pour répondre aux besoins de ces habitant;
- La végétation en bonne santé est en régression, par contre la végétation dégradée est en progression. Ce résultat a été confirmé par les trois méthodes utilisées dans la présente



étude la classification non supervisée, l'indice NDVI et l'indice MSI.

La dégradation de l'état la zone humide Ouled Saïd est due à plusieurs facteurs notamment :

- L'intensification du phénomène d'ensablement;
- La pression anthropique sur les ressources naturelles causée par la croissance démographique que connaît la région ;
- La dégradation du système d'irrigation traditionnel la « Foggara » à cause du manque d'entretien et au rabattement de la nappe phréatique ;
- L'immigration professionnelle en quittant l'agriculture oasienne pour rejoindre les activités les plus rentables telles que le commerce et les fonctions.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anding L., Chunyan G., Lifei Y., 2017.** The composite and structural feature of plant community in different karst stony desertification areas. *App. Ecol.Enviro.Res.* 15 (4) pp: 167-183.
- Bagnouls F., Gaussen H., 1953.** Saison sèche et indice xérothermique. *bull.soc.hist.nat.de Toulouse*, (88) pp: 193-240.
- Barry R.J., 1981.** Signal value and preliminary processes in OR elicitation. *The Pavlovian journal of biological science*: (16) pp:144-150.
- Beghoul M S., 1991.** Apport et contribution de l'analyse de diagraphies à la connaissance d'un bassin sédimentaire. Application au bassin de Timimoun (Algérie). Thèse doctorale, université de Louis Pasteur de Strasbourg, 277p.
- Benderrah, Z. & Zandouch,O .2007.** Contribution à l'étude de l'efficacité des techniques de lutte contre l'ensablement et des différents procédés de fixation des dunes réalisés dans le cordon dunaire d'El Mesran wilaya de Djelfa. Actes des Journées d'Etude et de Sensibilisation sur la Quantification du sable en transit éolien et sur la lutte contre l'Ensablement. Centre de recherche scientifique et technique sur les régions arides, Algérie, pp 112-126.
- Bendjlid A., 2011.** Ouled Saïd, palmeraie du Gourara : développement local et reproduction d'une société traditionnelle. *Revu. Insanyat*.N 51-52 pp : 43-64.
- Bensaid A., 2006.** SIG et Télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une région aride : le cas de la wilaya de Nâama (Algérie). Thèse de doctorat, univ. Jeseph Fourier. Grenoble I, France, 299p.
- Berkal I., 2006.** Contribution à la connaissance des sols du Sahara d'Algérie. mémoire de magistère, institut national d'agronomie, Alger, 98p.
- Bisson J., 1957.** Le Gourara: étude de géographie humaine. Mémoire de diplôme des études supérieurs, institut de recherche saharienne, université d'Alger, 181p.
- Boudia S., (2013).** Optimisation de l'évaluation temporelle du gisement énergétique éolien par simulation numérique et contribution à la réactualisation de l'atlas des vents en Algérie. Thèse de doctorat, université de Tlemcen 148p.
- Bouzekri., 2015.** Evaluation multicritères des situations critiques au risque de la désertification

dans les Aurès (Algérie). Thèse de doctorat, université de Batna.204p.

**Callot Y., 1987.** Géomorphologie et paléoenvironnements de l'Atlas Saharien au Grand Erg Occidental : dynamique éolienne et paléo-lacs holocènes. - Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences, Université Pierre et Marie Curie (Paris 6), Mémoires des Sciences de la Terre, n°87-21, 412 p.

**CRSTRA., 2015.** Guide des techniques de lutte contre l'ensablement.76p.

**Dajoz R., 2006.** Précis d'écologie. 8<sup>ème</sup> édition. Dunod, Paris, 631p.

**Davranche A., 2008.** Suivi de la gestion des zones humides camarguaises par télédétection en référence à leur intérêt avifaunistique. Thèse de doctorat, université de provence, Aix Marseille,I, 257p

**DGF., 2001.** Atlas des zones humides Algériennes d'importance internationale.55p.

**DGF., 2016.** Stratégie nationale de gestion écosystémique des zones humides d'Algérie.71p.

**Draoui A M., 2013.** Faciès et évolution séquentielle du « continental intercalaire » de la cuvette de Sbaa (Sahara occidental, Algérie). Mémoire de magistère, université d'Oran, 84p.

**El khatri S., 2003.** Manuel du cours de climatologie. École Hassania des travaux publics, 2-25.

**El-ghannouchi A., 2007.** Dynamique éolienne dans la plaine de Sousse : approche modélisatrice de la lutte contre l'ensablement. Thèse de doctorat, univ. de Mohammed V, Rabat, Maroc, 192p.

**Escadafal R., Bégni G., 2016.** Surveiller la désertification par télédétection. Comité scientifique français de la désertification. Les dossiers thématiques, N°12,44p.

**FAO., 1988.** Manuel de fixation des dunes. Cahiers Conservation n°18, Rome. 68 p.

**FAO., 2010.** Lutte contre l'ensablement : l'exemple de la Mauritanie. Etude FAO forets. Rome 2010, 76p.

**FAO., 2011.** Gestion des plantations sur dunes. Document de travail sur les forêts et la foresterie en zones arides, n°3, 43P.

**FAO., 2016.** Directives mondiales pour la restauration des forêts et des paysages dégradés dans les terres arides Directives mondiales pour la restauration des forêts et des paysages dégradés dans les terres arides. Renforcer la résilience et améliorer les moyens d'existence. Etude FAO forets. Rome 2016, 167p.

**Gounot M., 1969.** Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Masson ed, Paris, PP 63-74.

**Greco J., 1966.** L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie.

Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire. 303p.

- Haddouche D., 2009.** La télédétection et la dynamique des paysages en milieu aride et semi-arides en Algérie : cas de la région de Naama. Thèse de doctorat, université de Tlemcen, 259p.
- Haddouche D., 1998.** Cartographie pédopaysagique de synthèse par télédétection « image Landsat TM ». Cas de la région de Ghassoul (El-Bayadh).mémoire de magistère, institut national d'agronomie, Alger, 103p.
- Haddouche D., Toutain B., Saidi S., Mederbal K., 2008.** Comment concilier le développement des populations steppiques et la lutte contre la désertification ? cas de la wilaya de Naama ( Algérie). *Revue New Medit CIHEAM IAM-Bari « Mediterranean Journal of Economics, Agriculture and environment »*, Vol. VII, N°3, pp 25-31.
- Idda S., 2011.**La mutation de l'écosystème oasien au Gourara, causes et implication environnementales. Université d'Oran, 126p.
- INRAA, 2006.** Deuxième rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques, 91 p.
- L'hote Y., 1993.** Mesure et étude des précipitations en hydrologie. Université de Montpellier II, 14p.
- Labiadh M., Bergametti G., Bouet C., Khatteli H., Abichou M., 2015.** Vers une quantification de l'érosion éolienne des sols labourés dans le sud tunisien. « *Revue des Régions Arides* », N° 36, pp : 129-150.
- Le-Houerou H., 1990.** Définition et limites bioclimatiques du Sahara. *Revue « Sécheresse »* (1) pp : 246-259.
- Madani W & Chouari W. 2017.** La cartographie des risques d'ensablement : l'exemple de la zone d'El Fjé (Jeffara tunisienne). « *Geo-Eco-Trop* », N° 41 pp 107-108.
- Mainguet M., Dumay F., 2006.** Combattre l'érosion éolienne : un volet de la lutte contre la désertification. Comité scientifique français de la désertification. Les dossiers thématiques, numéro 3, 44p
- Mainguet M., Dumay F., 1992.** Pour quoi le réseau érosion doit –il faire une place à l'érosion éolienne. Université de Reims, champagne Ardenne, pp 281-292.
- Makhlouf M., Nedjahi A., Abdellaoui M., Benarar D., 2013.** Guide pratique de la protection des périmètres agricoles dans les régions arides et semi-arides. Institut National de la Recherche Forestière d'Algérie (INRF), 45p.
- Mestoul D., Bensalem R., Adolphe L., 2015.** Modélisation de la forme urbaine par rapport au

déplacement du sable en mode de saltation dans la région de Timimoun en Algérie. Université Mohammed khider, Biskra, Revue « *Courrier du Savoir* » N°(20) pp : 133-140.

**Moisselin J., Schneider M., Canellas C., Mestre O., 2002.** Les changements climatiques en France au XXe siècle. Étude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations. *La Météorologie*, (38) pp: 45-56.

**OMM., 2005.** Le climat et la dégradation des sols. Manuel N° 989, 32p.

**OSS., 2008.** Système aquifère du Sahara septentrional, gestion concertée d'un bassin transfrontalier, collection synthèse, N°01,51p.

**Ould Safi M., Kechairi R., Benmahioul M., 2015.** Situation sanitaire de l'Arganeraie de Tindouf (Algérie) rôle des termites et champignons associés. Revue « foret méditerranéenne » t. XXXVI, N° 3, September 2015, pp : 311-318.

**Ould Safi M., Makhlouf L., Nedjahi A., Tolba K., 2015.** Introduction de certaines espèces forestières dans la région d'Adrar. Institut national de recherche forestière, Algérie. Revue « *la foret algérienne* » n°10 pp: 9-15.

**Ozenda P., 1977.** Flore du Sahara. Centre national de la recherche scientifique (CNRS), 2eme édition, Paris, 622p.

**Parde J., Bouchon., 1988.** Dendrométrie: 2ème édition, école nationale du génie rurale, des eaux et des forêts. Impr. Dialec, ENGREF. Nancy, 328p.

**Pearce K., Walker J., 2005.** Frequency and magnitude biases in the "Fryberger" model, with implications for characterizing geomorphically effective winds. Journal « *Geomorphology* », Vol. 68, NO.1-2 pp: 39-55

**Qi J., Chehbouni A., Huete AR., Kerr YH., Sorooshian S., 1994.** A modified soil adjusted vegetation index', Remote Sensing of Environment, vol. 48 pp: 119-126.

**Quezel P., 1965.** La végétation du Sahara. Du Tchad à la Mauritanie. *Geobotanica selecta* 2, 333p.

**Ramsar., 2013.** Secrétariat de la Convention de Ramsar. Le Manuel de la Convention de Ramsar: Guide de la Convention sur les zones humides (Ramsar, Iran, 1971), 6e édition, 116p.

**Ramsar., 2015.** Rapport national sur l'application de la convention de Ramsar sur les zones humides, 47p.

**Ramsar., 2016.** Introduction à la convention sur les zones humides. Manuel Ramsar, 5<sup>eme</sup> édition, 117p.

- Requier-desjardins M., Caron P., 2005.** La lutte contre la désertification : un bien public mondial environnemental. Comité scientifique français de la désertification. Les dossiers thématiques, numéro 1, 28p.
- Rouse J W., Haas R H., Schell J A., Deering D W., 1974.** Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 pp: 309–317.
- Saifouni A., 2009.** Etat des lieux des zones humides et des oiseaux d'eau en Algérie. Mémoire de magister. Institut national d'agronomie, Alger, 250p.
- Sylvain G., 1996.** Dendrométrie des peuplements. BTSA Gestion Forestière, v.1.1, Octobre 1996, 64p.
- Tidjani A., Biolders L., Ambouta M., 2009.** Dynamique saisonnière des paramètres déterminant l'érosion éolienne sur les pâturages dunaires du Niger oriental. Revue « *Géo-Eco-Trop* », N° 33, pp 39-56.
- UNESCO., 1972.** Etude des ressources en eau du Sahara septentrional, rapport sur les résultats du projet, conclusions et recommandations, 78p.
- Vinas A ., Joukov B., 1974.** Etude agro-pédologique du Touat – Gourara. Secrétariat d'état à l'hydraulique d'Algérie, 108p.
- Yapping S., 2008.** Physics and modeling of wind erosion. University of cologne, Germany, 452p.
- Zaafour M D., 2012.** Impact des décharges sauvages sur les zones Humides de la région d'El-Tarf. Mémoire de Magistère. Université de Badi Mokhtar Annaba, 153p.

**[hiddenunseen.blogspot.com](http://hiddenunseen.blogspot.com) 2018.**

# **ANNEXES**



# ANNEXE 01

## Fiche d'enquête d'ensablement

La date de l'enquête :

Wilaya : Adrar ; Région : Gourara ; Commune : ; Localité :

Nombre d'habitants : , activité économique dominante :

Coordonnées x ; y .

Altitude :

Topographie :

Aspect géomorphologique :

Organisme ou personne concerné par l'enquête :

Sexe ; âge : ; la fonction :

### 1. Avez-vous de problèmes d'ensablement dans votre région ?

Oui

Non

### 2. Quels sont les causes de ce phénomène ?

Climatiques :

Edaphiques :

Géomorphologiques :

Anthropiques :

3. Citez les conséquences de ce phénomène

Perte de terrains agricoles estimée en hectares

Ensablement des routes estimées en km

Ensablement des habitats en maison ou structure

Exode rurale estimée par personne

4. **Existent –ils des méthodes de lutte contre l’ensablement dans votre région ?**

Oui

non

Si oui citez les différentes méthodes de lutte adoptées

Quel est l’organisme responsable ayant installé ces méthodes de lutte ?

Adoptez-vous des paramètres techniques lors d’installation de ces techniques ?

Oui

non

Si oui citez ces paramètres

Adoptez-vous des paramètres scientifiques lors d’installation de ces techniques ?

Oui

non

Si oui citez ces paramètres

.....

5. **Existent-ils des travaux scientifiques (mémoire d’ingénieur ; mémoire de magister ; thèse de doctorat ; projet national de ou internationale de recherche..etc)**

Oui

non

Si oui citez ces travaux

# ANNEXE 02

## Résultats de l'enquête socio-économique par localités

Commune	Localité	Population	Terrain agricole ensablé (en ha )	Route avec risque d'ensablement (en km)	Habitats ensablés	Exode rural par individus	Longitude	Latitude	Altitude (en m)
Ksar Kadour	Ksar Kadour	1151	20 ha	40	30	30	0.37	29.58	340
Ksar Kadour	Tganet	475	10 ha	20	0	0	0.19	29.62	360
Ksar Kadour	Sidi Mansour	432	10 ha	1	40	10	0.41	29.74	377
Ksar Kadour	Timezlane	531	15 ha	2	20	10	0.38	29.65	358
Ksar Kadour	Tilghmine	385	10 ha	1	30	0	0.40	29.68	352
Ksar Kadour	Ouled Aaiache	3000	20ha	35	20	100	0.34	29.67	360
Ouled Said	Ouled Abdeli	2000	6 ha	5	5	200	0.24	29.42	378
Ouled Said	Aghlad	316	5 ha	0	10	40	0.18	29.37	265
Ouled Said	Hadj Gulmene	737	20 ha	1	11	0	0.28	29.42	260
Ouled Said	Azora	494	8 ha	5	21	100	0.25	29.43	355
Ouled Said	Ighzer	550	5 ha	0	15	10	0.32	29.38	233
Ouled Said	Kali	606	10 ha	3	30	20	0.22	29.40	376

<b>Timimoun</b>	<b>Timimoun (ville)</b>	<b>26262</b>	<b>2 ha</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>0</b>	<b>0.24</b>	<b>29.26</b>	<b>300</b>
<b>Timimoun</b>	<b>Massine</b>	<b>1400</b>	<b>6 ha</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>120</b>	<b>0.24</b>	<b>29.29</b>	<b>270</b>
<b>Timimoun</b>	<b>Ouadjda</b>	<b>1800</b>	<b>10 ha</b>	<b>2.5</b>	<b>15</b>	<b>25</b>	<b>0.20</b>	<b>29.14</b>	<b>260</b>
<b>Timimoun</b>	<b>Zaouit Sidi Belkacem</b>	<b>2400</b>	<b>2 ha</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0.21</b>	<b>29.23</b>	<b>280</b>
<b>Timimoun</b>	<b>Tala</b>	<b>300</b>	<b>30 ha</b>	<b>3</b>	<b>11</b>	<b>50</b>	<b>0.14</b>	<b>29.31</b>	<b>248</b>
<b>Timimoun</b>	<b>Tmana</b>	<b>240</b>	<b>5 ha</b>	<b>1.5</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>0.16</b>	<b>29.16</b>	<b>218</b>
<b>Tinerkouk</b>	<b>Zaouit Debbagh</b>	<b>6841</b>	<b>15 ha</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.71</b>	<b>29.70</b>	<b>350</b>
<b>Tinerkouk</b>	<b>Tabalkosa</b>	<b>1714</b>	<b>10 ha</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>30</b>	<b>0.69</b>	<b>29.79</b>	<b>360</b>
<b>Tinerkouk</b>	<b>Tazliza</b>	<b>631</b>	<b>30 ha</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>130</b>	<b>0.69</b>	<b>29.78</b>	<b>365</b>
<b>Tinerkouk</b>	<b>Ain Hamou</b>	<b>2375</b>	<b>20 ha</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>60</b>	<b>0.67</b>	<b>29.76</b>	<b>362</b>
<b>Tinerkouk</b>	<b>Fatis</b>	<b>3667</b>	<b>25 ha</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>30</b>	<b>0.65</b>	<b>29.72</b>	<b>362</b>
<b>Tinerkouk</b>	<b>Oudgha</b>	<b>752</b>	<b>10 ha</b>	<b>5</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>0.69</b>	<b>29.78</b>	<b>337</b>
<b>Aougrouit</b>	<b>Bouggemma</b>	<b>250</b>	<b>3 ha</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.33</b>	<b>28.76</b>	<b>295</b>
<b>Aougrouit</b>	<b>Zaouiet sid omer</b>	<b>3107</b>	<b>0 ha</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.33</b>	<b>28.73</b>	<b>295</b>
<b>Aougrouit</b>	<b>Tiberghamine</b>	<b>8443</b>	<b>7 ha</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.34</b>	<b>28.72</b>	<b>301</b>
<b>Aougrouit</b>	<b>Tala</b>	<b>1773</b>	<b>0 ha</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.34</b>	<b>28.69</b>	<b>298</b>
<b>Aougrouit</b>	<b>Zaouiet sid Abdela</b>	<b>300</b>	<b>0 ha</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.34</b>	<b>28.69</b>	<b>295</b>
<b>Aougrouit</b>	<b>Gsar El-Hadj</b>	<b>300</b>	<b>0 ha</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.35</b>	<b>12.43</b>	<b>295</b>

# ANNEXE 03

## Photos du matériel utilisé



**Photo 01 : Le niveau du chantier pour mesurer la hauteur de sable**



**Photos 02 : Roue de mesure de distance pour délimiter les placettes de relevés d'ensablement**

# ANNEXE 04

## Les espèces végétales constituant le cortège floristique des bandes vertes étudiées

Nom commun	Nom scientifique	Nom local
Le Tamarix	<i>Tamarix aphylla</i>	Atelaia
Le palmier dattier	<i>Phoenix dactylifera</i>	El nakhla
L'Olivier	<i>Olea europaea</i>	El zaitoun
Le Bois de reinette	<i>Dodonaea viscosa</i>	
	<i>Cornulaca monacantha</i>	El had
Laurier rose	<i>Nerium oleander</i>	El Defla
	<i>Zygophyllum album</i>	El aagaya
Le Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>	
Le Gattilier	<i>Vitex agnus-castus</i>	El kharouaa
Le Roseau	<i>Phragmites communis</i>	El Iraa
Le Chiendent	<i>Elymus repens</i>	El Nedjem
	<i>Traganum nudatum</i>	El Demrane
	<i>Randonia africana</i>	El Rtem
	<i>Acacia farnesiana</i>	
	<i>Farsetia aegyptiaca</i>	
L'Aristida	<i>Aristida pungens</i>	El Drin
Le Faux mimosa	<i>Leucaena leucocephala</i>	
Le Tamarix	<i>Tamarix gallica</i>	El Fersig

# ANNEXE 5

Article scientifique

Revue: International Journal of Ecology and development. Volume 33,  
N°4

Intitulé :

**Characterization of the green bands of the fighting against sand  
encroachment at the Gourara region in southwestern of Algeria**

<http://www.ceser.in/ceserp/index.php/ijed/issue/view/555>