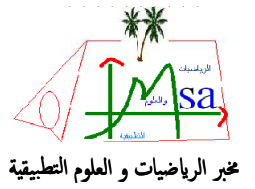




الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N° d'enregistrement  
/...../...../...../...../.....

Université de Ghardaïa

كلية علوم الطبيعة و الحياة و علوم الأرض

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre

قسم البيولوجيا

Département de Biologie

## THÈSE

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat 3<sup>ème</sup> cycle LMD

Domaine: Sciences de la Nature et de la Vie

Filière: Sciences biologiques

Spécialité: Ecologie saharienne

Utilisation des systèmes d'information géographique  
(SIG) et de la télédétection dans la gestion des  
ressources naturelles en milieu saharien: Cas de la  
région de Ghardaïa.

Soutenue publiquement le: 27/ 10/ 2021

Par

OULAD HEDDAR Meriem

Devant le jury composé de:

M. KHENE B.	MCA	Univ-Ghardaïa	Président
M. HALILAT M.T.	Pr.	Univ-Ouargla	Directeur de thèse
M. BENBRAHIM F.	MCA	ENS- Ouargla	Rapporteur
M. KARABI M.	MCA	Univ-Ouargla	Rapporteur
M. GUERGUEB El Yamine	MCA	Univ-Ghardaïa	Rapporteur

Année universitaire: 2020 /2021

## *Remerciements*

Je remercie, avant tout, dieu le tout puissant qui m'a permis de donner la force, le courage et la patience d'achever ce modeste travail.

Je souhaite remercier mon directeur de thèse, **M. HALILAT Mohammed Tahar**, professeur à l'Université KASDI Merbah (Ouargla) pour m'avoir accueilli au sein de son équipe. Je lui suis également reconnaissant pour le temps conséquent qu'il m'a accordé, ses qualités pédagogiques et scientifiques, ses conseils avisés, son écoute, sa patience et sa sympathie. J'ai beaucoup appris à ses côtés et je lui adresse ma gratitude pour tout cela.

J'adresse de chaleureux remerciements à **M. KHENE Bachir**, maître de conférences à l'université de Ghardaia pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de présider le jury de cette thèse.

Je voudrais remercier également les rapporteurs : **M. BENBRAHIM Fouzi**, maître de conférences à l'ENS (Ouargla), **M. KARABI Mokhtar**, maître de conférences (l'Université KASDI Merbah, Ouargla) et **M. GUERGUEB El Yamine** maître de conférences (Université de Ghardaia) d'avoir accepté d'évaluer cette thèse et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail.

Mes vifs remerciements vont aussi à **M. KRAIMAT Mohamed** maître de conférences (Université de Ghardaia) pour leurs chaleureux accueils et les aides qu'il m'a procuré tout au long de ce travail.

Je désire en outre remercier toute personne qui m'a accompagné et qui a contribué dans l'enrichissement de ce modeste travail.

## Dédicaces

*À mes chers parents (mère, père, grand-mère et grand-père) toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut, tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect et la reconnaissance Chers parents, aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti, pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.*

*À mes sœurs : Messacuda et Abba et frères : Seddik Mohammed. En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.*

*À mes oncles Rabeih et Kaddour pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance.*

*À mon époux et mes enfants Anès et Inès. La famille qui m'a accompagné par ses prières, sa douceur, puisse Dieu lui prêter longue vie et beaucoup de santé et de bonheur.*

*À toutes personnes qui me connaissent et à ceux qui ont participé à l'élaboration de ce travail et je les ai omis de les citer.*

*Je dédie ce modeste travail*

## **Utilisation des systèmes d'information géographique (SIG) et de la télédétection dans la gestion des ressources naturelles en milieu saharien: Cas de la région de Ghardaïa.**

### **Résumé**

La région de Ghardaïa, située dans le nord Sahara Algérien a connu des aléas liés à l'ensablement qui ne cessent de s'amplifier au cours de ces dernières années. Ce problème constitue une entrave au développement de la région vu qu'elle confronte à un grand erg (erg El Anaguer). Le modèle MEDALUS a été utilisé dans ce présent travail pour évaluer la sensibilité des zones à l'ensablement. La cartographie de l'indice de sensibilité a été élaborée suite à la combinaison pondérée de quatre indicateurs majeurs directement liés au phénomène étudié. Les indices de qualité pour chaque couche d'information (climat, sol, végétation et aménagement) ont été compilés pour obtenir par la suite une carte thématique de synthèse. Les résultats de carte de sensibilité nous amènent à constater que 86,31% de la surface cartographiée sont considérés comme zones fragiles (sensibles à l'ensablement), alors que 9,30% des zones sont critiques (très sensible à l'ensablement). Les zones dites potentielles ne représentent que 4,39% de l'aire totale dans cette présente étude. La télédétection spatiale a été, de même ; employée dans ce présent travail en utilisant les méthodes de post-classification supervisée afin d'apercevoir les changements au niveau des classes d'occupation du sol entre les deux périodes 2000 et 2015 en utilisant des images satellites Landsat provenant de deux capteurs différents (ETM+ et OLI8). Les résultats obtenus montrent une extension de l'ordre de 166,4%, des zones urbaines, liées essentiellement à l'explosion démographique, les activités industrielles et agricoles.

**Mots-clés:** SIG, sensibilité, ensablement, MEDALUS, Télédétection, régions arides, Ghardaïa.

## **Use of the geographic information systems (GIS) and remote sensing in natural resources management on Saharan environment: Case of Ghardaia region.**

### **Abstract**

The region of Ghardaïa, located in the northern Algerian Sahara has experienced hazards linked to silting up which have continued to increase in recent years. This problem constitutes an obstacle to the development of the region since it faces a large erg (erg El Anaguer). The *MEDALUS* model was used in this present work to assess the sensitivity of areas to silting up. The mapping of the sensitivity index was developed following the weighted combination of four major indicators directly linked to the phenomenon studied. The quality indices for each layer of information (climate, soil, vegetation and development) were compiled to subsequently obtain a thematic summary map. The results of the sensitivity map lead us to note that 86.31% of the mapped area are considered to be fragile areas (sensitive to silting up), while 9.30% of the areas are critical (very sensitive to silting up). The so-called potential zones represent only 4.39% of the total area in this present study. Remote sensing has been also employed in this present work using supervised post-classification methods in order to detect changes in land cover classes between the two periods 2000 and 2015 using Landsat satellite images from two different sensors (ETM + and OLI8). The results obtained show an expansion of 166.4% of urban areas, mainly linked to the population explosion, industrial and agricultural activities.

**Keywords:** GIS, sensitivity, silting, MEDALUS, Remote sensing, arid regions, Ghardaïa.

استخدام نظم المعلوماتية الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد في إدارة الموارد الطبيعية في البيئة الصحراوية: دراسة حالة منطقة غرداية.

### الملخص

شهدت منطقة غرداية ، الواقعة في شمال الصحراء الجزائرية ، مخاطر مرتبطة بغزو الرمال والتي استمرت في الازدياد في السنوات الأخيرة. وتشكل هذه المشكلة عقبة أمام تطور المنطقة باعتبار أنها بمحاذاة عرق كبير (عرق الأناقور). تم استخدام نموذج *MEDALUS* في هذا العمل الحالي لتقييم حساسية المناطق لزحف الرمال. حيث تم تطوير خريطة مؤشر الحساسية بعد توليفة مرجحة من أربعة مؤشرات رئيسية مرتبطة ارتباطًا مباشرًا بالظاهرة المدروسة. و التي من خلاله تم تجميع مؤشرات الجودة لكل طبقة من المعلومات (المناخ والتربة والغطاء النباتي والتنمية) للحصول لاحقًا على خريطة موضوعية شاملة. تقودنا نتائج خريطة الحساسية إلى ملاحظة أن 86.31٪ من مساحة الخريطة تعتبر مناطق هشة (حساسة)، في حين أن نسبة 9.30٪ من المناطق حرجة (حساسة جدًا). خلصت الدراسة أيضًا إلى أن المناطق الغير المتأثرة بزحف الرمال لا تمثل إلا 4.39٪ من المساحة الإجمالية في هذه الدراسة. تم أيضًا استخدام الاستشعار عن بعد في هذا العمل باستخدام طرق التصنيف اللاحق الخاضعة للإشراف من أجل الكشف عن التغيرات في فئات الغطاء الأرضي بين الفترتين 2000 و 2015 باستخدام صور القمر الصناعي لاندسات من جهاز استشعار مختلفين (ETM+ و OLI8). أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها توسعًا بنسبة 166.4٪ في المناطق الحضرية ، و الذي يرتبط بشكل أساسي بالانفجار السكاني وتزايد الأنشطة الصناعية والزراعية في منطقة غرداية .

**الكلمات المفتاحية:** نظم المعلوماتية الجغرافية ، الحساسية ، زحف الرمال ، *MEDALUS* ، الاستشعار عن بعد ، المناطق الجافة، غرداية.

## Liste des abréviations

**CEC** : Capacité d'échange cationique

**ENVI** : *ENvironment for Visualizing Images*

**ESRI** : *Environmental Systems Research Institute*

**I<sub>DM</sub>** : Indice d'aridité de Martonne

**IDL** : *Interactive Data Language*

**IDW** : *Inverse Distance Weighted*

**INCT** : Institut National pour la Cartographie et la Télédétection

**IQA** : Indice de qualité d'aménagement

**IQC** : Indice de qualité du climat

**IQS** : Indice de qualité du sol

**IQV** : Indice de qualité de végétation

**ISD** : Indice de sensibilité globale à la désertification

**HWSD** : *Harmonized World Soil Database*

**MEDALUS** : Mediterranean Desertification And Land Use

**SIG** : Systèmes d'information géographique

**SRTM** : *Shuttle Radar Topography Mission*

Liste des figures

N°	Titre	Page
Figure 01	Carte administrative de la Wilaya de Ghardaïa	06
Figure 02	Carte thématique de superficie Wilaya de Ghardaïa	07
Figure 03	Carte démographique de la Wilaya de Ghardaïa en (2008 - 2018)	08
Figure 04	Carte milieu physique de la Wilaya de Ghardaïa	10
Figure 05	Carte géologique de la Wilaya de Ghardaïa	12
Figure 06	Carte hydrogéologique de la Wilaya de Ghardaïa	14
Figure 07	Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен pour la région de Ghardaïa (1984-2017)	14
Figure 08	Etage bioclimatique de la région de Ghardaïa sur le Climagramme d'Emberger (1984-2017)	15
Figure 09	Répartition de l'avifaune en fonction des zones humides dans la wilaya de Ghardaïa	17
Figure 10	Découpage géographique et localisation des plans topographiques 1/200000 (INCT, 2015 modifiée)	19
Figure 11	Assemblage des cartes topographiques 1/200000 de la wilaya de Ghardaïa	20
Figure 12	Interface de logiciel <i>ARCGIS 10.3</i>	21
Figure 13	Interface de logiciel <i>ENVI 5.2</i>	22
Figure 14	Répartition géographique des relevés GPS de prospection de la wilaya de Ghardaïa	23
Figure 15	Situation des stations météorologiques	28
Figure 16	Carte d'occupation du sol 2015 de la wilaya de Ghardaïa	30
Figure 17	Carte classes pédologiques de la wilaya de Ghardaïa	32
Figure 18	Carte des variations d'altitude de la wilaya de Ghardaïa	34
Figure 19	Carte des classes des pentes de la wilaya de Ghardaïa	35
Figure 20	Carte qualité des A. textures, B. matériaux parentaux et C. classes des pentes de la wilaya de Ghardaïa	37
Figure 21	Carte qualité d'indice du sol de la wilaya de Ghardaïa	38
Figure 22	Carte des variations des températures minimales de la wilaya de Ghardaïa	40
Figure 23	Carte des variations des températures maximales de la wilaya de Ghardaïa	41
Figure 24	Carte des variations des températures moyennes de la wilaya de Ghardaïa	42



## Liste des figures

Figure 25	Carte des variations des précipitations cumulées de la wilaya de Ghardaïa	43
Figure 26	Carte des variations de l'indice d'aridité de la wilaya de Ghardaïa	44
Figure 27	Carte des directions et vitesses du vent de la wilaya de Ghardaïa	45
Figure 28	Carte des angles géographiques et directions d'exposition de la wilaya de Ghardaïa	46
Figure 29	Carte des qualités: A. Fréquences des vents dominats, B. Vitesse du vent et C. Expositions de la wilaya de Ghardaïa	47
Figure 30	Rose des vents établie sur WRPLOT	47
Figure 31	Carte qualité d'indice du climat de la wilaya de Ghardaïa	48
Figure 32	Répartition des végétations en fonction de la base des données mondiale	49
Figure 33	Carte des qualités: A. Couverture végétale, B. Risque d'incendie, C. Protection contre l'érosion et D. Résistance à la sécheresse de la wilaya de Ghardaïa	50
Figure 34	Carte qualité d'indice du climat de la wilaya de Ghardaïa	51
Figure 35	Carte qualité de charge de cheptels de la wilaya de Ghardaïa	53
Figure 36	Carte qualité d'intensité des activités agricoles de la wilaya de Ghardaïa	54
Figure 37	Carte qualité d'exploitation minière de la wilaya de Ghardaïa	55
Figure 38	Carte qualité taux d'accroissement des populations de la wilaya de Ghardaïa.	56
Figure 39	Carte qualité d'installation des digues de la wilaya de Ghardaïa	57
Figure 40	Carte qualité des travaux des mises en valeur de la wilaya de Ghardaïa	58
Figure 41	Carte qualité disposition des aires protégées et zones humides de la wilaya de Ghardaïa	59
Figure 42	Carte qualité d'indice d'aménagement de la wilaya de Ghardaïa	60

## Liste des figures

Figure 43	Carte d'indice de sensibilité globale	62
Figure 44	Carte d'occupation du sol de la Wilaya de Ghardaïa en 2000	64
Figure 45	Carte d'occupation du sol de la wilaya de Ghardaïa en 2015	65
Figure 46	Exemple de régression des formations dunaires	66
Figure 47	Exemple de progression des formations dunaires	68

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau I	Caractéristiques multispectrales des capteurs OLI et TIRS du Landsat 8 (USGS, 2015)	18
Tableau II	Classes et indices caractéristiques des paramètres liés à la qualité du sol	25
Tableau III	Classes de végétation, qualités et indices	26
Tableau IV	Classes géomorphologiques, superficies et pourcentages.	31
Tableau V	Description des classes pédologiques	33
Tableau VI	Description et classification des pentes	36
Tableau VII	Description des qualités des pentes	37
Tableau VIII	Description des qualités d'indice du sol	39
Tableau IX	Description des qualités d'indice du climat	49
Tableau X	Description des qualités d'indice de végétation	51
Tableau XI	Description des qualités d'indice d'aménagement	61
Tableau XII	Indice de sensibilité	63
Tableau XIII	Classes d'occupation, superficies et pourcentages de la Wilaya de Ghardaïa en 2000.	63
Tableau XIV	Evolution des classes d'occupation entre la période 2000 et 2015	66

<b>Table des matières</b>	
Introduction générale.....	01
<b>Matériel et méthodes</b>	
<b>Chapitre I : Présentation de la région d'étude.....</b>	<b>03</b>
1.1. Localisation et cadre administratif.....	03
1.2. Géomorphologie.....	03
1.2.1. Chebka.....	04
1.2.2. Régions des dayas.....	07
1.2.3. Plaines de dalle hamadienne.....	10
1.2.4. Ergs.....	12
1.3. Sol.....	15
1.4. Géologie.....	16
1.4.1. Crétacé.....	17
1.4.2. Tertiaire.....	17
1.4.3. Quaternaire.....	18
1.5. Ressources en eau.....	23
1.5.1. Eaux de surface.....	26
1.5.2. Eaux souterraines.....	26
1.5.2.1. Nappe phréatique.....	29
1.5.2.2. Nappe du Continental Intercalaire (CI) .....	31
1.5.2.3. Nappe du Complexe Terminal (CT) .....	32
1.6. Climat.....	33
1.7. Flore.....	33
1.8. Faune.....	33
<b>Chapitre II. Approche méthodologique</b>	
2.1. Matériel.....	36
2.1.1. Données géographiques .....	37
2.1.2. Logiciels utilisés.....	38
2.2. Evaluation de la sensibilité à l'ensablement par l'approche <i>MEDALUS</i> .....	51
2.2.1. Préparation des données spatiales et géotraitement.....	51

<b>2.2.2. Classification supervisée des images satellites.....</b>	<b>51</b>
<b>2.2.3. Modélisation des données et extraction des indicateurs de qualité.....</b>	<b>52</b>
<b>2.2.3.1. Qualité du sol (IQS).....</b>	<b>52</b>
<b>2.2.3.2. Qualité de végétation (IQV) .....</b>	<b>66</b>
<b>2.2.3.3. Qualité du climat (IQC) .....</b>	<b>70</b>
<b>2.2.3.4. Qualité d'aménagement (IQA) .....</b>	<b>71</b>
<b>2.3. Détection des changements par télédétection.....</b>	<b>74</b>
	<b>75</b>
<b>Chapitre III. Résultats et discussion</b>	
<b>Conclusion et perspectives.....</b>	<b>88</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>91</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>96</b>

# **Introduction générale**

### Introduction générale

Le Sahara, qui est le plus grand des déserts, est caractérisé par des conditions édapho-climatiques très contraignantes à la survie spontanée des êtres vivants. Néanmoins, cet écosystème reste un milieu vivant pourvu d'un couvert végétal particulier, adapté aux conditions désertiques les plus rudes, caractérisés par de fortes chaleurs et des pluviométries faibles (Chehema, 2005). En effet, il est considéré comme le plus expressif et typique par son extrême aridité, dans lequel les conditions désertiques atteignent leur plus grande âpreté (Toutain, 1979; Ozenda, 1991).

Cependant, en Afrique, ces zones arides couvrent les 2/3 de la superficie du continent africain. Plus de 73 % des terres arides sont touchés par la désertification. Tandis qu'en Algérie, 20 millions d'ha sont occupés par le Sahara et 23 millions d'ha sont touchés par la désertification (zones steppique et semi arides). Cette dernière connaît de multiples problèmes d'ordre environnemental, en particulier, ceux liés à la dégradation du milieu naturel (flore, sol...) comme l'érosion hydrique (envasement des barrages et perte des terres agricoles) et éoliennes (désertification et ensablement). Ce phénomène assimilé à un risque majeur, prend en Afrique et notamment dans les pays du Maghreb et tout particulièrement en Algérie des proportions alarmantes et menace la survie des populations des zones arides et semi arides et hypothèque la sécurité alimentaire (Yagoubi et Temar, 2006). Ce processus de dégradation s'accroît de plus en plus suite à l'irrégularité des précipitations, à la recrudescence des périodes de sécheresse, et aux pressions anthropiques accrues dans ces milieux déjà fragiles (Bensaid, 2006).

A l'instar des régions arides d'Algérie, dans la région de Ghardaïa, située au Sud-Centre, l'avancée des sables ne cesse de s'amplifier et d'engloutir le système oasien des palmeraies et d'agglomérations durant ces dernières années. Malgré les efforts déployés en termes de lutte, le processus de dégradation est loin d'être maîtrisé. Vu l'étendue de territoire et les actions menées qui sont souvent traditionnelles et à échelle restreinte (locale)(Côte, 1992). L'atténuation des effets de dégradation des sols par le biais d'une approche participative et intégrée s'avère donc nécessaire afin d'évaluer les ressources naturelles et d'en assurer une gestion durable (Ishii, 2014).

La fragilité de ces zones dont leur écosystème, se trouve les premières zones soumises au phénomène de la dégradation et d'ensablement ainsi que la complexité des facteurs extra

zonaux mène à une difficulté de compréhension de ce phénomène. En effet, il s'agit d'un effet combiné des actions édapho-climatiques, des facteurs géologiques et géomorphologiques. Il est donc évident que l'explication ne se limite pas uniquement aux seuls facteurs locaux sur des régions analogues et indispensables (Bouarfa, 1995)

Néanmoins, la télédétection et les systèmes d'information géographique (SIG) qui lui sont généralement associés, constituent des outils modernes permettant l'étude complexe des phénomènes environnementaux à l'échelle spatiale et temporelle (Bordin, 2006). Ce sont des techniques très efficaces utilisées de plus en plus pour aider à la gestion des différents problèmes liés à l'environnement (Zaharia, 2010). De plus, La télédétection satellitaire est actuellement un des seuls outils permettant d'acquérir des informations détaillées en tout point du globe terrestre (ou presque), rapidement et de manière objective, régulière et répétitive, permettant ainsi un suivi des événements environnementaux (pollution, feu de forêts, séisme, inondation, désertification, etc.). Elle permet également des applications dans de nombreux domaines comme l'agriculture, la forêt, l'hydrologie et les ressources en eau, les océans, la géologie, la cartographie, l'urbanisme, le cadastre, ou bien encore les renseignements stratégiques (la majeure partie des techniques de télédétection a d'abord été développée à des fins militaires) (CSFD, 2011)

Tenant compte, des facteurs de désertification que ce soit naturel ou anthropique, on cherche à associer à ces facteurs des indicateurs permettant d'évaluer le risque potentiel de désertification ou la gravité de la désertification d'une aire donnée, une fois compris les processus qui caractérisent ce phénomène. Ces indicateurs permettront d'alerter et d'aider les autorités locales ou nationales à entreprendre des actions adéquates concernant la gestion de l'environnement. Le rôle de la télédétection dans ce contexte est de permettre via des « variables dérivées » l'évaluation de ces indicateurs, notamment ceux d'ordre physique et écologique, et ainsi de déterminer les processus de désertification (CSFD, 2011).

De nombreux travaux traitant le problème de la désertification, de l'ensablement des espaces steppiques ainsi que de la sécheresse dans les zones arides et semi-arides ont été publiés ces dernières années. nous citerons le travail de Murius (1995) qui traite le problème évolutif du phénomène d'ensablement et ses impacts négatifs sur les mangroves du Sénégal, l'étude scientifique sur la sécheresse et l'aridité et leur impact sur la désertification (Rognon, 1996) le travail de recherche sur le développement de



l'agriculture dans les régions arides et semi arides marocaines (Yacoubi *et al.*, 1998). Dans les régions arides et semi arides algériennes, nous citerons les travaux réalisés par Callot *et al.*, (1996). Ces dernières années une nouvelle approche a été introduite, basée sur le principe de la morphologie mathématique.

De ce fait, la surveillance environnementale, à l'aide des outils SIG (Systèmes d'Information Géographique), constitue donc une réponse aux besoins exprimés par les gestionnaires (Sghaier *et al.*, 2005; Khiry, 2007). De même, l'analyse de la variabilité spatiale en associant des indicateurs de l'environnement et d'occupation des sols est considérée actuellement comme un moyen efficace pour mieux évaluer l'ampleur de la dégradation et repérer les zones censées être critiques (Sun *et al.*, 2005; Kestens *et al.*, 2011).

L'objectif principal de ce présent travail est d'étudier la vulnérabilité de la région de Ghardaïa à l'ensablement, de part sa situation proche à l'Erg occidental, par une approche analytique spatiale en se basant sur des indicateurs de qualité et en s'inspirant de l'approche MEDALUS (Mediterranean Desertification And Land Use), préconisée pour la gestion de vulnérabilité des milieux fragiles en zones méditerranéennes (Kosmas *et al.*, 1999). L'analyse de la dynamique spatio-temporelle à l'aide des méthodes de télédétection spatiale est, de même, adoptée dans cette étude en utilisant des données satellitaires relatives à la région pour deux capteurs différents (ETM+ et OLI8) afin de mettre en évidence les éventuels changements parvenus entre les classes d'occupation du sol durant la période allant de 2000 au 2015.

# **Matériel et méthodes**

## **Chapitre I: Présentation de la région d'étude**

## 1. Présentation de la région d'étude

### 1.1. Localisation et cadre administratif

La Wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord de Sahara. Elle est issue du découpage administratif du territoire de 1984. L'ensemble de la nouvelle Wilaya dépendait de l'ancienne Wilaya de Laghouat. Il est composé des anciennes dairates de Ghardaïa, Metlili et El-Ménéa (D.P.S.B., 2017). Ses coordonnées géographiques selon le système longitude latitude WGS 84 sont :

- Altitude 480m.
- Latitude 32°30' Nord.
- Longitude 3° 45' Est

La Wilaya de Ghardaïa est limitée (figure 1) :

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat (**200 Km**) ;
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (**300 Km**) ;
- A l'Est par la Wilaya de Ouargla (**190 Km**) ;
- Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset (**1370 Km**) ;
- Au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar (**400 Km**) ;
- A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh (**350 Km**).

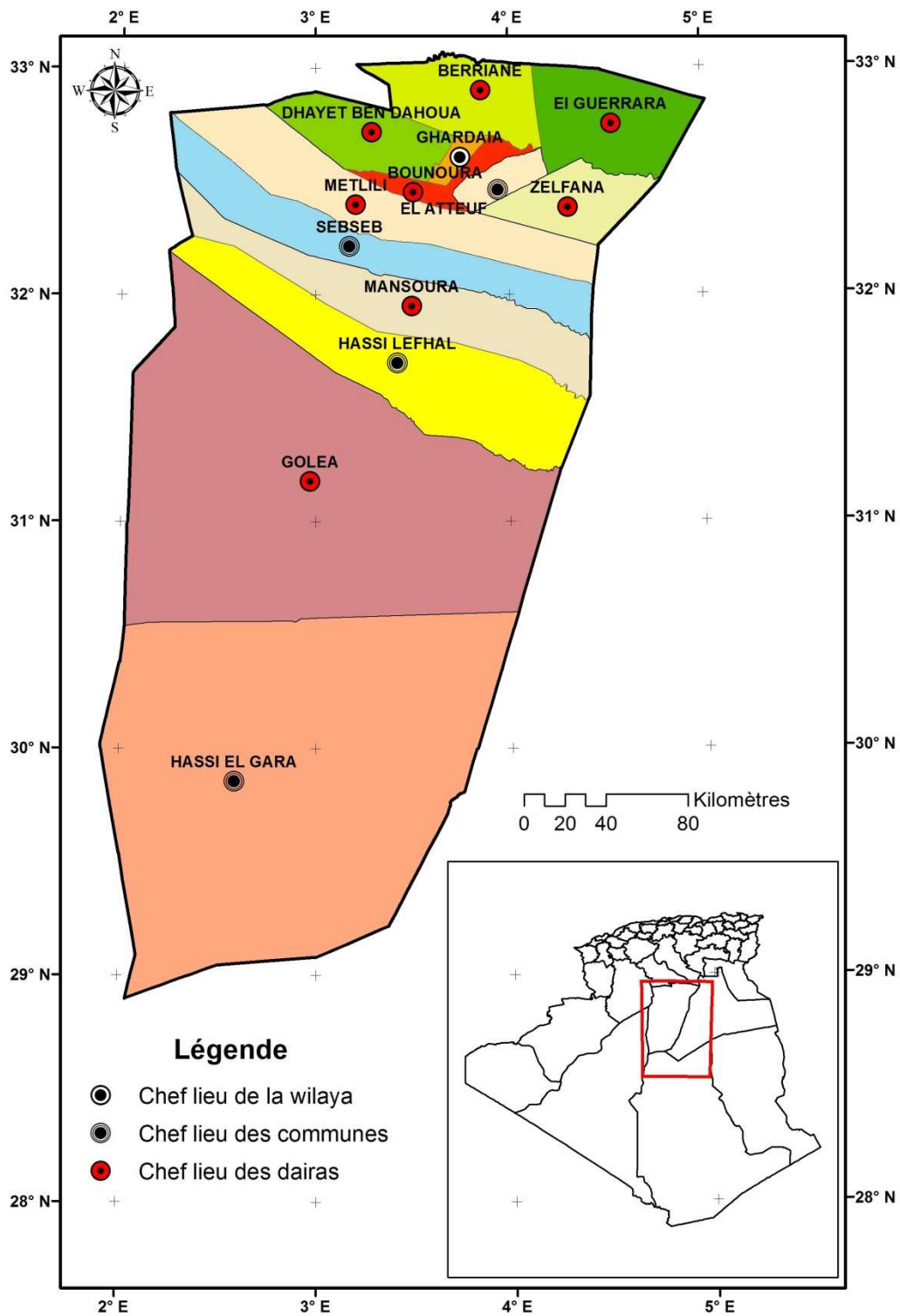
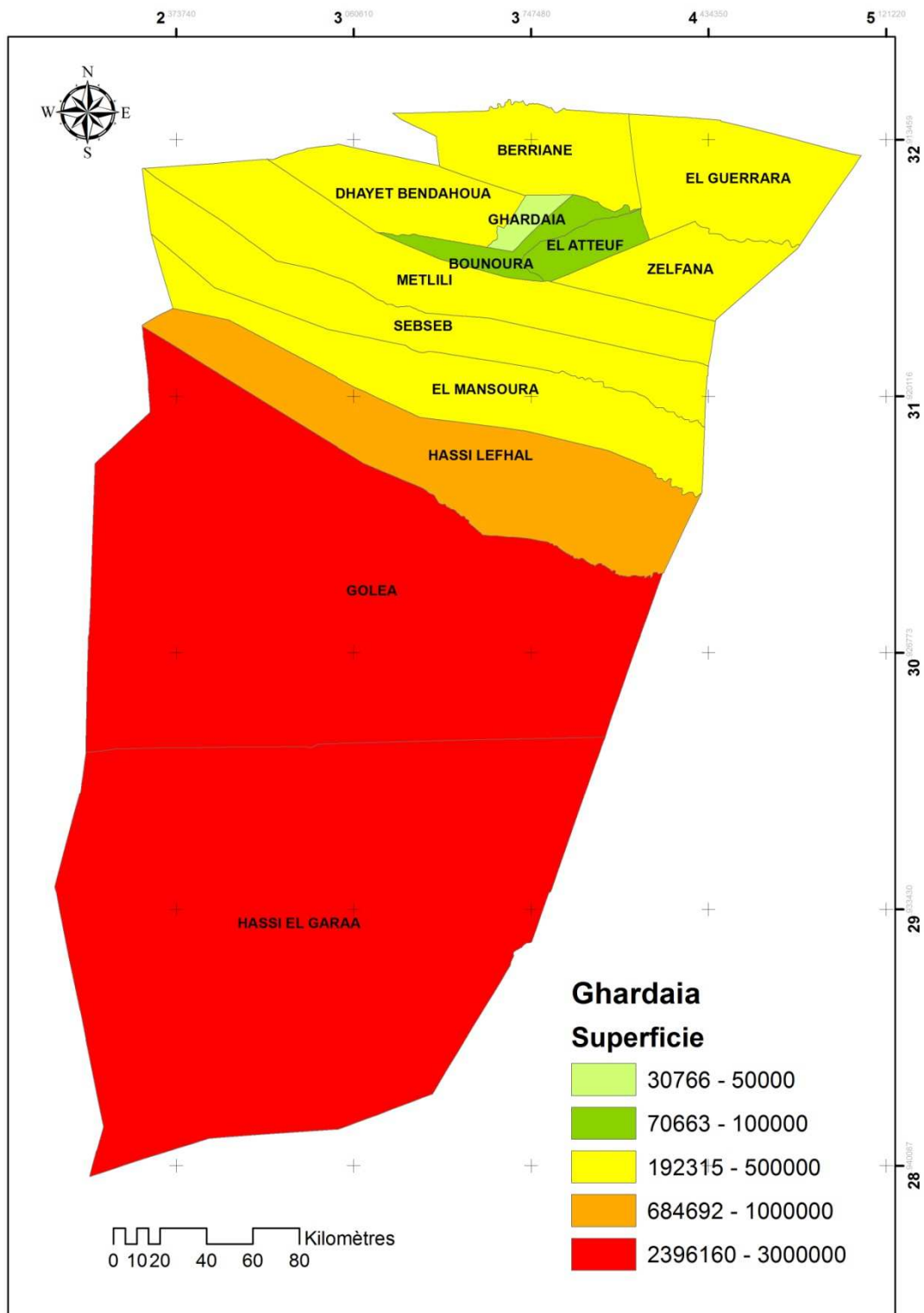


Figure 1: Carte administrative de la Wilaya de Ghardaïa.

La Wilaya couvre une superficie de 84660,12 km<sup>2</sup> se répartissant par une carte thématique (figure 2).



**Figure 2:** Carte thématique de superficie Wilaya de Ghardaïa.

la population de la wilaya de Ghardaïa à la fin 2018 est enregistré par un totale **471.656 habitants** par contre **463.680** en 2017 par une augmentation envirent **7.976** et un taux d'accroissement démographique dégressif de l'ordre de **1,72 %** en **2018** (figure 03).

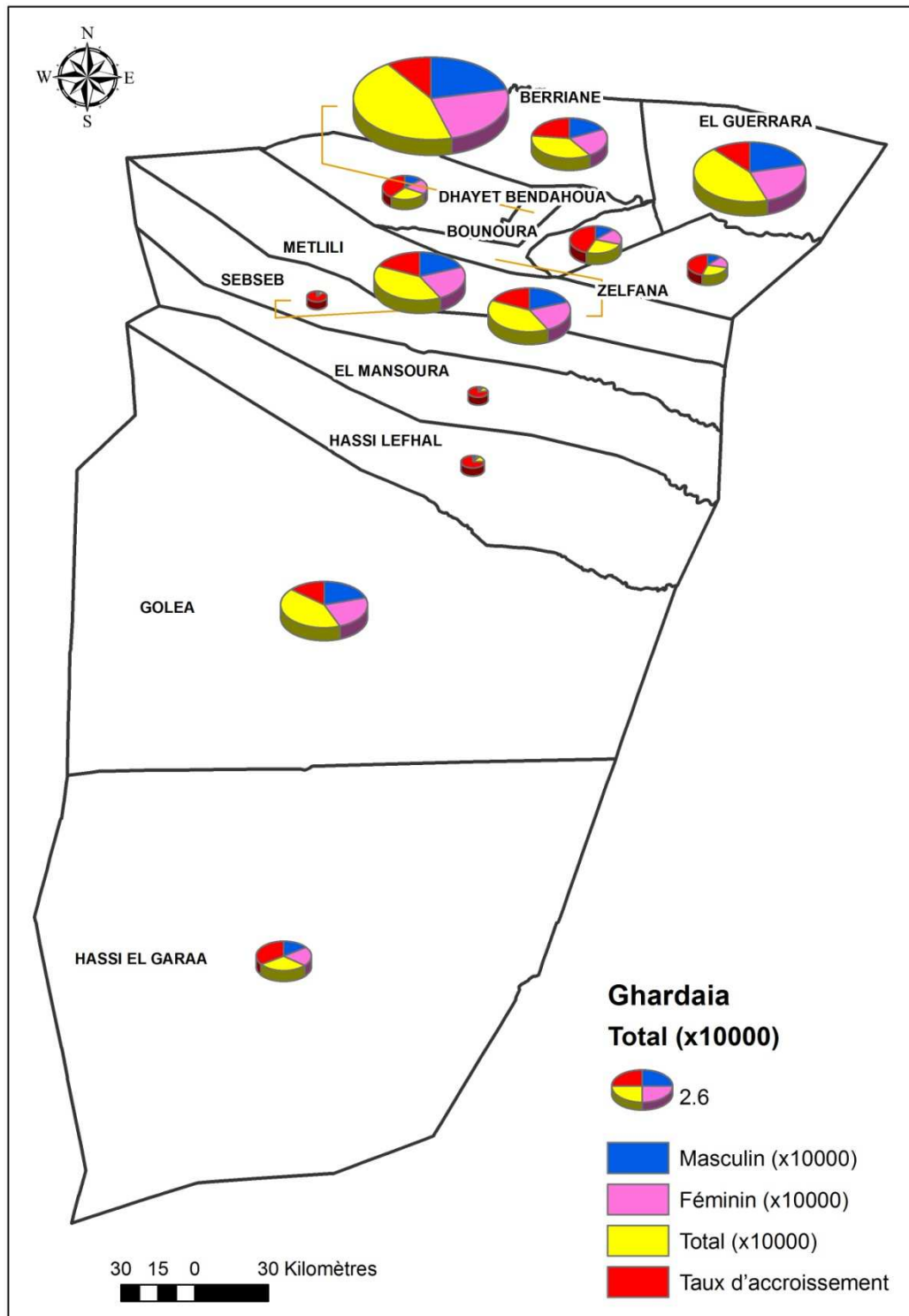


Figure 3: Carte démographique de la Wilaya de Ghardaïa en (2008 - 2018).

## 1.2. Géomorphologie

La région de Ghardaia fait partie intégrante du plateau désertique du Nord Sahara, limitée par les deux ergs oriental et occidental. Il correspond à un ensemble orographique globalement homogène qui occupe une grande partie de la Wilaya de Ghardaïa (Nouh-Mefnune, 2006; Miourigh, 2011). On distingue, en effet, les formations géomorphologiques suivantes (figure 04):

### 1.2.1. Chebka

Correspond à un vaste plateau crétacé rocheux, composé de terrains essentiellement carbonatés, découpé en tous les sens par des petits ravins irréguliers plus ou moins profonds et qui semblent s'enchevêtrer les uns des autres. Elle occupe une superficie d'environ 8000 km<sup>2</sup> (Coyne, 1989), soit 21% de la totalité de la zone. Pavard (1975), décrit les régions de Chebka comme étant un plateau secondaire qui émerge des dépôts d'origine pluviale et éolienne, constitué par des calcaires dolomitiques bruns, à structure cristalline, stratifiés en bancs d'une centaine de mètres d'épaisseur qui surmontent des formations marneuses ou argileuses. Il se lève, vers l'Ouest, d'une manière continue et se termine brusquement à la grande falaise d'El-Loua qui représente la coupe naturelle et oblique de cette formation. On compte au total neuf communes (Ghardaia, Berriane, Daya Ben Dahoua, Bounoura, El-Ateuf, Metlili, Sebseb, Mansoura et Hassi L'fehel) qui sont situées en toute ou une partie sur ce plateau (Ducos *et al.*, 1962).

### 1.2.2. Régions des dayas

De substratum miopliocène, les dayas sont les résultats des phénomènes karstiques de dissolution souterraine, entraînant à la fois un approfondissement de la dépression et son extension par corrosion périphérique (Barry et Faurel, 1977). Elle s'étend du Sud de l'Atlas Saharien au méridien de Laghouat, sur laquelle, des minéraux argileux s'accumulent pour former de petites mares temporaires occupant une petite partie de la région (Abonneau, 1983).

### 1.2.3. Plaines de dalle hamadienne

Situées à l'Est de la région de Ghardaia, ce sont des formations solides et caillouteuses, de substratum pliocène appelés aussi regs. Elles sont à l'origine d'une déflation de la roche en pierraille anguleuse formée de polyèdres et qui parsème à la surface. Elles occupent les communes de Zelfana, Bounoura et El-Ateuf (Abonneau, 1983; Lebatt et Mahmat Sakher, 1997).

### 1.2.4. Ergs

Des formations sableuses qui sont à l'origine de l'extension de l'erg occidental, constituées de cordons dunaires particulièrement denses et élevés (Erg Ennagueur), répartis principalement en rides, voiles sableux, nebkas, massifs et autres modèles dunaires (Djili, 2004).

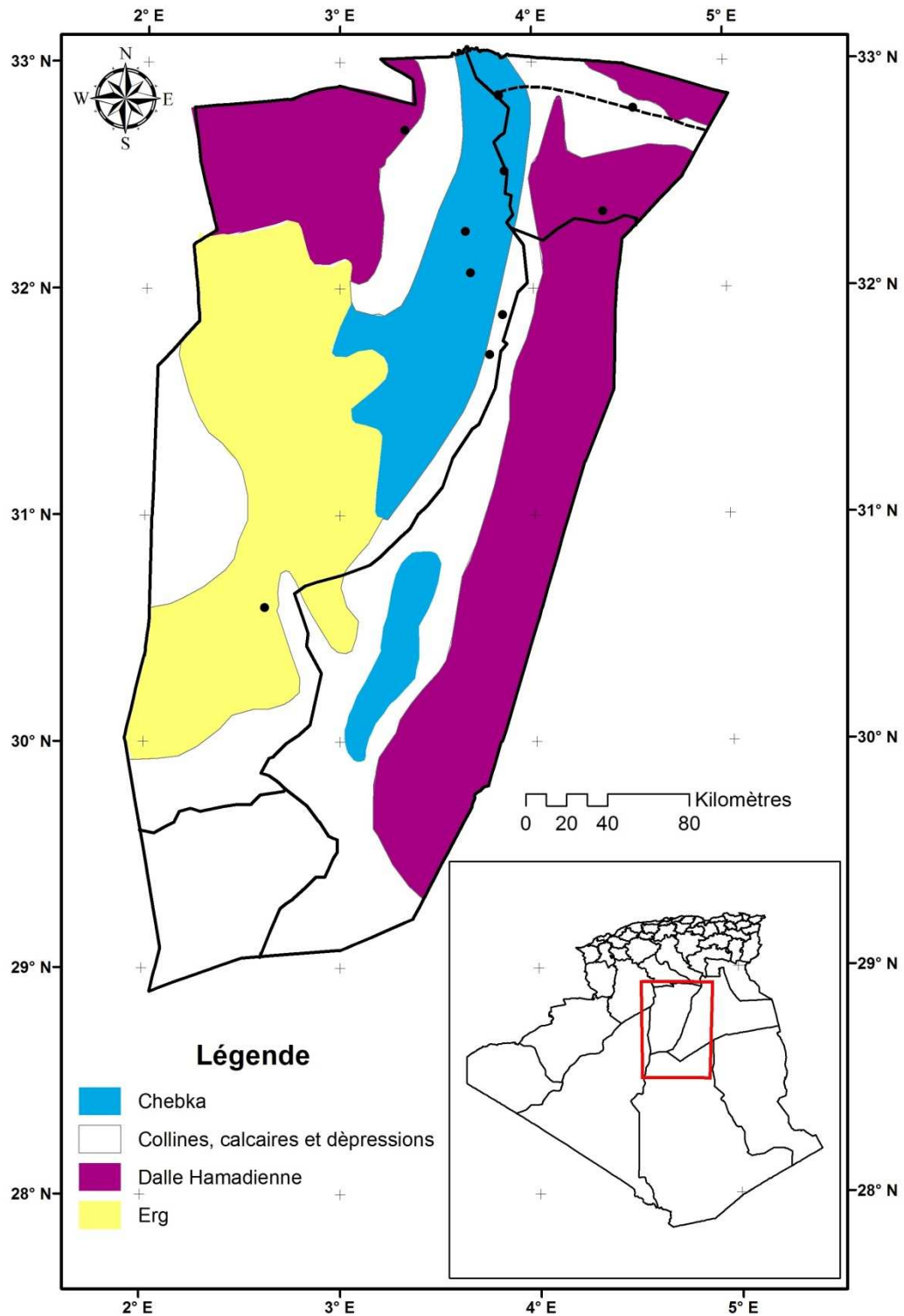


Figure 4: Carte milieu physique de la Wilaya de Ghardaïa.



### 1.3. Sol

La région de Ghardaia est caractérisée par des sols peu évolués d'une texture sablo-limoneuse et d'un apport alluvial et éolien (Pavar, 1975; Abonneau, 1983). Ils sont plutôt des sols squelettiques, peu à modérément calcaires, alcalins à fortement alcalins (Daddi Bouhon, 1997). Le taux de la matière organique est très faible (<1%), ceci est dû à l'aridité du climat qui favorise la minéralisation rapide du moindre débris organique. Ce sont des sols de teneur faible en gypse et d'une capacité d'échange cationique (CEC) faible (<5 méq/100g). Ils sont souvent peu salés et possèdent une texture assez constante qui permet un drainage naturel suffisant (Belleragueb, 1996).

### 1.4. Géologie

Localisée dans le domaine du Craton Nord-Africain, aux bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, la géologie de la région est composée essentiellement de dépôts du Crétacé, Tertiaire et Quaternaire (figure 05):

#### 1.4.1. Crétacé

Cette formation, qui caractérise une grande partie de la région de Chebka, est formée d'une double dalle calcaire (dure ou dolomitique) (Fabre, 1976). Il est représenté par :

- l'Albien : recoupé uniquement par des sondages et représenté par des sables fins à grès et d'argiles vertes;
- le Cénomaniens : formé par une alternance de bancs d'argiles, de dolomies, de calcaires dolomitiques et de gypse anhydre;
- le Turonien : série entièrement carbonatée, forme l'ossature de la Chebka du M'zab et constitue le réservoir aquifère principal. Il est nettement formé de calcaires dolomitiques à la base et de calcaires crayeux blancs au sommet (Mellak, 2009).

#### 1.4.2. Tertiaire

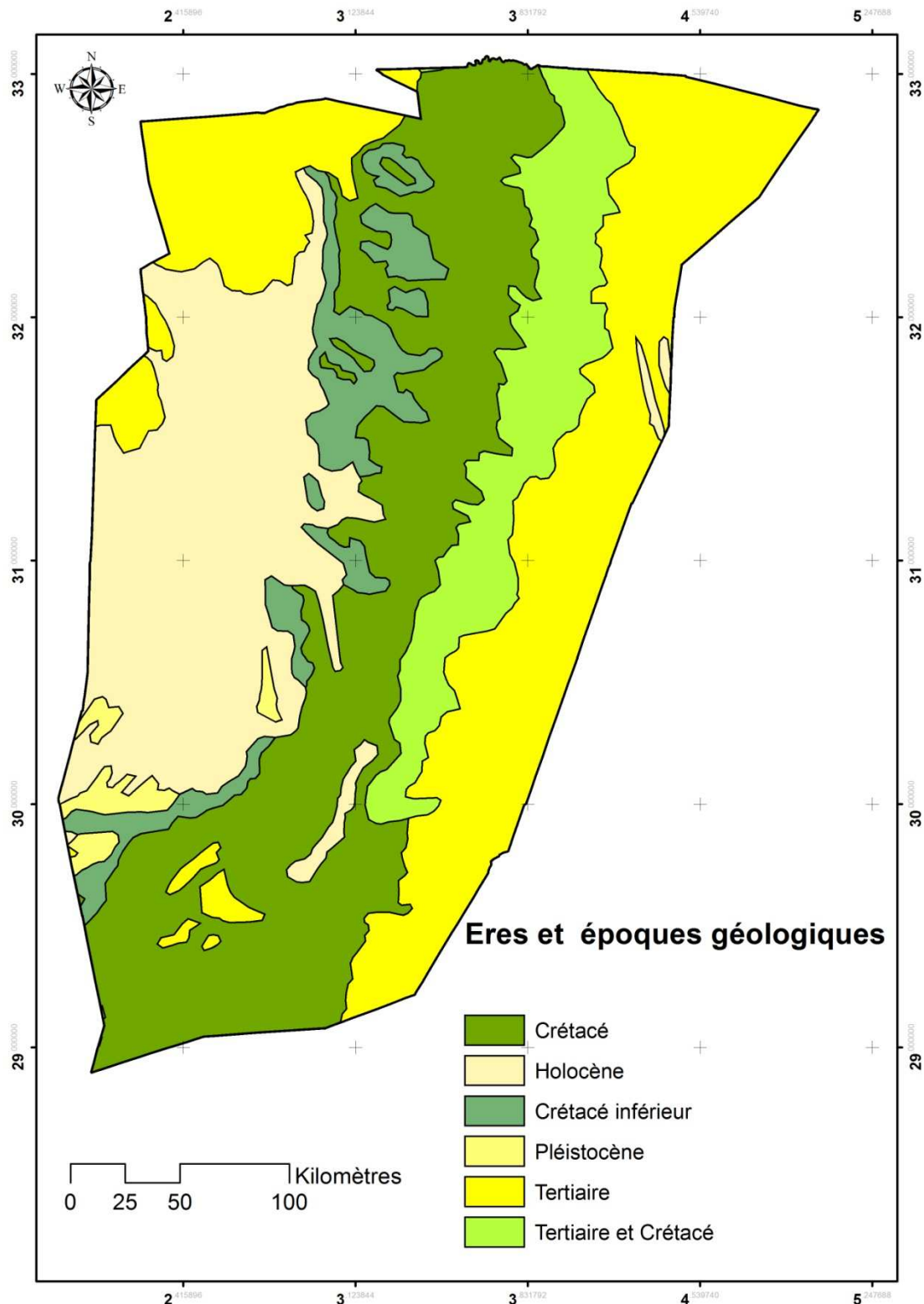
Il s'agit, en majeure partie, de produits d'altérations superficielles, formé par :

- le Sénonien : qui affleure partout sur les bordures Est et Nord de la Chebka. Il correspond au Sénonien à assises marines ou lagunaires, argiles gypsifères et gypse;
- le Néogène : développé à l'Est de la région et repose en discordance sur les formations détritiques récentes qui occupent les dépressions et qui s'étendent largement au Sud;
- le Miocène : constitué de conglomérats, brèches siliceux et calcaires avec une alternance de limons carbonatés et sableux, d'argiles et de sables (O.R.G.M., 1999).

#### 1.4.3. Quaternaire

Apparaît sous forme de dépôts alluvionnaires au niveau des lits des oueds et dépressions fermées (dayas) (Mellak, 2009). Il est largement répandu à travers tout le territoire et il est

représenté par des poudingues, des dépôts sablo-graveleux et argilo-gypseux (O.R.G.M., 1999).



**Figure 05: Carte géologique de la Wilaya de Ghardaïa.**

## 1.5. Ressources en eau

Les principales ressources en eau sont d'origine souterraine. Les eaux de surface sont, comme toutes les régions sahariennes, rares :

### 1.5.1. Eaux de surface

Elles proviennent essentiellement des crues orageuses engendrant des écoulements sporadiques (Dubief, 1963). Les inondations créées par ces crues alimentent plusieurs oueds, dont Oued M'zab, Oued N'sa, Oued Metlili, Oued Zegrir et Oued Sebseb sont les plus importants. L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'zab et draine d'énormes quantités d'eaux lorsque les pluies sont importantes, surtout au Nord-Ouest de la région. A.N.R.H. (1994), estime les débits de crues décennale et centennale à 205 et 722 m<sup>3</sup>/s, respectivement.

### 1.5.2. Eaux souterraines

#### 1.5.2.1. Nappe phréatique

La nappe superficielle est formée d'alluvions et de sables du quaternaire, constituée de galets et de poudingues tapissant les lits des oueds. Ses eaux sont exploitées par des puits traditionnels allant de 10 à 50 m et qui a permis aux anciennes populations de se maintenir et d'irriguer les cultures pérennes et les palmeraies. Elle permet aussi l'alimentation des parcours et assurent l'abreuvement des troupeaux (A.N.R.H., 2003).

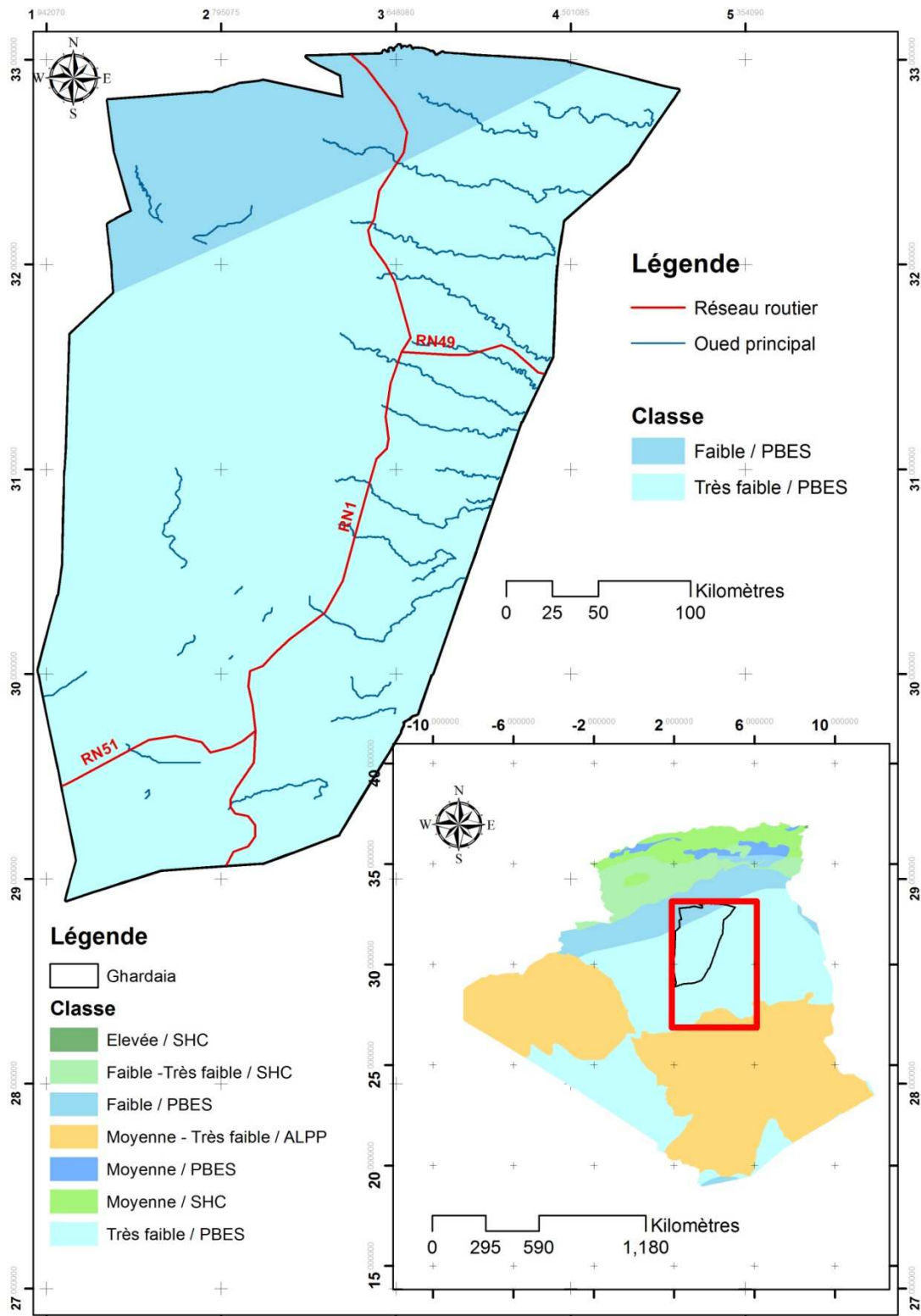
#### 1.5.2.2. Nappe du Continental Intercalaire (CI)

Elle draine les formations gréseuses et grésos-argileuses du Barrémien et de l'Albien. Elle couvre une surface de 600000 km<sup>2</sup> et occupe la totalité du Sahara Septentrional algérien et se prolonge au Sud de la Tunisie et au Nord de Libye, dont 200000 milliards de m<sup>3</sup> d'eau y sont piégés (A.N.R.H., 2005; Lebatt et Mahmat Sakher, 2007). Elle est exploitée à une profondeur allant de 250 à 1000 m, selon la région (A.N.R.H., 2007). La nappe CI, selon l'altitude et les variations de l'épaisseur des postérieures, est :

- jaillissante et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage dans les territoires de Zelfana, Guerrara et certaines régions d'El-Menia;
- exploitée par pompage à des profondeurs importantes, dépassant parfois les 120 m dans les zones de Ghardaia, Metlili, Berriane et certaines régions d'El-Menia.

#### 1.5.2.3. Nappe du Complexe Terminal (CT)

Limitée au Nord de la Wilaya et elle n'a pas l'importance du Continental Intercalaire, dû son exploitation minime dans la région. Cependant, sa nature hydrogéologique, caractérisée par une importante perméabilité de fissuration, nécessite une reconnaissance approfondie pour permettre son exploitation efficiente (A.N.R.H., 2005) (figure 06).



**Figure 06: Carte hydrogéologique de la Wilaya de Ghardaïa.**

### 1.6. Climat

La synthèse climatique effectuée à partir de données de la station météorologique de Ghardaïa (1984-2017) fait apparaître un bioclimat saharien à hiver doux, caractérisé par

une période sèche qui s'étale durant toute l'année. La température maximale est notée au mois Juillet (41,43°C) et la minimale enregistrée au mois de Janvier (5,24°C). Les précipitations sont faibles et d'origine orageuse, caractérisées beaucoup plus par des écarts inter-annuels et inter-mensuels très importants avec une moyenne annuelle d'environ 89,85 mm/an. Les vents sont à priori chargés de sable, particulièrement en automne, de direction Nord-ouest, et chauds (Sirocco) et très secs, entraînant une forte évapotranspiration et de direction dominante Sud pendant l'été (ONM, 2017) (Figures 07et 08).

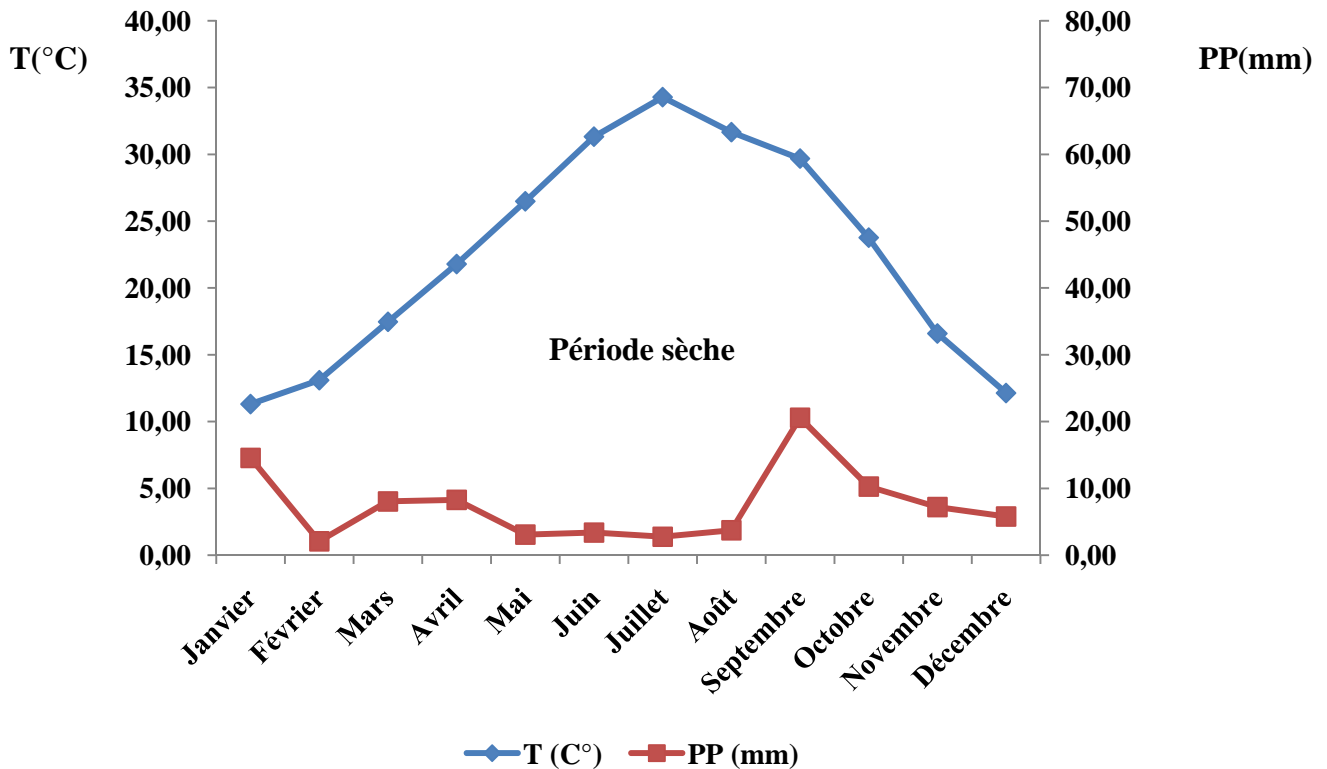


Figure 07 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausse pour la région de Ghardaïa (1984-2017).

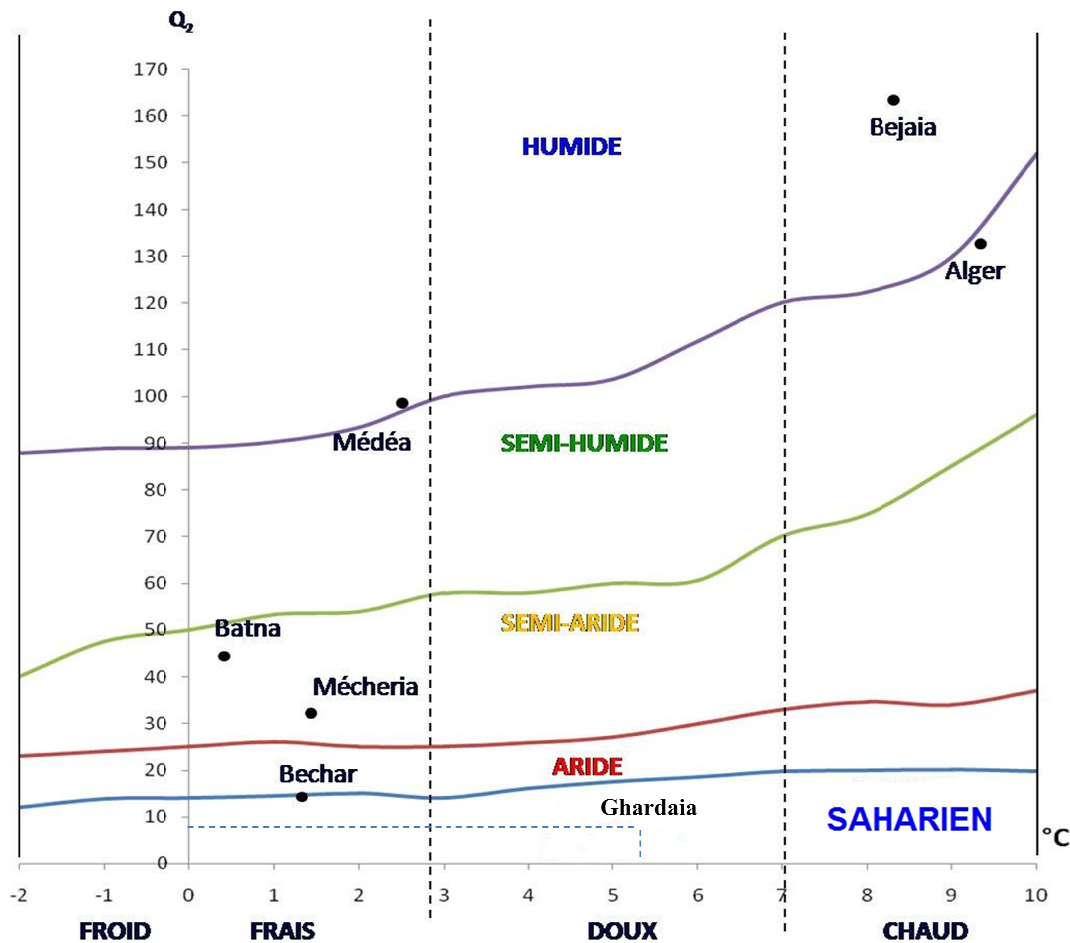


Figure 08 : Etage bioclimatique de la région de Ghardaïa sur le Climagramme d'Emberger (1984-2017).

### 1.7. Flore

L'irrégularité des précipitations dans la région de Ghardaïa agit sur la physionomie du peuplement végétal et forme ainsi, un couvert végétal peu dense et éparpillé. Néanmoins, près de 300 espèces spontanées ont été recensées, réparties en fonction des zones géographiques (Ozenda, 2004; Chehema, 2006; Quezel et Santa, 1926) :

- dans les ergs : ce sont les espèces *Aristida pungens*, *Retama retam*, *Calligonum comosum*, *Ephedra allata*, *Uriginea noctiflora* et *Erodium glaucophyllum* qui se maintiennent;
- dans les regs : ce sont, en revanche, les espèces *Haloxylon scoparium*, *Astragalus gombo*, *Caparis spinosa*, *Zilla macroptera* qui se développent;
- dans les lits d'oueds et les dayas : les espèces *Phoenix dactillifera*, *Pistacia atlantica*, *Zyziphus lotus*, *Tamarix articulata* et *Populus euphratica* sont les plus répandues.

### 1.8. Faune

L'étendue vaste de la Wilaya de Ghardaia rend le recensement des espèces faunistiques difficile. Il existe, toutefois, une diversité surprenante de :

- reptiles : *Cerastes cerastes*, *Varanus griseus*, *Lytorhynchus diadema*, *Uromastyx acanthinura*, *Scincus scincus*, *Acanthodactylus erythrurus* et *Tarentola mauritanica*;

- oiseaux : *Passer domesticus*, *Streptopelia semequale*, *Lanius excubita*, *Alectoris barbara*, *Upupa epops*, *Columba livia*, *Falco tinnunculus*, *Streptopelia turtur* et *Streptopelia decaocto*; (figure 09) (Annexee 01).

- mammifères : *Camelus dromedarius*, *Paraechinus aethiopicus*, *Massoutiera m'zabi*, *Junculus junculus*, *Gerbillus gerbillus*, *Oryx dammah*, *Ammotragus lervia*, *Gazella dorcas*, *Gazella leptoceros*, *Gazella dama*, *Fennecus zerda*, *Felis margarita* et *Vulpes rueppellii*.

D'autres espèces d'insectes, en particulier, les arthropodes et les orthoptères forment les plus importants peuplements du désert (Kadri et Korichi, 1993; Vial et Vial, 1974; Bensamoune, 2008 ; Ahmim, 2019).

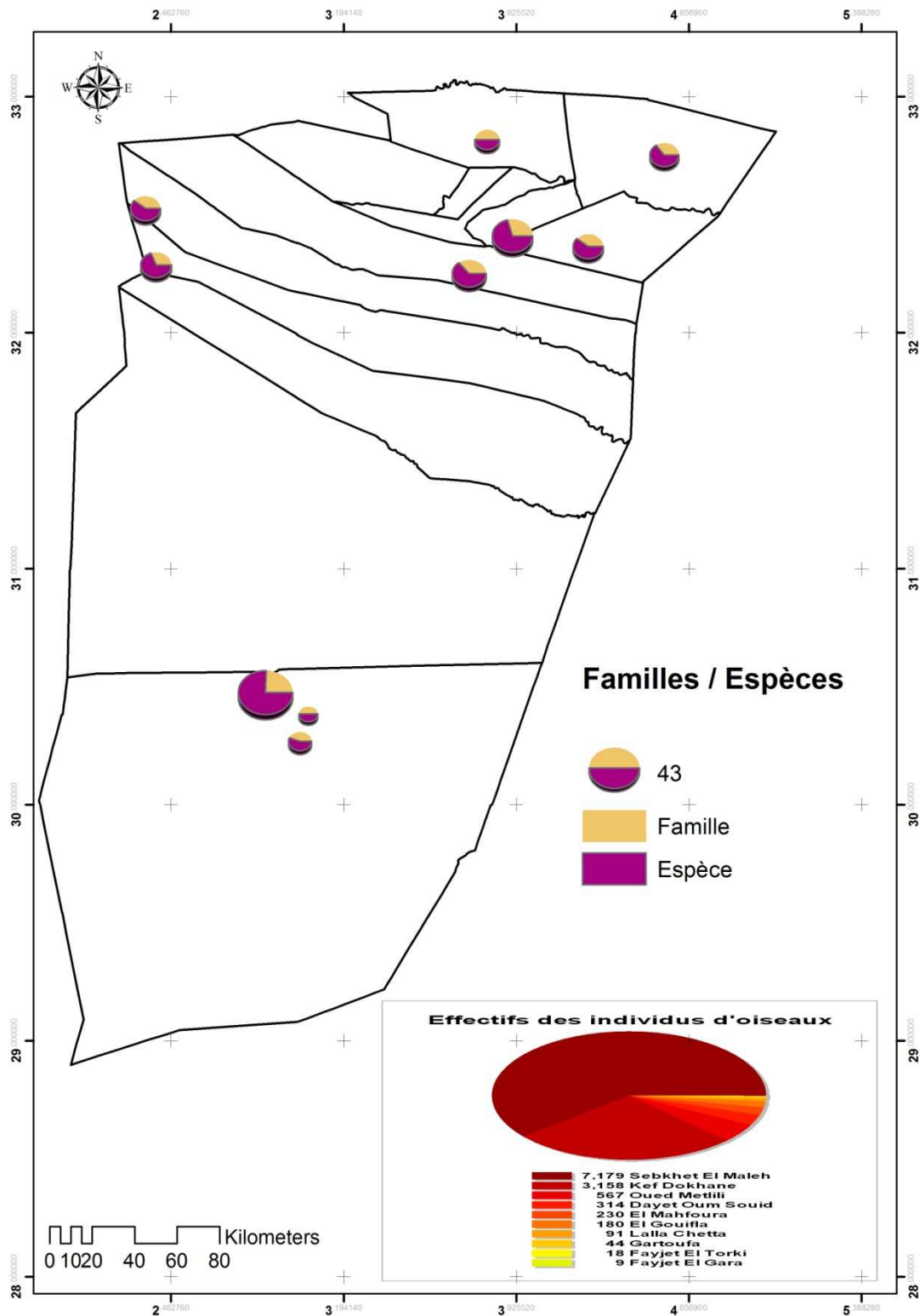


Figure 09: Répartition de l'avifaune en fonction des zones humides dans la wilaya de Ghardaïa.



# **Matériel et méthodes**

## **Chapitre II: Approche méthodologique**

## 2.1. Matériel

### 2.1.1. Données géographiques

Les données cartographiques utilisées dans ce présent travail correspondent aux :

**Jeux d'images satellites:** composés de huit (8) images Landsat OLI8 de l'année 2015 et du Landsat ETM de l'année 2000, d'une étendue de  $185 \times 185$  km pour chacune, géoréférencées dans le système géographique projeté UTM fuseau 31 (WGS84), couvrant la totalité de la wilaya de Ghardaia et dont les caractéristiques sont données dans le tableau I:

**Tableau I. Caractéristiques multispectrales des capteurs OLI et TIRS du Landsat 8 (USGS, 2015).**

Satellite	Capteur	Bande	$\lambda$ en $\mu\text{m}$	Amplitude	Résolution spatiale
Landsat 8	OLI	Band 1 Visible	0.43 - 0.45	0,02	30
		Band 2 Visible	0.45 - 0.51	0,06	30
		Band 3 Visible	0.53 - 0.59	0,06	30
		Band 4 Red	0.64 - 0.67	0,03	30
		Band 5 Near-Infrared	0.85 - 0.88	0,03	30
		Band 6 SWIR 1	1.57 - 1.65	0,08	30
		Band 7 SWIR 2	2.11 - 2.29	0,18	30
		Band 8 Panchromatic (PAN)	0.50 - 0.68	0,18	15
		Band 9 Cirrus	1.36 - 1.38	0,02	30
	TIRS	Band 10 TIRS 1	10.60 - 11.19	0,59	100
		Band 11 TIRS 2	11.50 - 12.51	10,01	100

**Cartes topographiques 1/200000:** issues d'un découpage topographique de  $1^\circ \times 1^\circ$ , d'une équidistance de 50 m et d'une grille géographique définie par le système de projection UTM WGS 84 fuseau 31 (ellipsoïde de Clarke 1880). Dix huit (18) cartes fournies par l'INCT (Institut National pour la Cartographie et la Télédétection) ont été, en effet, rassemblées pour servir à l'analyse spatiale (Figure 10 et 11). Les cartes, éditées dans les périodes entre 2004-2006, recouvrent les régions de Ksar El Hirane, Oued Attar, Oued Meheiguene, Ghardaïa, Guerrara, El Hadjira, Hassi Allal, Hassi Zerrara, Hassi El Hadjar, Hassi Talamine, El Golea, Hassi Djafou, Hassi El Melah, Hassi Homeur (Fort Mac Mahon), Fort Meribel, Hassi Nifel, Es Settar et Ain El Hadjadj.

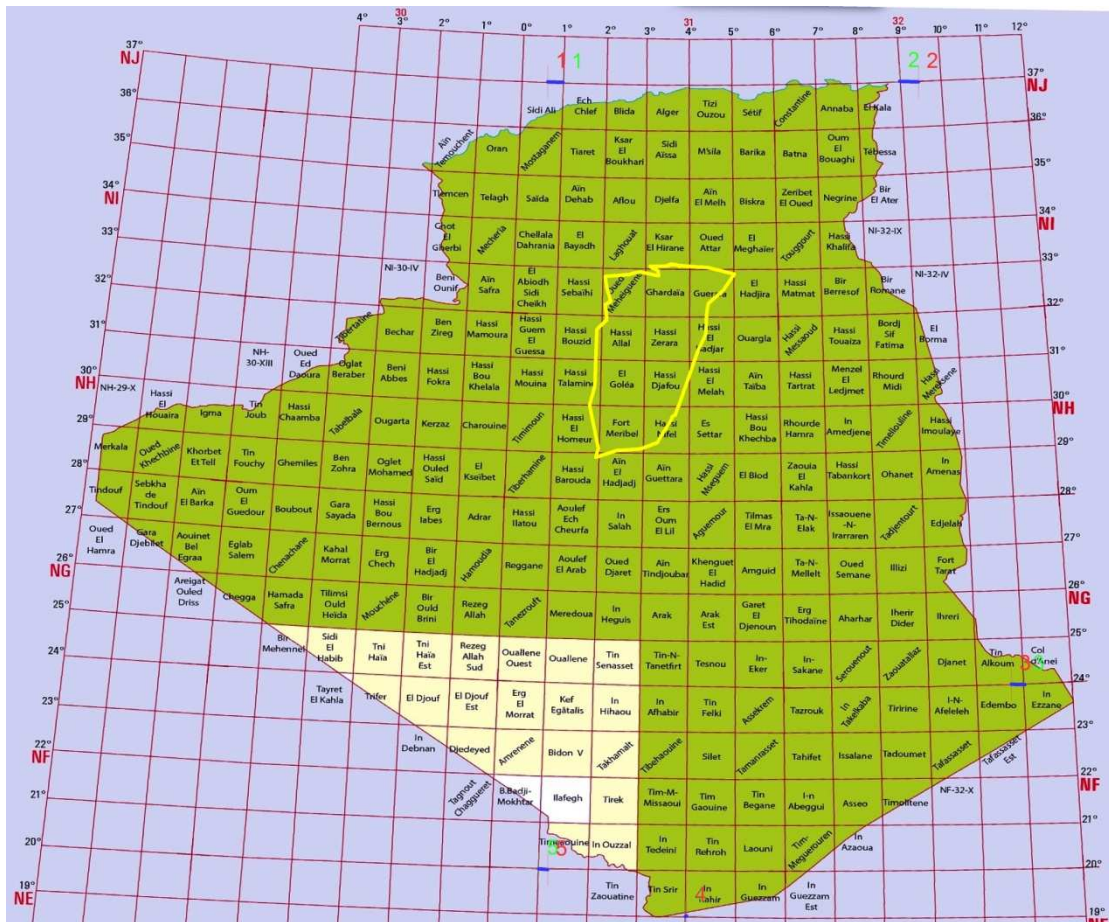


Figure 10: Découpage géographique et localisation des plans topographiques 1/200000 (INCT, 2015 modifiée).

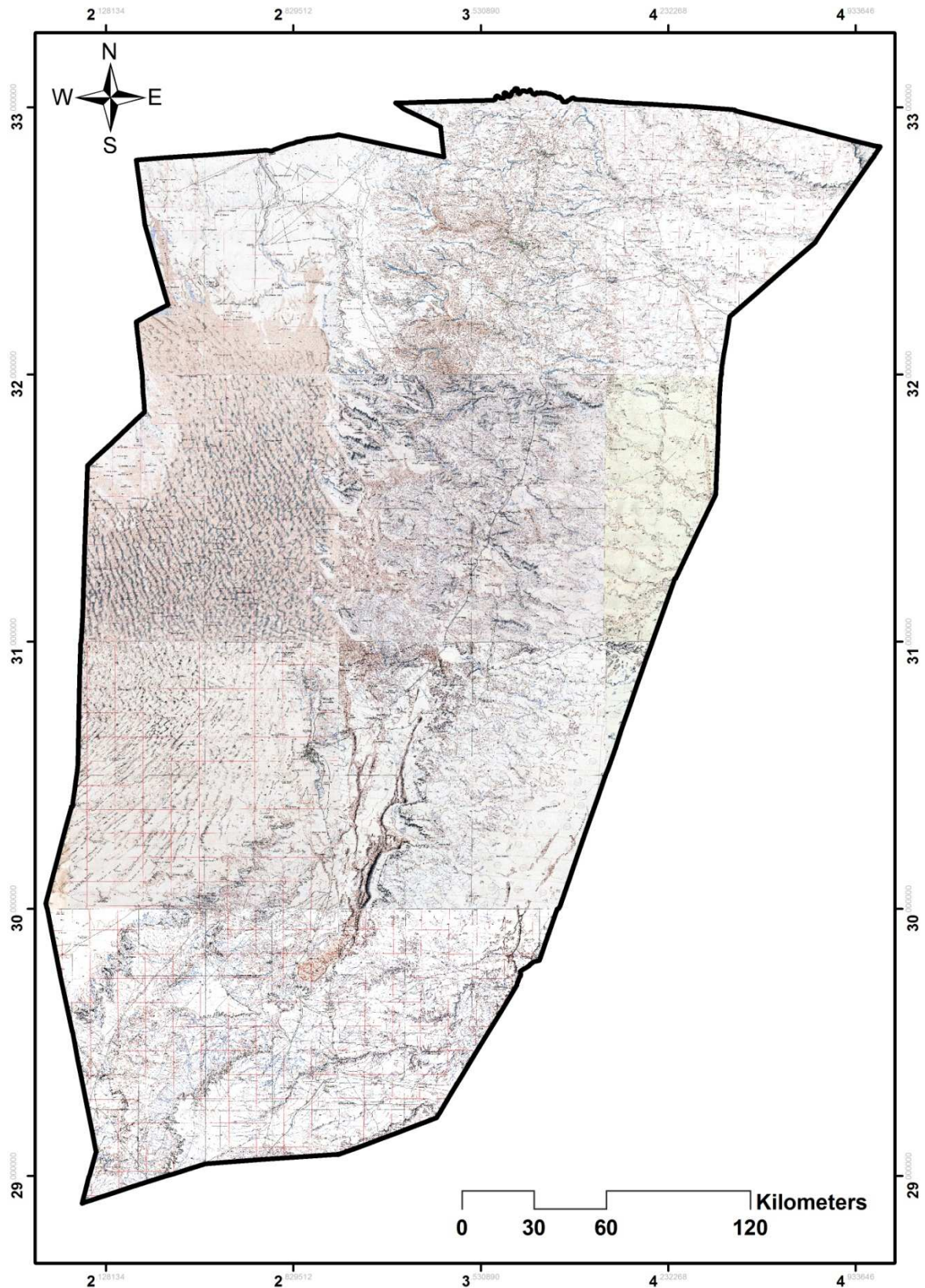


Figure 11: Assemblage des cartes topographiques 1/200000 de la wilaya de Ghardaïa.

**Cartes topographiques 1/50000:** issues d'une coupure géographique de 15' × 15', d'une équidistance de 20 m et d'une grille géographique définie par le système de projection UTM WGS 84 fuseau 31 (ellipsoïde de Clarke 1880). Les cartes acquises, qui sont de l'ordre de 64 et éditées dans la période 2009, couvrent la partie Nord de la Wilaya de Ghardaïa.

**Orthophoto-aériennes 1/4000:** les prises de vue aériennes couvrant les communes de Ghardaia, Dayat Ben Dahaoua, El Atteuf, Metlili et Sebseb ont été, de même, servies par l'INCT pour la période entre 2005-2008.

### 2.1.2. Logiciels utilisés

Les logiciels appliqués aux analyses spatiales des données graphiques et attributaires sont (figure 12 et 13) :

**ARCGIS 10.3:** qui est une suite de logiciels d'information géographique (logiciels SIG) développés par la société américaine *ESRI (Environmental Systems Research Institute)*;

**ENVI 5.2 (ENvironment for Visualizing Images):** qui correspond à un logiciel de traitement d'images développé par le langage de programmation *IDL (Interactive Data Language)*.

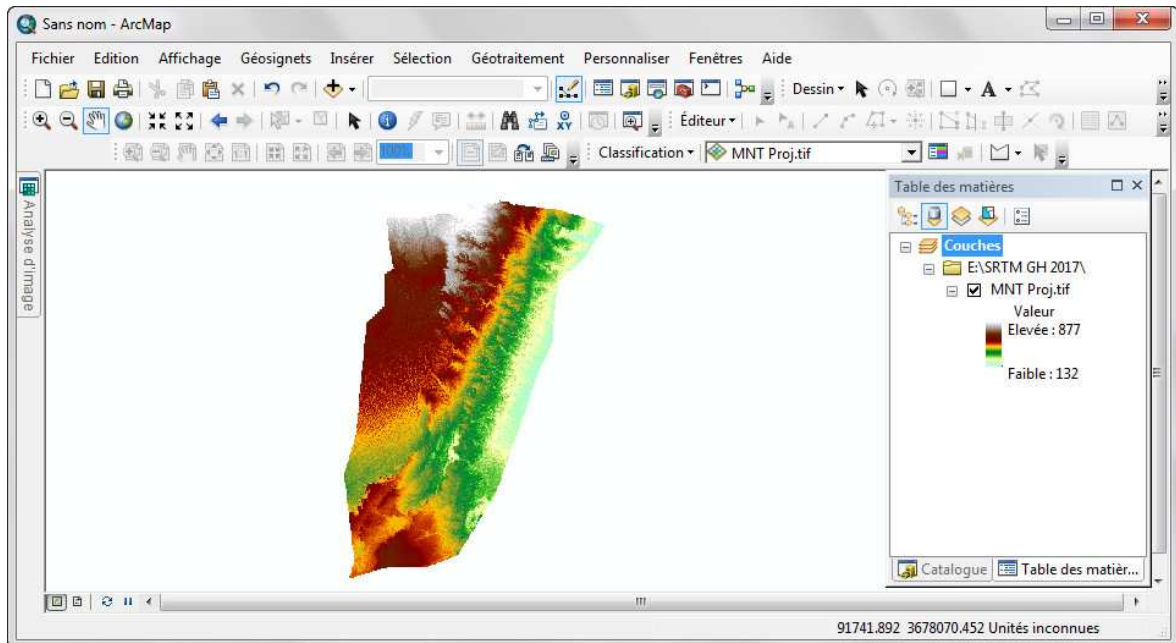


Figure 12: Interface de logiciel ARCGIS 10.3.

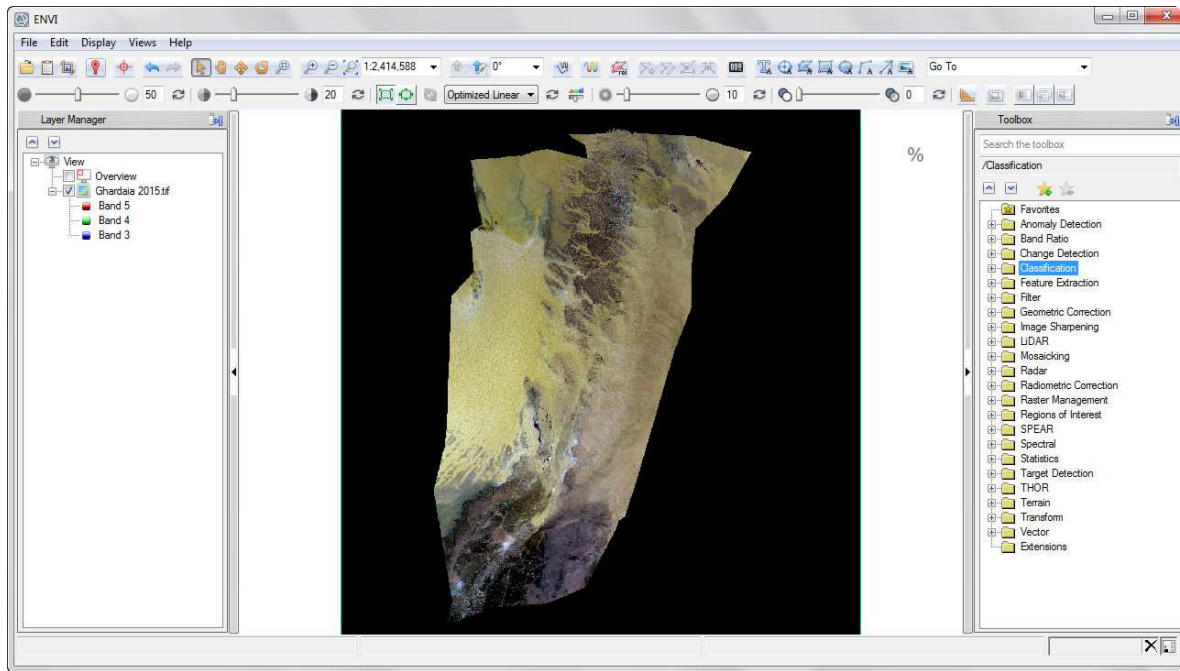


Figure 13: Interface de logiciel ENVI 5.2.

## 2.2. Evaluation de la sensibilité à l'ensablement par l'approche MEDALUS

### 2.2.1. Préparation des données spatiales et géotraitement

Avant d'être prêtes aux différents traitements, les jeux de données spatiales et arithmétiques ont subi une étape de prétraitement et qui consiste, à l'empilement des bandes spectrales, découpage des images scannées, géoréférencement, mosaïquage des scènes topographiques et satellitaires, extraction des zones à partir d'un masque, jointure des tables attributaires et création des fichiers vecteurs (*shapefile*).

### 2.2.2. Classification supervisée des images satellites

Dans ce type de classification l'opérateur définit au préalable les classes thématiques qu'il souhaite extraire de l'image et identifie des échantillons assez homogènes qui sont représentatifs de différentes classes d'occupation du sol (El Kharki *et al.*, 2015). Son principe est de fournir au programme ENVI 5.2 des échantillons de pixels représentant une région de référence (Régions d'intérêts ou ROI). Les régions d'intérêts ont été déterminées à l'aide de la fonction SPEAR/Google Earth, de cartes topographiques et de relevés GPS répertoriés lors des enquêtes de prospection de terrain (Figure 14) (Annexee 01). La classification dite maximum de vraisemblance (Maximum Likelihood) a été appliquée, dans laquelle des statistiques comprenant le vecteur moyen et la matrice de covariance pour chaque classe ont été calculées (Nouri *et al.*, 2020).

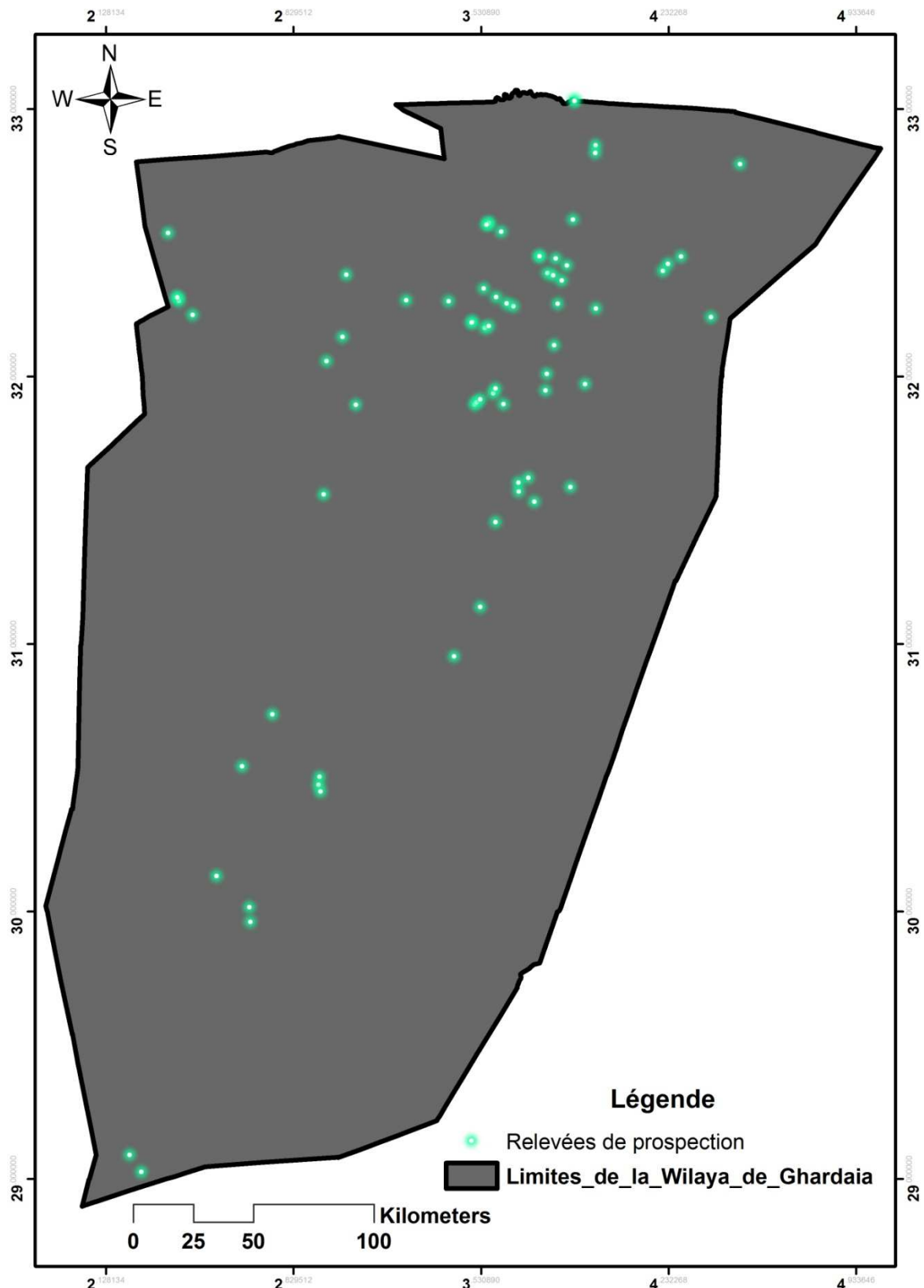


Figure 14: Répartition géographique des relevés GPS de prospection.

### 2.2.3. Modélisation des données et extraction des indicateurs de qualité

Dans la perspective d'évaluer la sensibilité à l'ensablement de la région d'étude, une approche analytique spatiale basée sur des indicateurs de qualité liés à une adaptation du

modèle de sensibilité des régions méditerranéennes à la désertification *MEDALUS* (*Mediterranean Desertification And Land Use*), développé par Kosmas *et al.* (1999), a été appliquée. L'approche intégrative *MEDALUS* consiste principalement à combiner plusieurs facteurs de dégradation (naturels et anthropiques). En effet, à l'échelle régionale, le modèle nécessite un croisement de quatre facteurs de dégradation qui sont:

- indice de qualité du sol (IQS);
- indice de qualité de végétation (IQV);
- indice de qualité du climat (IQC);
- indice de qualité d'aménagement (IQA).

L'indice de sensibilité globale à la désertification (ISD) est, en revanche, le résultat de la compilation des couches géographiques de ces quatre indices selon l'équation:

$$\text{ISD} = (\text{IQS} \times \text{IQV} \times \text{IQC} \times \text{IQA})^{1/4}$$

Nous commençons, dans la partie qui suit, de décrire les composantes du modèle ainsi que les principales données spatiales exploitées pour chaque indicateur.

#### 2.2.3.1. Qualité du sol (IQS)

Le sol est un facteur déterminant des écosystèmes terrestres des zones semi-arides et arides, notamment par son effet sur la production de biomasse. La désertification se produira, dans certaines zones, lorsque le sol n'est pas en mesure de fournir aux plantes un espace d'enracinement et/ou de l'eau et des nutriments. Dans les zones arides et semi-arides, le sol devient irréversiblement désertifié lorsqu'il est incapable de fournir aux plantes une profondeur d'enracinement assez suffisante, de l'eau et des éléments nutritifs (Kosmas *et al.*, 1998; Kosmas *et al.*, 1998). En revanche, il y a des cas où la désertification se produit dans les sols profonds, lorsque leur équilibre hydrique est incapable de répondre aux besoins des plantes. Dans ces cas, le phénomène est réversible (Kosmas *et al.*, 1999).

Les indicateurs de qualité des sols pour la cartographie des zones écologiquement sensibles peuvent être liés à la disponibilité de l'eau et la résistance à l'érosion (Lee *et al.*, 1985). Ces qualités peuvent être évaluées en utilisant de simples propriétés du sol ou des données caractéristiques telles que la profondeur du sol, la texture, le drainage, les matériaux parentaux, la pente, la charge caillouteuse, etc. L'utilisation de ces propriétés pour définir et cartographier les zones écologiquement sensibles nécessite la définition de classes distinctes en termes de protection contre la désertification (Margaris *et al.*, 1995; Moustakas *et al.*, 1995).



Trois paramètres majeurs ont été utilisés pour cartographier l'impact de la qualité du sol dans le processus d'ensablement. Ces paramètres concernent essentiellement :

**Matériaux parentaux (MP):** qui ont été extraits à partir de la carte géologique de la région de Ghardaia;

**Pente (P):** calculé après l'analyse du modèle numérique de terrain (MNT), élaboré à partir des images SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) d'une résolution de 30 m;

**Texture (T):** obtenue suite à la restitution des classes pédologiques et de facteur d'érodibilité des bases de données HWSD (*Harmonized World Soil Database*), mises en évidence sur un profil de 100 cm.

Les classes affectées pour chaque paramètre ainsi que leurs indices sont donnés dans le Tableau II.

**Tableau II : Classes et indices caractéristiques des paramètres liés à la qualité du sol.**

<b>Texture (T)</b>				
	<b>Classe</b>	<b>Description</b>	<b>Caractéristique</b>	<b>Indice</b>
Fine	1	Bonne	L, SAL, SL, LS, LC	1
Moyenne	2	Modérée	SC, SiL, SiCL	1,1
Légère	3	Médiocre	SiC, SiC	1,6
Grossière	4	Très insuffisante	S	2
<b>Matériaux parentaux (MP)</b>				
	<b>Classe</b>	<b>Description</b>	<b>Caractéristique</b>	<b>Indice</b>
	1	Cohérent	Calcaires, dolomies, grès dures	1
	2	Moyennement cohérent	Grès friable, marnes, schistes, encroûtement	1,7
	3	Tendre à friable	Formations sableuses, alluvions et colluvions non consolidées	2
<b>Pente (P)</b>				
	<b>Classe</b>	<b>Description</b>	<b>Caractéristique</b>	<b>Indice</b>
	1	Très douce à plate	< 6%	1
	2	Douce	6 - 18%	1,2
	3	Peu rapide (peu aiguë)	18 – 35%	1,5
	4	Très rapide (très aiguë)	> 35%	2

L'indice de qualité du sol a été, en effet, calculé en utilisant la formule suivante:

$$IQS = (MP \times P \times T)^{1/3}$$

### 2.2.3.2. Qualité de végétation (IQV)

La composante biotique la plus déterminante en termes de désertification est la couverture végétale. La désertification peut s'expliquer par une diminution de la couverture végétale induisant une augmentation de l'albédo (Benslimane *et al.*, 2008). La couverture végétale est très cruciale pour la génération de ruissellement et peut être facilement modifiée le long des zones de collines méditerranéennes en fonction des conditions climatiques et de la période de l'année (Kirkby et Cox, 1995). Dans les zones où les précipitations annuelles sont inférieures à 300 mm et le taux d'évapotranspiration est élevé, l'eau du sol disponible pour les plantes est considérablement réduite et le sol reste relativement nu, ce qui favorise l'érosion (Faulkner, 1990; Francis et Thornes, 1990). Les principaux indicateurs liés à la végétation naturelle ou agricole existante peuvent être considérés en relation avec le risque d'incendie et la capacité de régénération, la protection contre l'érosion offerte au sol, la résistance à la sécheresse et le pourcentage de couverture végétale (Kosmas *et al.*, 1999). Ces paramètres ont été exploités, dans ce présent travail, en se basant sur les bases de données relatives à la couverture végétales (GlobCover Map, 2009) et la carte d'occupation des sols établie à partir de l'image satellite Landsat 2015.

En effet, neuf classes de végétation ont été répertoriées et faisaient l'objet d'une reclassification sur ARCGIS 10.3, en se référant au manuel décrivant les indicateurs MEDALUS (Kosmas *et al.*, 1999) (Tableau III).

**Tableau III : Classes de végétation, qualités et indices.**

Classe	CV		RI		PE		RS	
	Q	S	Q	S	Q	S	Q	S
Plantes spontanées	Médiocre	1,7	Bonne	1	Moyenne	1,5	Bonne	1
Cultures herbacées (maraichères, céréalicultures)	Moyenne	1,5	Moyenne	1,5	Moyenne	1,5	Faible	2
Arboricultures associées aux cultures	Moyenne	1,5	Faible	2	Bonne	1	Médiocre	1,7

herbacées (maraichères, céréales)								
Phoeniciculture	Moyenne	1,5	Médiocre	1,7	Bonne	1	Médiocre	1,7
Parcours présahariens	Moyenne	1,5	Moyenne	1,5	Moyenne	1,5	Faible	2
Végétations clairsemée	Médiocre	1,7	Bonne	1	Médiocre	1,7	Bonne	1
Surfaces artificielles et zones associées (zones urbaines)	Faible	2	Faible	2	Médiocre	1,7	Faible	2
Zones nues	Faible	2	Faible	2	Faible	2	Faible	2
Plans d'eau	Moyenne	1,5	Bonne	1	Bonne	1	Bonne	1

*CV: couverture végétale; RI: risque d'incendie; PE: protection contre l'érosion; RS: résistance à la sécheresse; Q: qualité; S: score.*

Ces indicateurs ont été compilés selon l'équation :

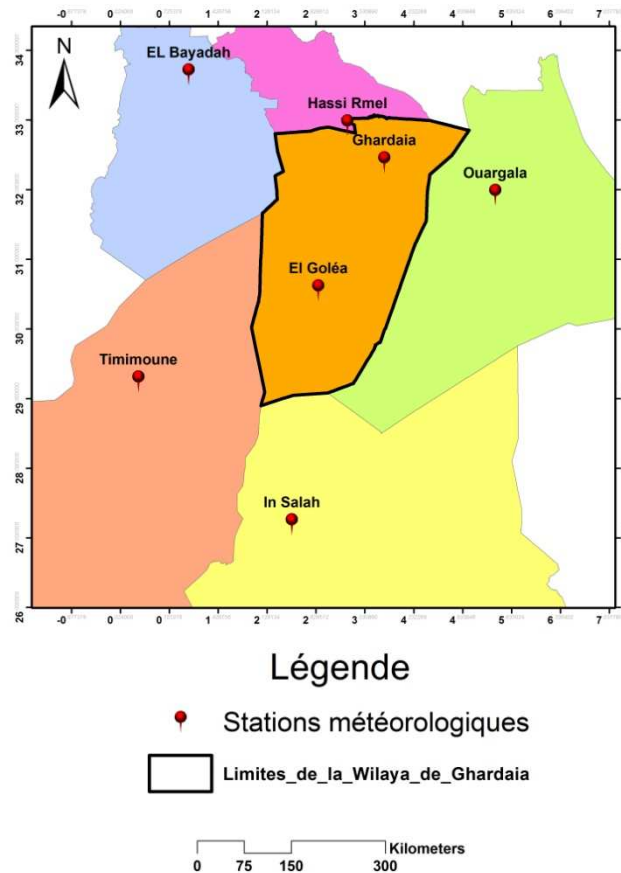
$$IQV = (RI \times PE \times RS \times CV)^{1/4}$$

### 2.2.3.3. Qualité du climat (IQC)

Selon Kosmas *et al.* (1999), la distribution annuelle et interannuelle irrégulière des précipitations, les événements extrêmes et le déphasage des saisons des pluies et végétatives dans les zones semi-arides et arides sont les principaux attributs climatiques qui contribuent à la dégradation des sols. Néanmoins, le changement climatique mondial devrait élargir la géographie actuelle des zones vulnérables de la Méditerranée. Dans un certain nombre d'années, les conditions météorologiques qui prévalent pendant la période de croissance des cultures annuelles peuvent être si défavorables que les sols restent nus, créant ainsi des conditions favorables à l'érosion (Kirkby et Cox, 1995).

Les données climatiques exploitées pour cet indicateur durant la période 2000-2016, proviennent de plusieurs sources nationales et internationales. Les paramètres qui influent sur la disponibilité de l'eau pour les plantes (pluviométrie, température et aridité) ainsi que ceux liés à l'ensablement (fréquence, vitesse et direction des vents), ont fait l'objet d'une interpolation par la méthode IDW (*Inverse Distance Weighted*) sous ARCGIS 10.3. Pour

ce faire, les métadonnées de sept stations météorologiques ont été utilisées (Tableau IV)(Annexee 1).



**Figure 15 : Situation des stations météorologiques**

L'indice d'aridité a été, de même, calculé selon l'équation de Martonne (1926) :

$$I_{DM} = P/T+10$$

T: Température moyenne annuelle

P: Précipitation cumulée annuelle

La carte d'exposition de la région de Ghardaïa a été élaborée suite à une reclassification du modèle numérique du terrain (MNT) de l'année 2017, après reprojection des fichiers rasters (SRTM30) au système géographique projeté (UTM Nord Sahara, fuseau 31) sur ARCGIS 10.3

La fréquence, les vitesses moyennes et maximales des vents ont contribué à l'élaboration de la rose des vents à l'aide de logiciel WRPLOT View<sup>TM</sup> 8.0.2 (*Wind Rose Plot for Meteorological Data*).

L'indice de qualité du climat (IQC) représente, en effet, la moyenne géométrique des valeurs pondérées attribuées selon la formule suivantes :

$$IQC = (PP \times V_{max} \times OR \times D_v \times I_{DM})^{1/5}$$

Avec:

PP: précipitation moyenne annuelle;

$V_{\max}$ : Vitesse maximale des vents;

OR: Exposition des versants;

$D_v$ : direction des vents;

$I_{DM}$ : indice de Martonne.

#### 2.2.3.4. Qualité d'aménagement (IQA)

La définition des zones écologiquement sensibles à la désertification nécessite à la fois des indicateurs clés liés à l'environnement physique et au stress d'origine humaine. Un terrain, quelle que soit sa taille, se caractérise par un usage particulier. Cet usage est associé à un type de gestion donné qui évolue sous l'influence de facteurs environnementaux, sociaux, économiques, technologiques et politiques (Kosmas *et al.*, 1999).

Les paramètres utilisés pour définir la qualité du système d'aménagement concernent ceux liés à l'utilisation des sols : taux d'accroissement des populations (TAP), intensité d'utilisation (I), charge du cheptel (CH), mines (M) et aux politiques d'aménagement pour lutter contre la dégradation des sols : mises en valeurs (MV), digues (D), aires protégées (AP). Les métadonnées de ces paramètres ont été recueillies à partir de l'annuaire statistique relatif à la monographie de la Wilaya de Ghardaïa (D.P.S.B, 2017) (Annexe 01). En effet, les données attributaires de 13 communes ont été interpolées par la méthode IDW puis reclassées à l'aide de logiciel ARCGIS 10.3.

La qualité d'aménagement a été, par la suite, évaluée en croisant les données selon la formule :

$$IQA = (TAP \times ME \times I \times CH \times MV \times D \times AP)^{1/7}$$

### 2.3. Détection des changements par télédétection

La classification d'images multi-temporelles est l'approche à privilégier pour produire une typologie fine des changements. L'approche la plus simple est la post-classification qui consiste à comparer les cartographies obtenues en classifiant indépendamment deux images satellites du même site, acquises à deux dates différentes (Coppin *et al.*, 2004; Fuller *et al.*, 2003; Nielsen *et al.*, 1998). Dans ce contexte, les deux scènes d'occupation du sol réalisées après classification supervisée des mosaïques satellites 2000 et 2015 ont servi à la détection des changements à l'aide du logiciel ENVI 5.2.

# **Chapitre III :**

## **Résultats et**

### **discussion**

### 3.1. Résultats relatifs à l'indice du sol (IQS)

La localisation géographique particulière de la Wilaya de Ghardaïa reflète une variabilité assez importante, traduite par sept (07) classes géomorphologiques. Les regs et les dalles hamadiennes occupent 24.5410655 % de la superficie totale, soit 20715,83 km<sup>2</sup>. Les dunes du sable occupent 19994,7km<sup>2</sup> (23.6867769%). Bien que les superficies des zones urbaines et végétation soient minimales (4.99450795%), les zones humides ne représentent que 0.02969925% ; soit une aire de 25,07 km<sup>2</sup> (figure 16) (tableau IV).

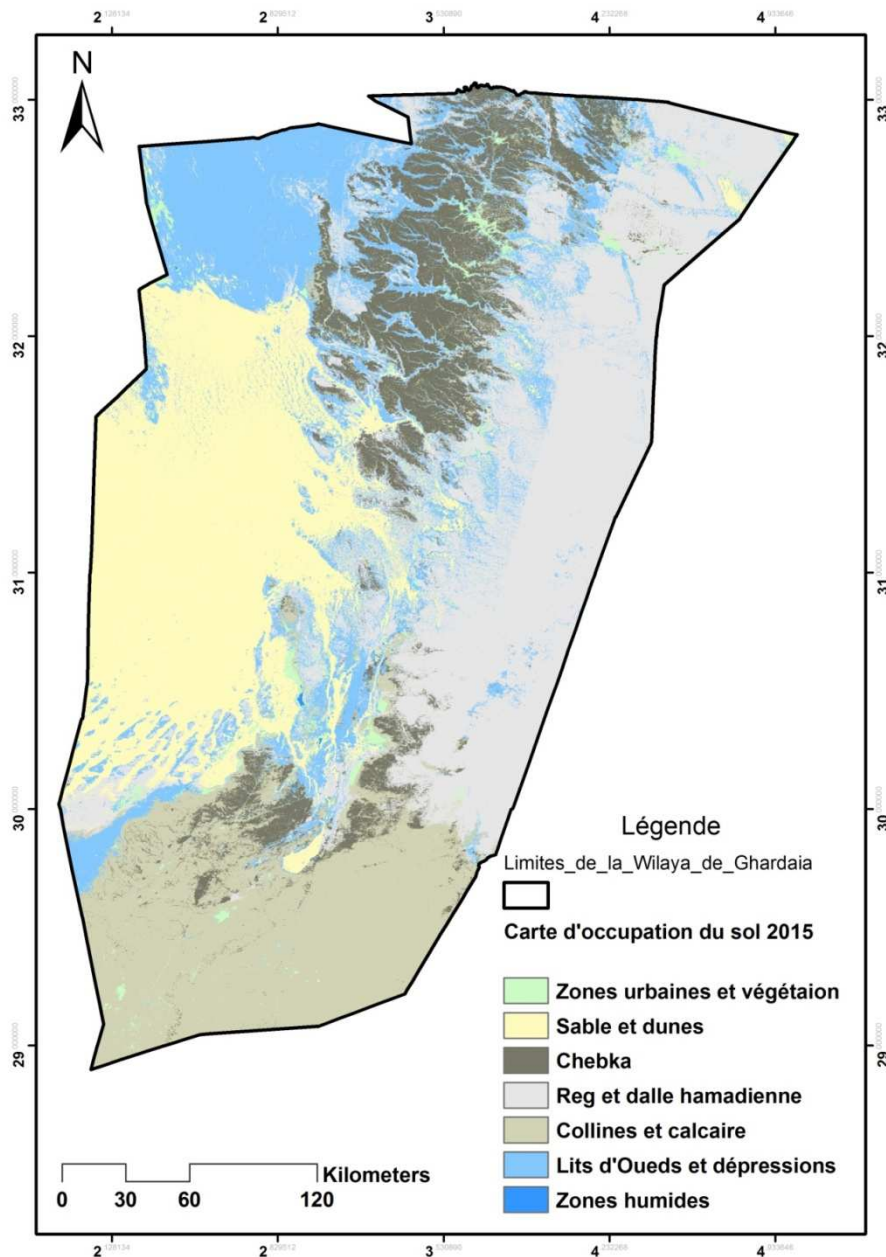


Figure 16: Carte d'occupation du sol de la wilaya de Ghardaïa en 2015.

**Tableau IV. Classes géomorphologiques, superficies et pourcentages.**

<b>Classe d'occupation</b>	<b>Surface (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Zone urbaine et vegetation	4216,01	4.99450795
Sables et dunes	19994,7	23.6867769
Chebka	11642,66	13.7925095
Reg et dalles hamadiennes	20715,83	24.5410655
Collines et calcaires	17120,15	20.2814332
Lits d'oued et depression	10698,49	12.6739959
Zones humides	25,07	0.02969925

Les sols de la région de Ghardaïa sont généralement peu évolués, peu évolués de texture moyenne à grossière. Néanmoins, les classes Leptosols-Lithosols et Calcisols-Yermosols sont considérées comme les plus dominantes, répartissent sur des superficies de 27396,97 km<sup>2</sup> (34,45%) et 9038,57 km<sup>2</sup> (11,36%), respectivement. Les formations dunaires occupent, en revanche, une surface de 15664,1km<sup>2</sup> avec un taux de 19,69% de la superficie totale (figure 17)(tableau V) ( Annexe 01).



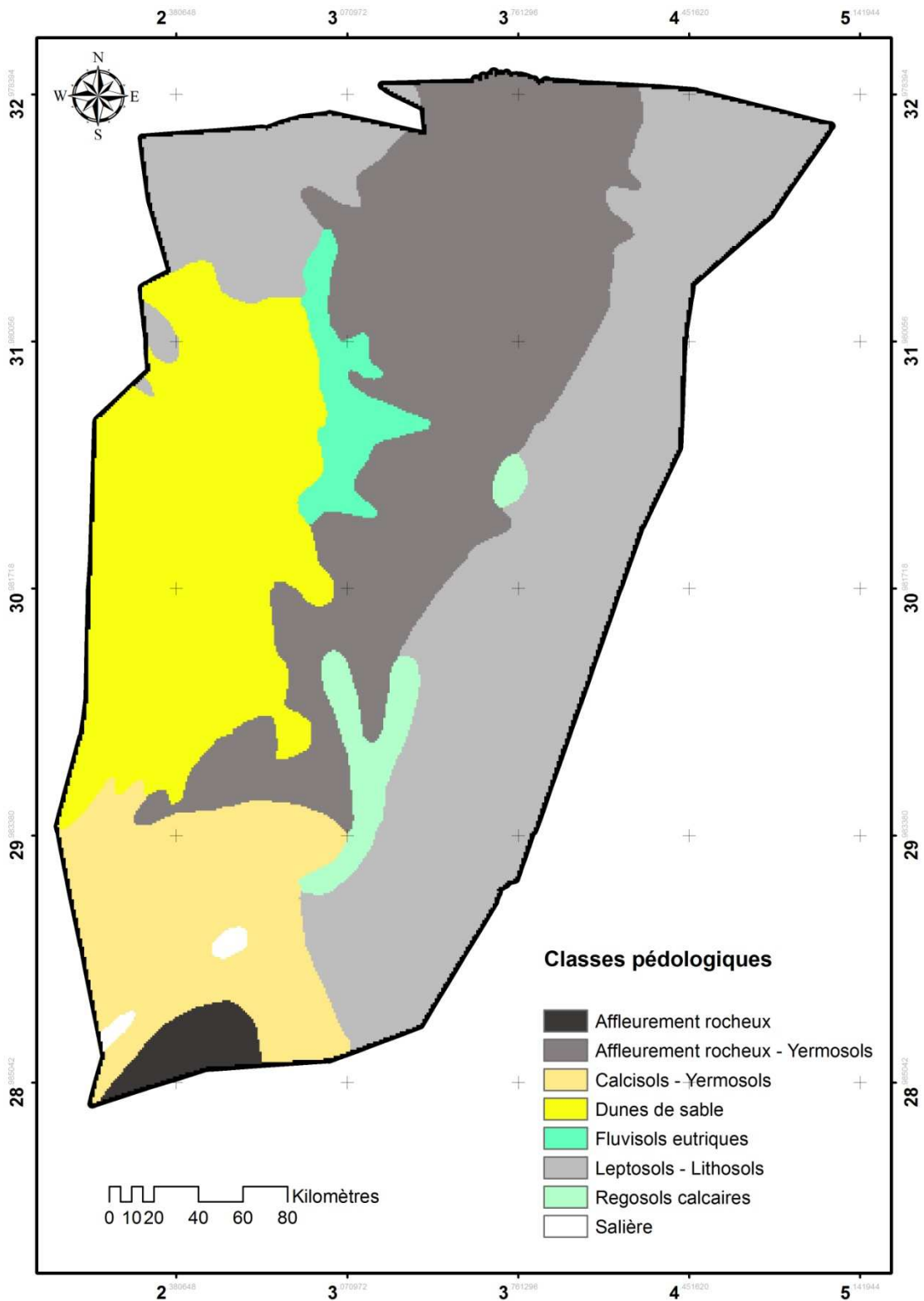


Figure 17: Carte des classes pédologiques de la wilaya de Ghardaïa.

**Tableau V. Descriptions des classes pédologiques.**

<b>Classe pédologique</b>	<b>Code</b>	<b>Surface (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Dunes de sable	36	15664,10	19,69
Affleurements roheux	193	1225,87	1,54
Salière	251	231,49	0,29
Calcisols-yermosols	340	9038,57	11,36
Leptosols-Lithosols	1315	27396,97	34,45
Fluvisols eutriques	1337	2123,51	2,67
Regosols calcaires	1644	1894,78	2,38
Affleurements roheux-Yermosols	1821	21962,77	27,61

Les ères géologiques de la région se caractérisent par des époques de Crétacé et Crétacé inférieur au centre, Tertiaire à l'extrême Est et Holocène à l'extrême Ouest (figure 05).

Par ailleurs, le modèle numérique du terrain (MNT) met en évidence une classe de pente qui ne dépasse pas les 18%, répartie sur 47266,12 km<sup>2</sup>, ce qui représente un pourcentage d'environ 60% de pente douce. Les terrains très accidentés (> 35%) ne représentent, en revanche, que 1% de la surface de la région (796,20 km<sup>2</sup>). Les basses altitudes se concentrent à l'Est avec un minimum de 132 m, rien que les altitudes élevées ont marqué la région Ouest et Nord-Ouest (avec un seuil maximum de 877 m) (figures 18 et 19) (tableau VI) (Annexee 01).

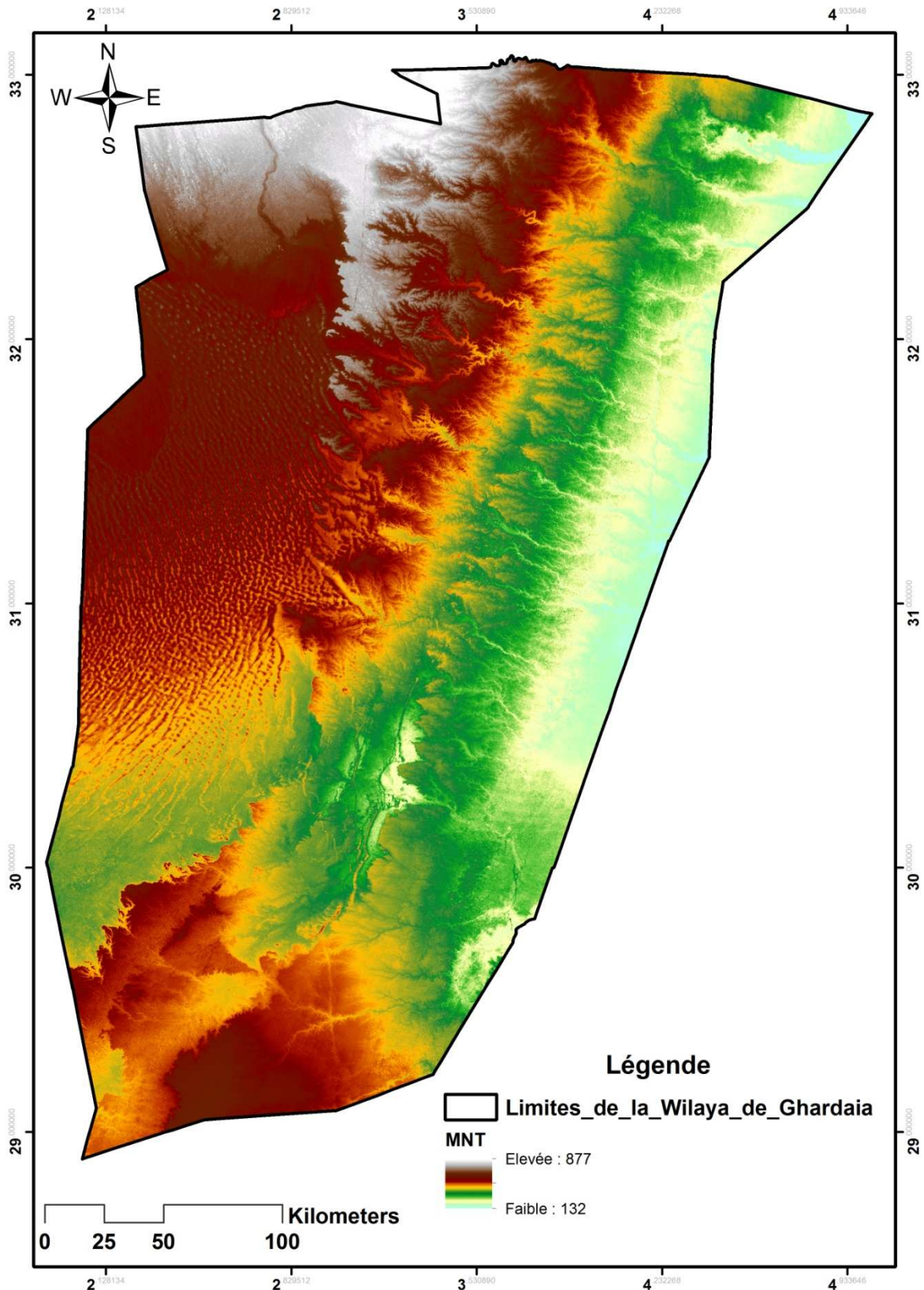


Figure 18: Variations d'altitude dans la wilaya de Ghardaïa.

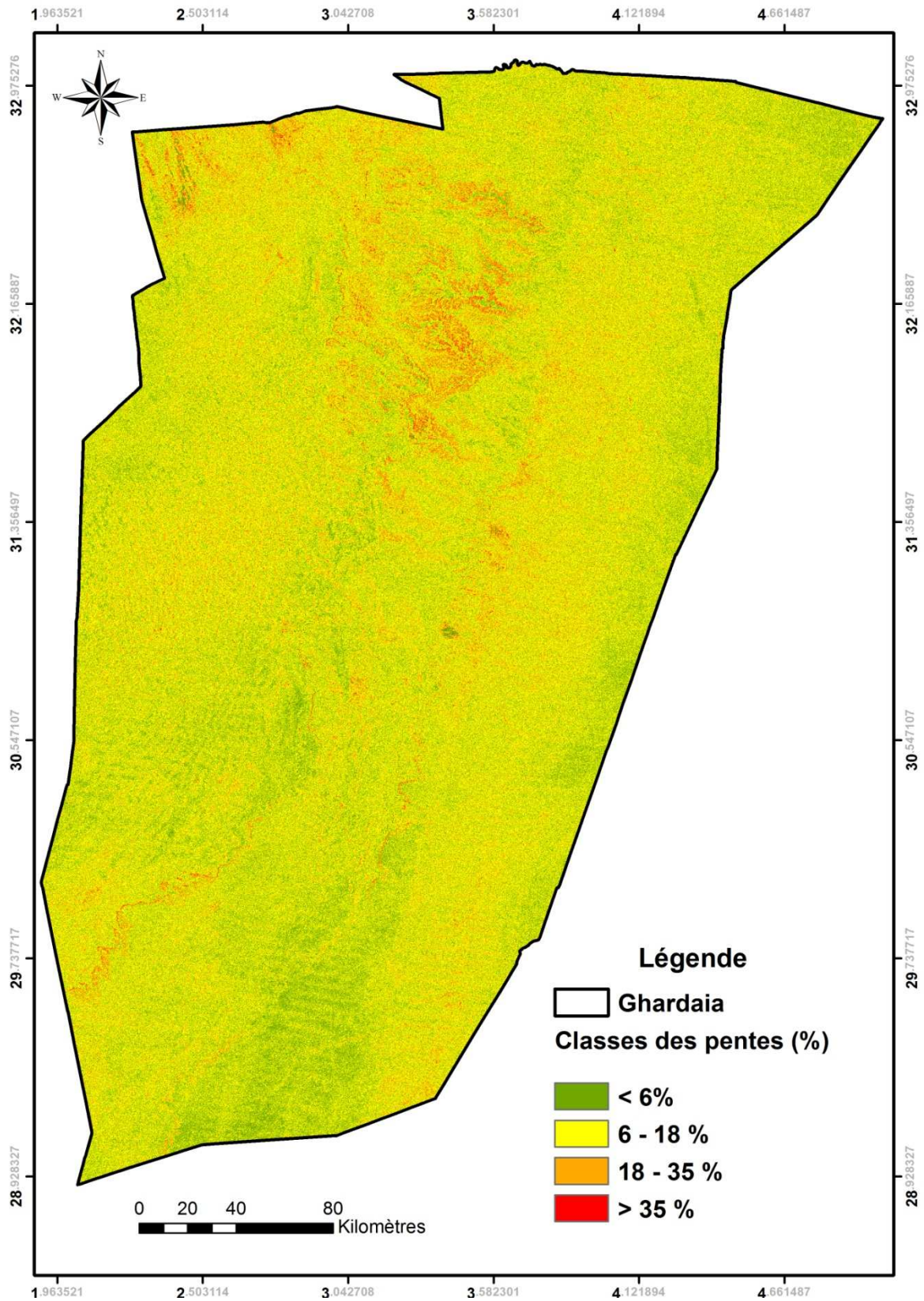


Figure 19: Carte des classes des pentes de la wilaya de Ghardaia .

**Tableau VI. Description et classification des pentes.**

Pente (%)	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
< 6	21614,07	27,175
6-18	47266,12	59,426
18-35	9861,69	12,399
> 35	796,19	1,001

Les critères du sol maintenus dans ce présent travail pour évaluer l'indicateur du sol correspondent à la texture, les matériaux parentaux et les classes des pentes. L'évaluation des qualités de ces paramètres a été inspirée à partir des couches géographiques liées l'occupation du sol datée de l'année 2015, les classes pédologiques, la géologie et le modèle numérique de terrain (MNT).

Les résultats obtenus montrent que les matériaux parentaux qui sont à l'origine des sols de la région de Ghardaïa peuvent être classés en matériaux cohérents, considérés selon l'approche *MEDALUS* comme des matériaux de bonne qualité. Ils occupent 35,85% de l'aire totale (28514,41km<sup>2</sup>). Les matériaux moyennement cohérents dominent avec un taux de 44,41%, tandis que ceux de qualité faible (tendre à friable) répartissent sur 19,74% de la scène géographique totale.

De plus, les sols à texture fine, qui sont davantage limoneux, s'étalent sur 35,99% de la superficie totale. La texture moyenne qui caractérise les sols limono-sableux occupant 44,03% sont de texture modérée. Cependant, les sols sableux à texture grossière sont plutôt de faible qualité et représente 19,70%.

Le relief établi à partir des classes des pentes nous amène à constater que les majeures parties du terrain sont considérées comme de qualité moyenne (60.43%) (figure 20) (tableau VII).

Les catégories d'indice de qualité du sol, générées en utilisant les couches raster reclassées de texture, de matériaux parentaux et de classes de pente, révèlent que les zones de bonne qualité se localisent principalement dans les régions Est et Nord-Ouest, représentant 35,69% de l'aire totale (28389,65 km<sup>2</sup>). Les sols de qualité moyenne sont ceux de la partie centrale, couvrant une surface de 39193,95 km<sup>2</sup> (49,28%). Néanmoins, les zones de l'erg situées à l'Ouest sont celles considérées de plus faible qualité, s'étalant sur une superficie de 11954,47 km<sup>2</sup> (15,03%) (figure 21)

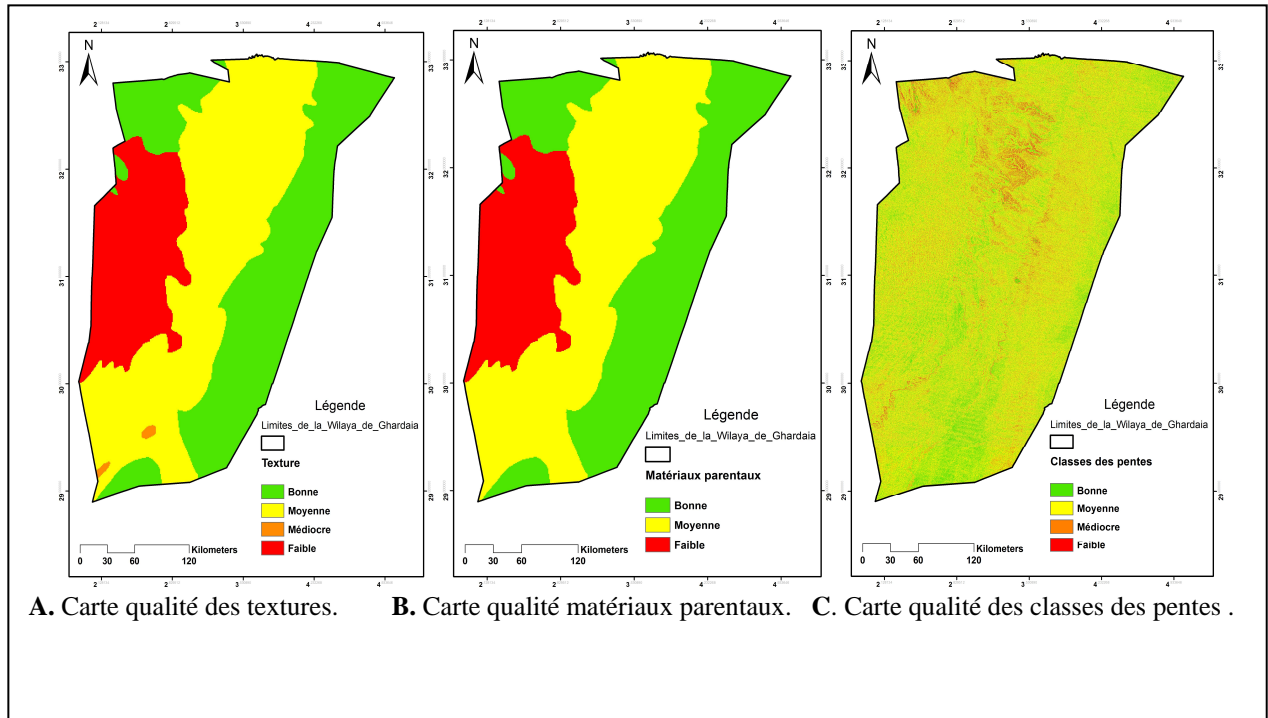


Figure 20: Carte qualité des sols A. texture, B. matériaux parentaux et C. classes des pentes de la wilaya de Ghardaïa.

Tableau VII. Description des qualités A. textures, B. matériaux parentaux et C. classes des pentes.

**A. Qualité des textures.**

Qualité	Score	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
Bonne	1	28622,84	35,99
Moyenne	1,2	35019,64	44,03
Médiocre	1,6	231,49	0,29
Faible	2	15664,10	19,69

**B. Qualité des matériaux parentaux.**

Qualité	Score	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
Bonne	1	28514,41	35,85
Moyenne	1,7	35323,01	44,41
Faible	2	15700,65	19,74

**C. Qualité des classes des pentes.**

Qualité	Score	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
Bonne	1	21614,07	27,17
Moyenne	1,2	47266,12	59,43

Médiocre	1,5	9861,69	12,40
Faible	2	796,19	1,00

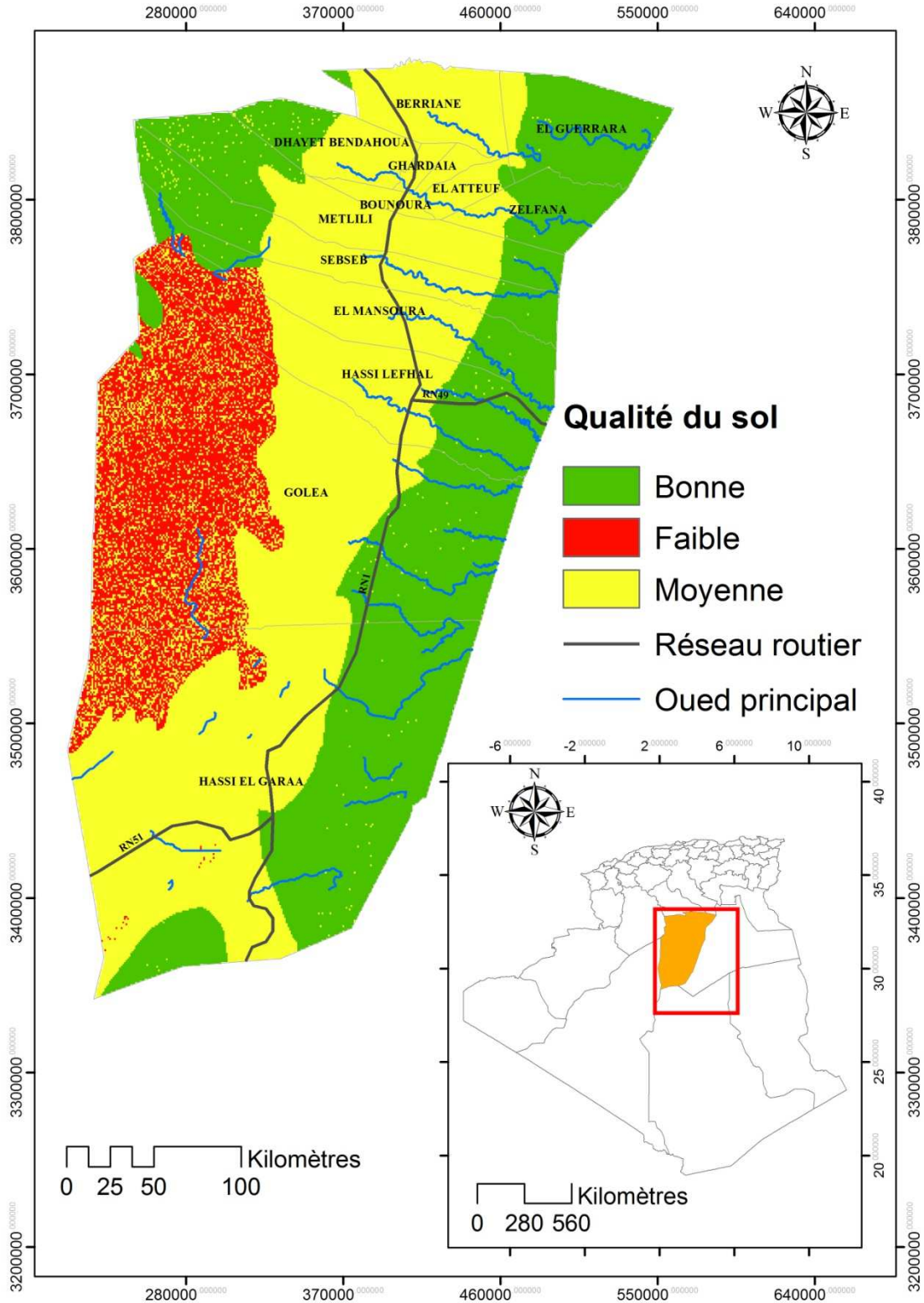


Figure 21: Carte qualité d'indice du sol de la wilaya de Ghardaïa.

**Tableau VIII. Description des qualités d'indice du sol.**

Qualité	Score	Superficie (km <sup>2</sup> )	Pourcentage (%)
Bonne	1,13	28389,65	35,69
Moyenne	1,13 – 1,45	39193,95	49,28
Faible	1,46- 3,26	11954,47	15,03

### 3.2. Résultats relatifs à l'indice du climat (IQC)

Les données climatiques résultantes de l'interpolation de sept (07) stations météorologiques (les plus proches à la région) montrent que les températures minimales dans la région de Ghardaïa varient de 13.34 à 16.89 °C. Les températures maximales oscillant entre 27,14 et 30,05 °C ; tandis que celles moyennes sont l'ordre de 22,25 °C (figures 22-24). Les cumuls moyens annuels sont faibles (60,87-99,06 mm), cela conduit à un indice d'aridité (De Martonne) variant entre 1,91 et 3,09 et nous amène à classer la zone comme région hyperaride ( $I_{DM} < 5$ )(Figure 25).

En effet, ces paramètres climatiques et qui font partie de l'équation *MEDALUS*, nous permettent à déduire une seule catégorie de qualité qui est faible et qui s'étale sur toute la région (Figure 26).

Les résultats liés aux paramètres du vent (vitesse maximale et moyenne, direction et fréquences) révèlent que les vents dominants sont d'autant de direction Nord-Est et Est. Dans ces directions, les vents soufflent selon des vitesses moyennes qui varient entre 12,79 et 15,22 km/h. En faisant recours à la carte d'exposition élaborée à partir du modèle numérique du terrain, les expositions géographiques Nord-Est et Est sont les plus sensibles et considérées comme de faible qualité (figures 27-30).



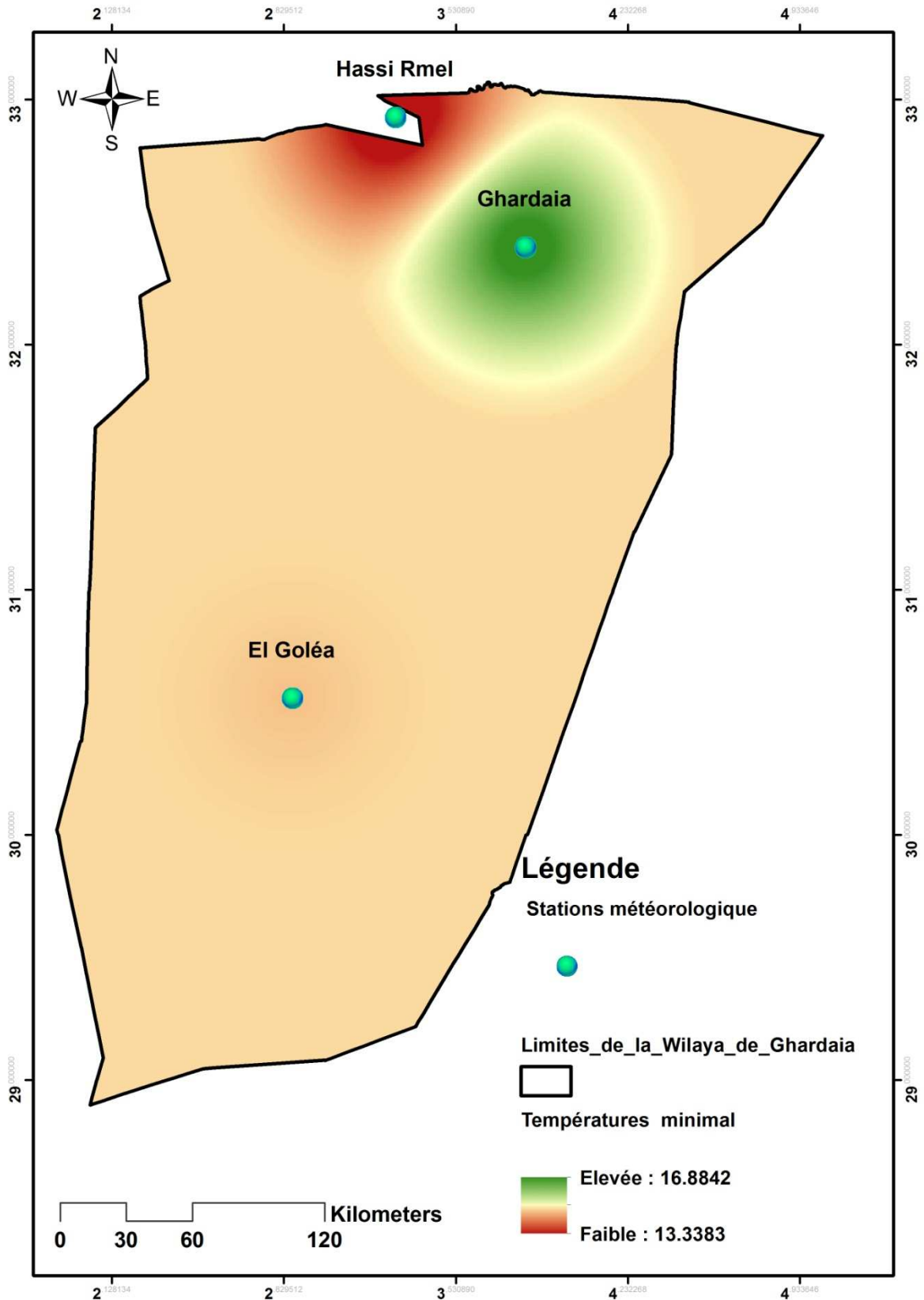


Figure 22: Carte des variations des températures minimales

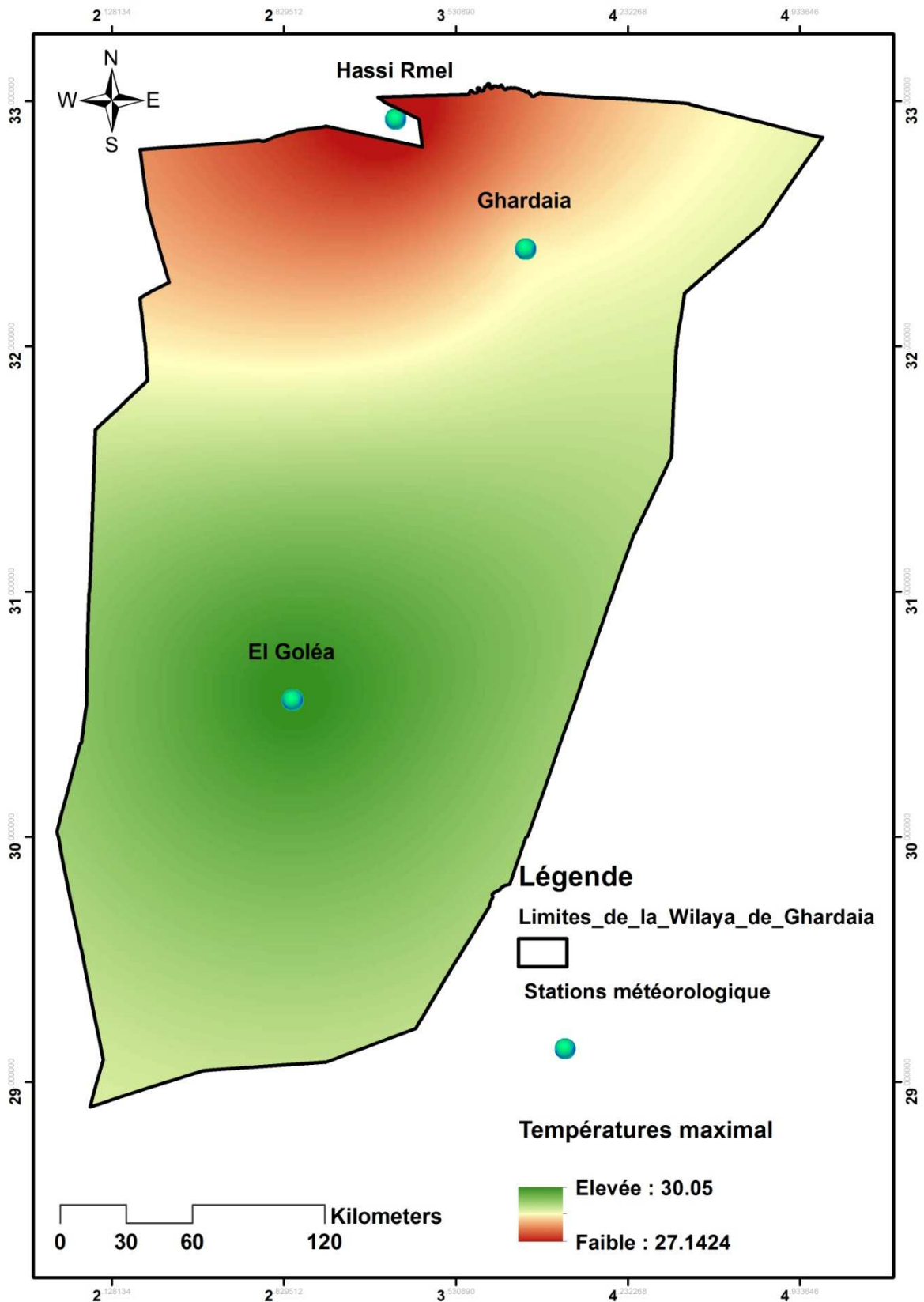


Figure 23: Carte des variations des températures maximales.

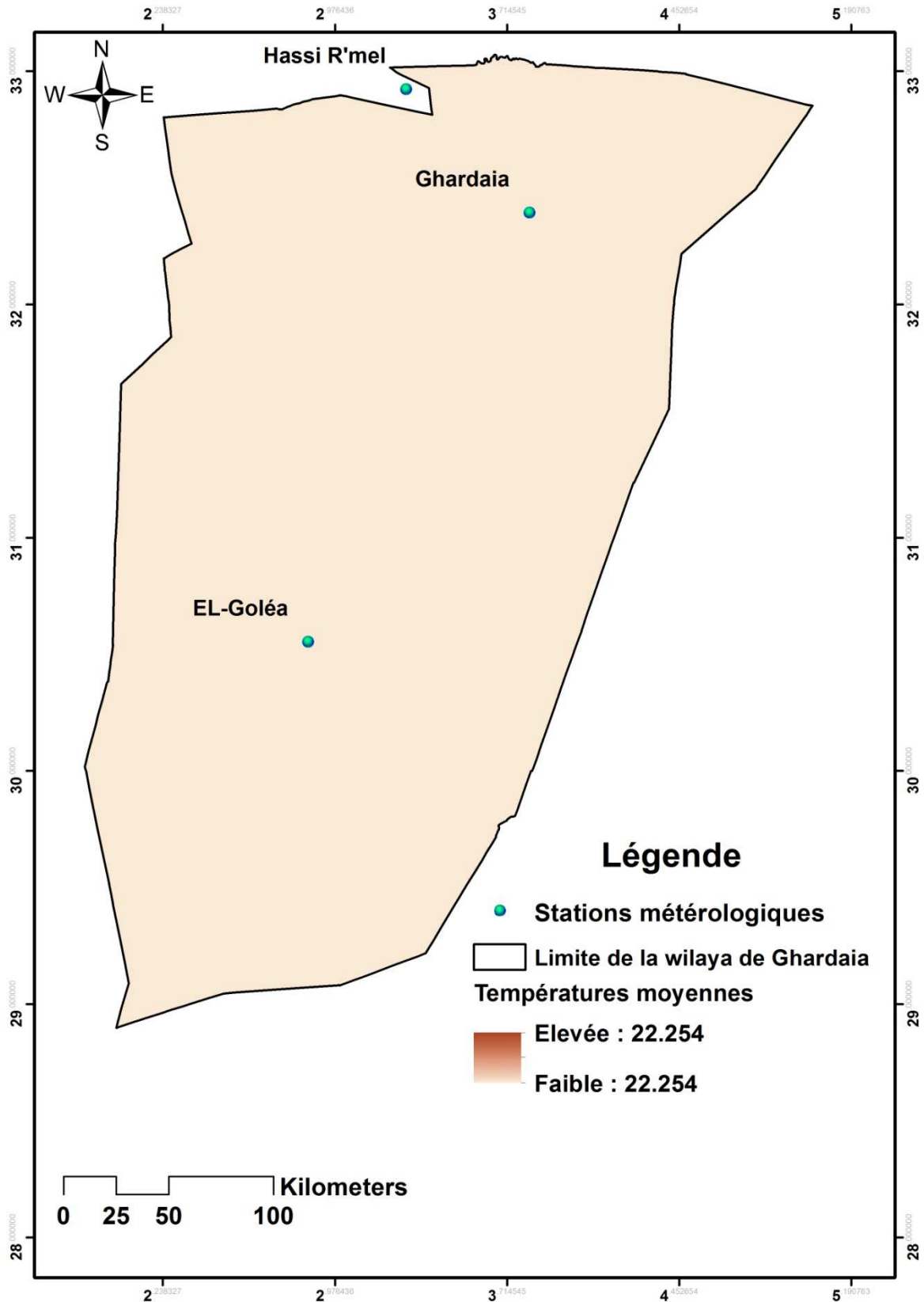


Figure 24: Carte des variations des températures moyennes.

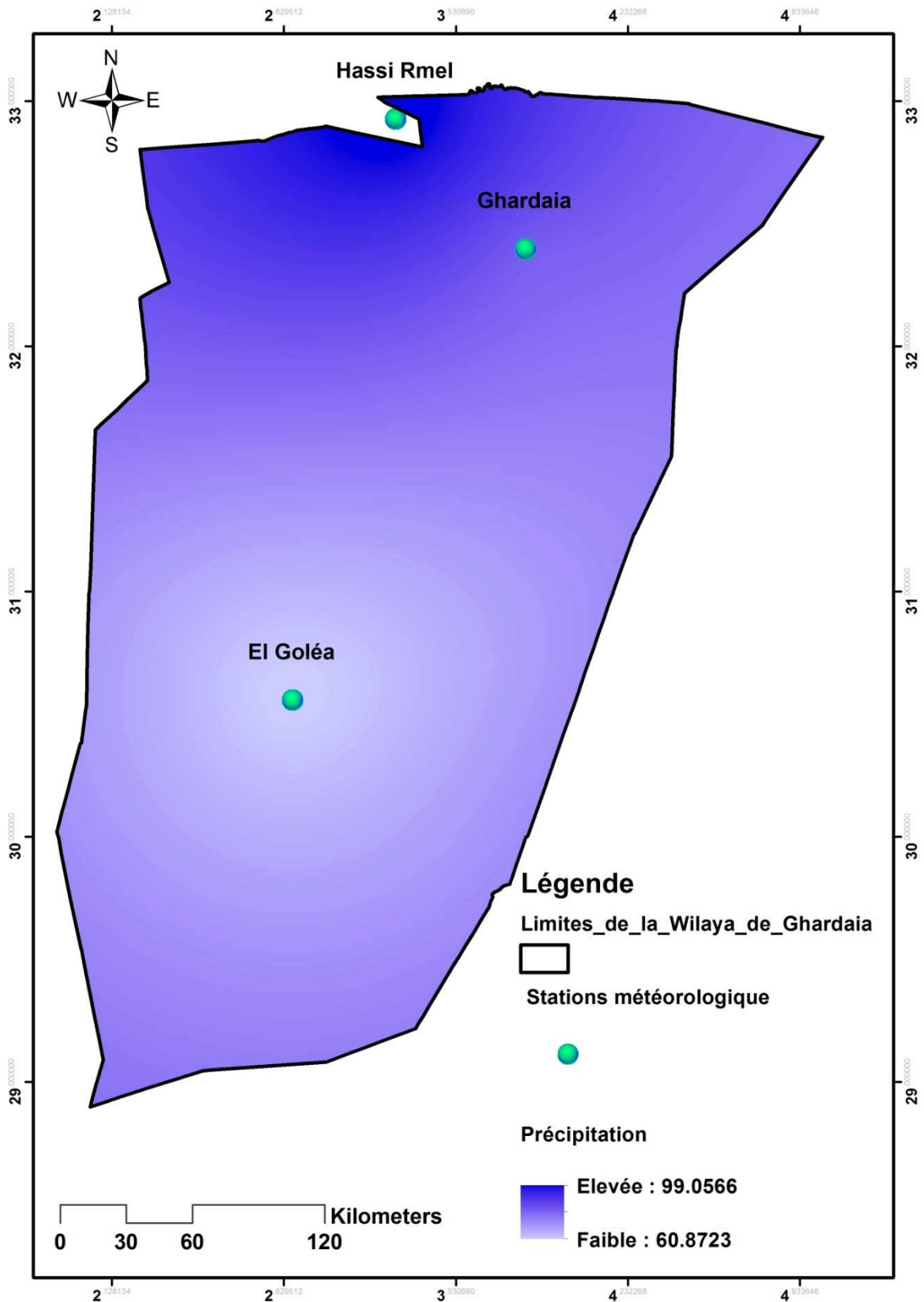


Figure 25: Carte des variations des précipitations cumulées.

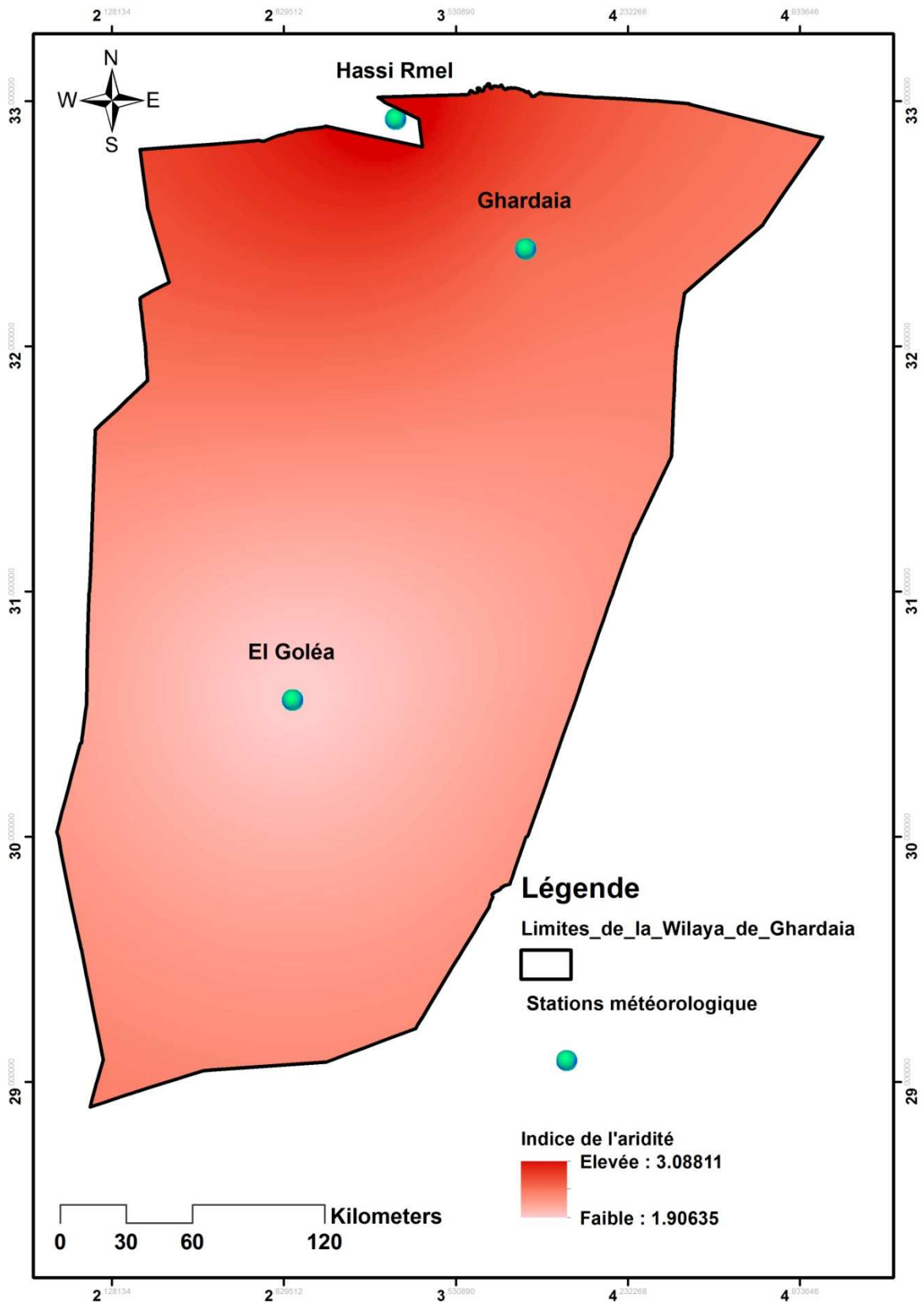


Figure 26: Carte des variations de l'indice d'aridité.

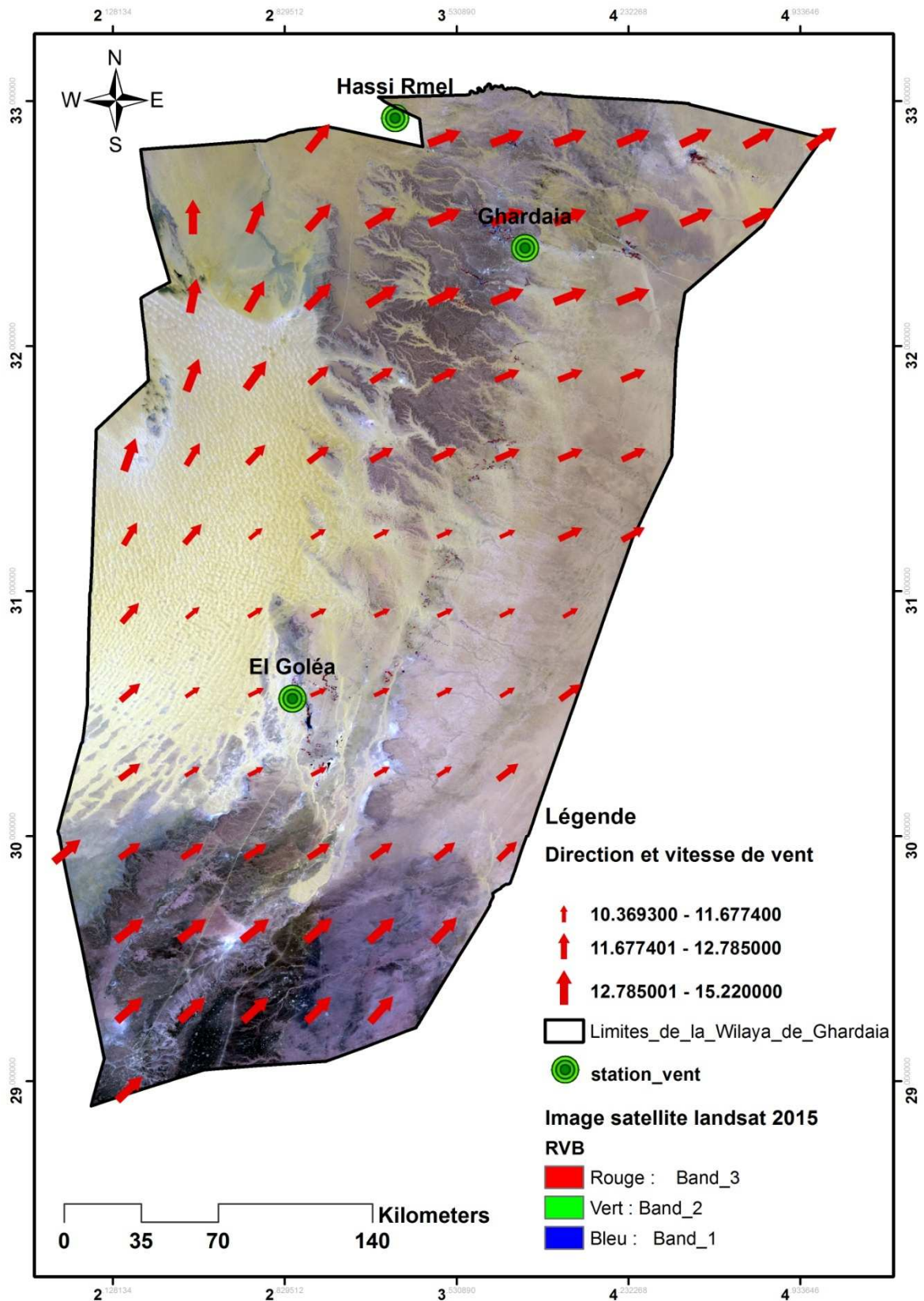


Figure 27: Carte des directions et vitesses du vent de la wilaya de Ghardaia.

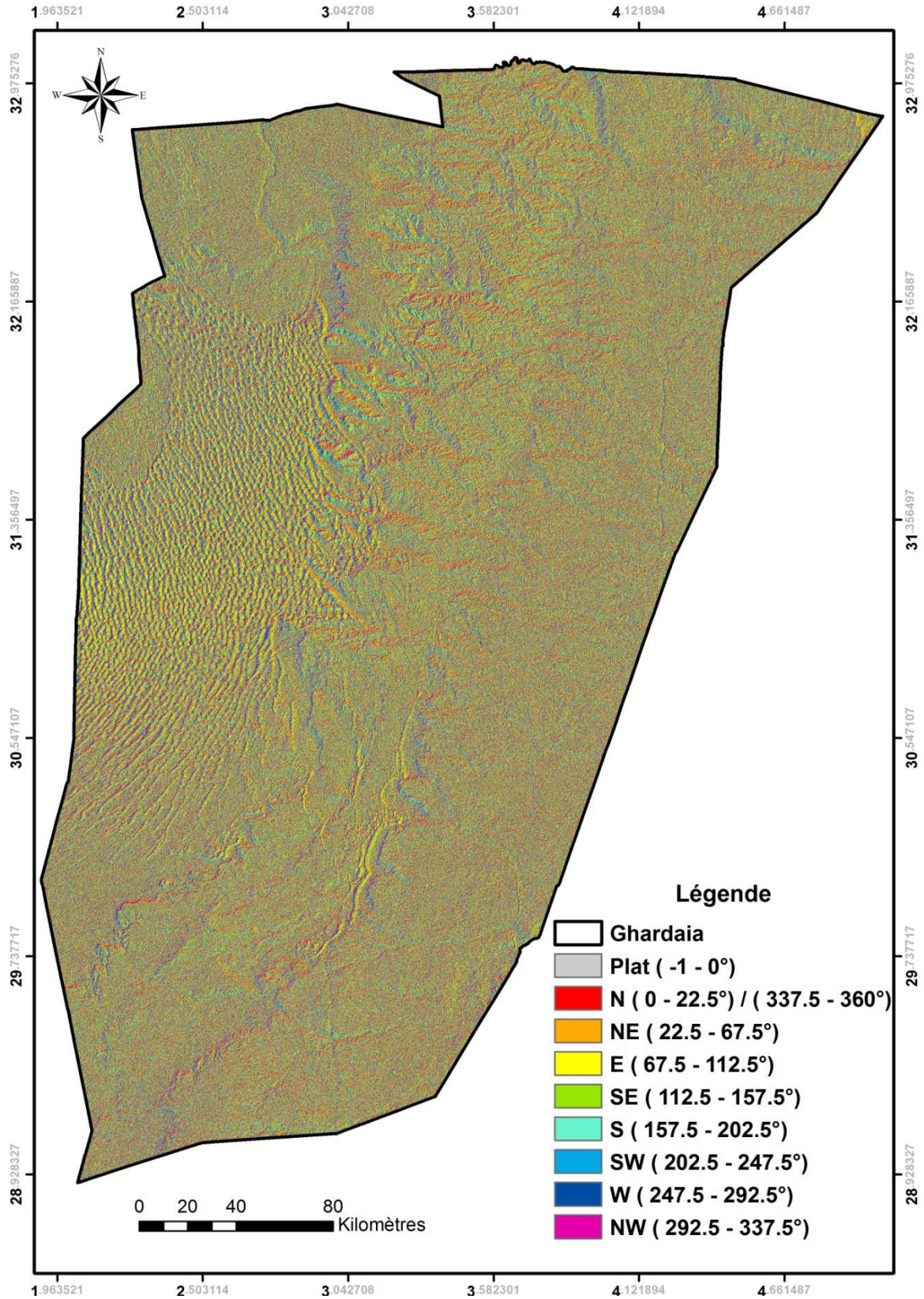


Figure 28: Carte des angles géographiques et directions d'exposition de la wilaya de Ghardaïa.

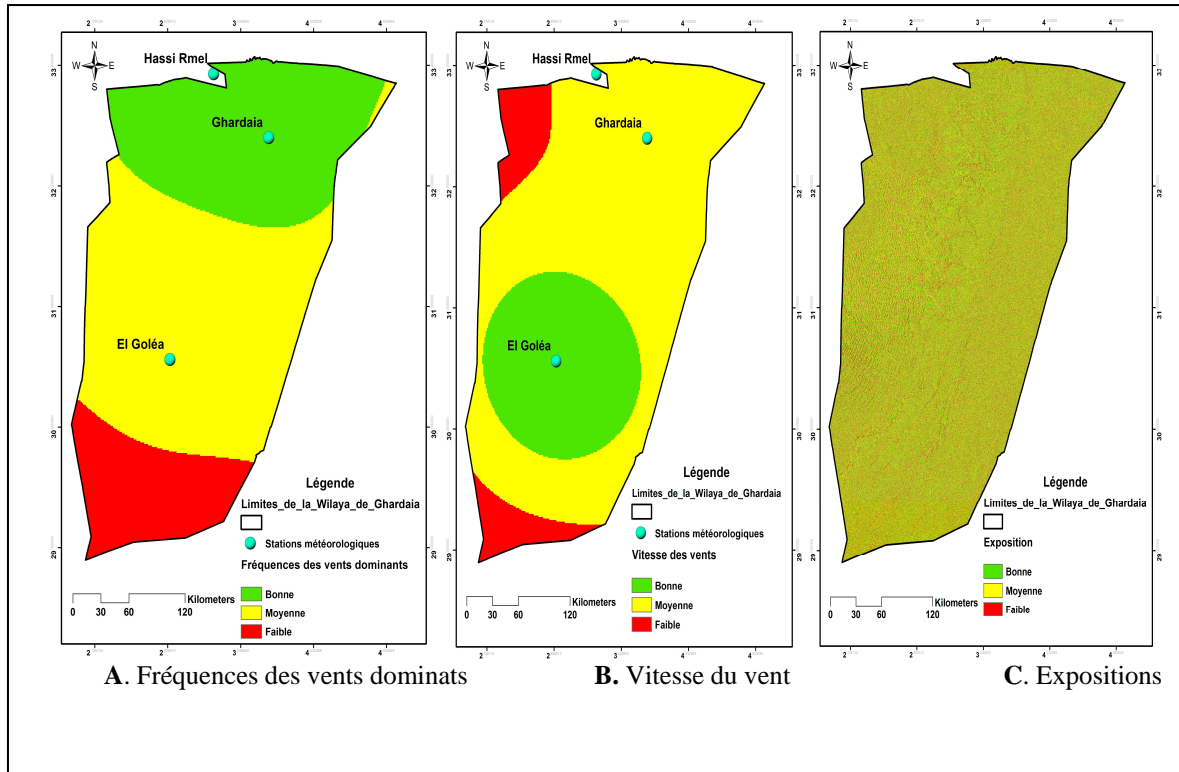


Figure 29: Carte des qualités: A. Fréquences des vents dominants, B. Vitesse du vent et C. Expositions de la wilaya de Ghardaïa.

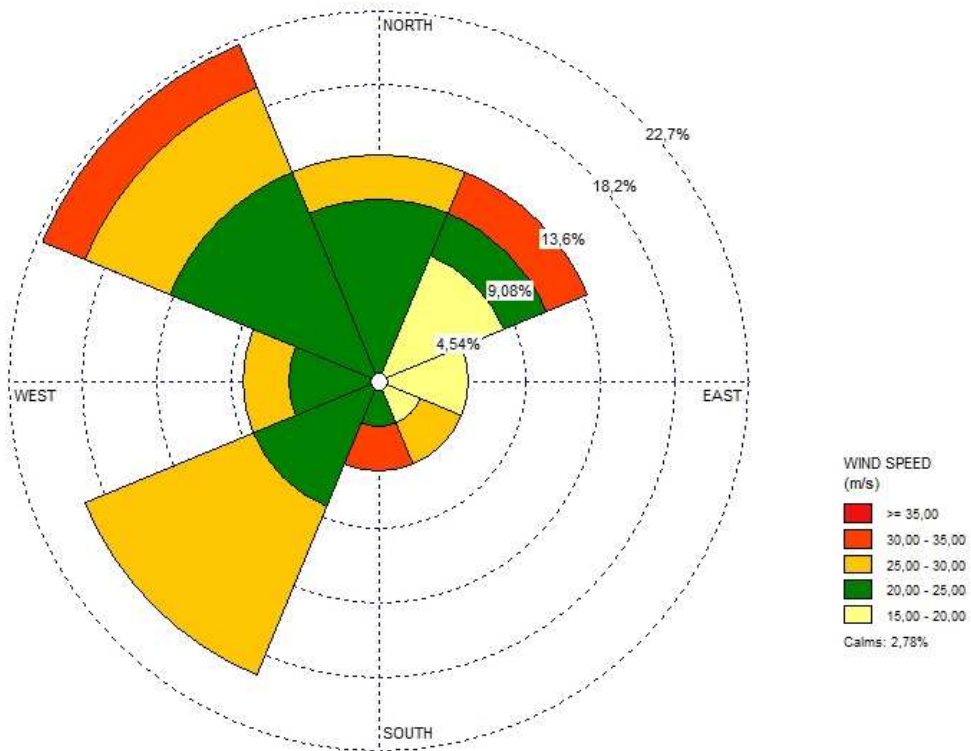


Figure 30 : Rose des vents établie sur WRPLOT



Bien que la variabilité de certains facteurs du climat soit faible ( $I_{DM}$ , pluviométrie et température moyenne), Le modèle est construit principalement par les fréquences des vents, les vitesses moyennes, les directions des vents et l'exposition. En effet, les zones de qualité moyenne, représentées essentiellement par la région Nord de Ghardaïa et centrale d'El-Goléa et Hassi El-Gara, occupent 70,38% de la zone scène cartographiée. Alors que les 29,62% restantes sont considérés comme de qualité faible (figure 31)(tableau IX).

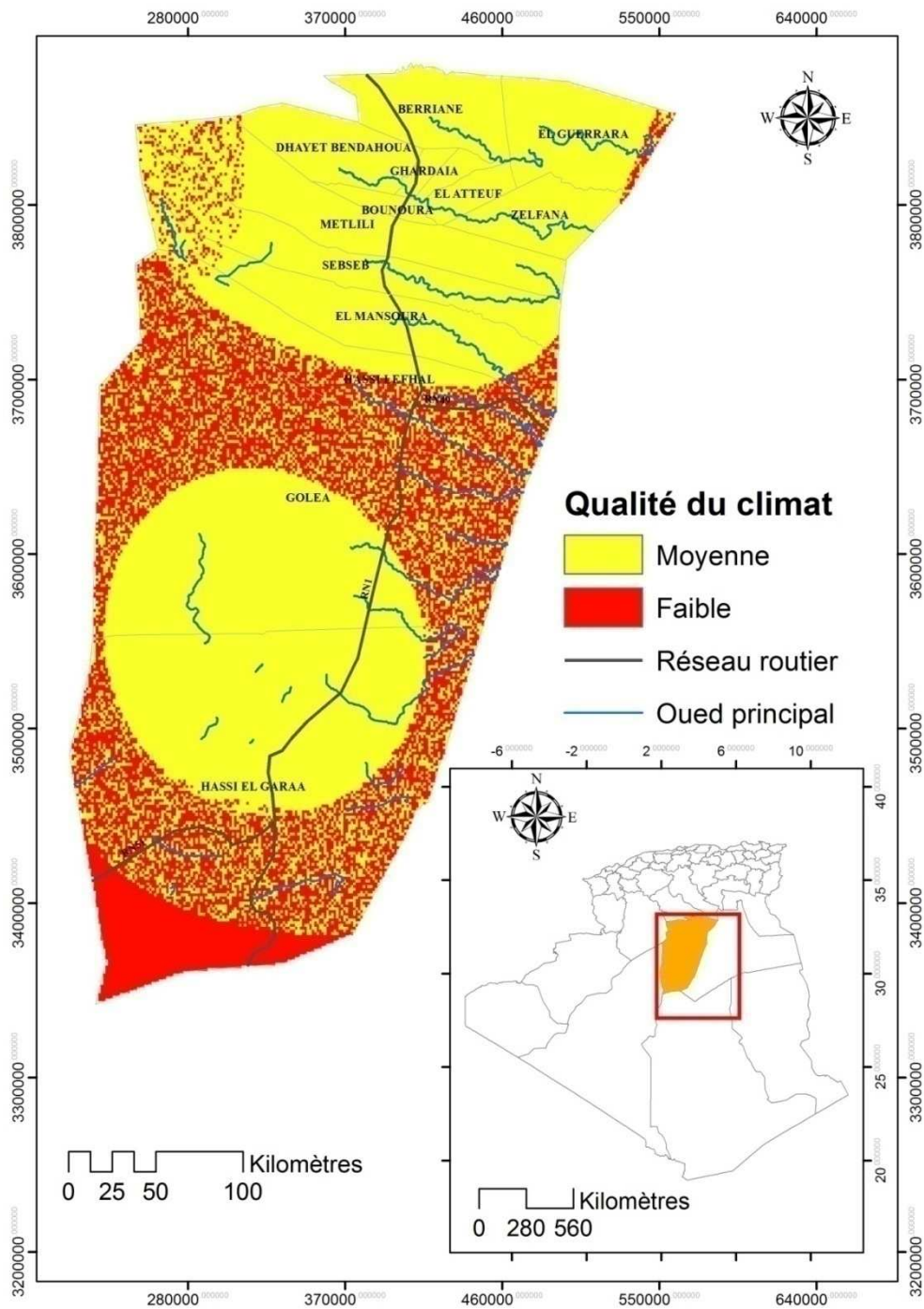


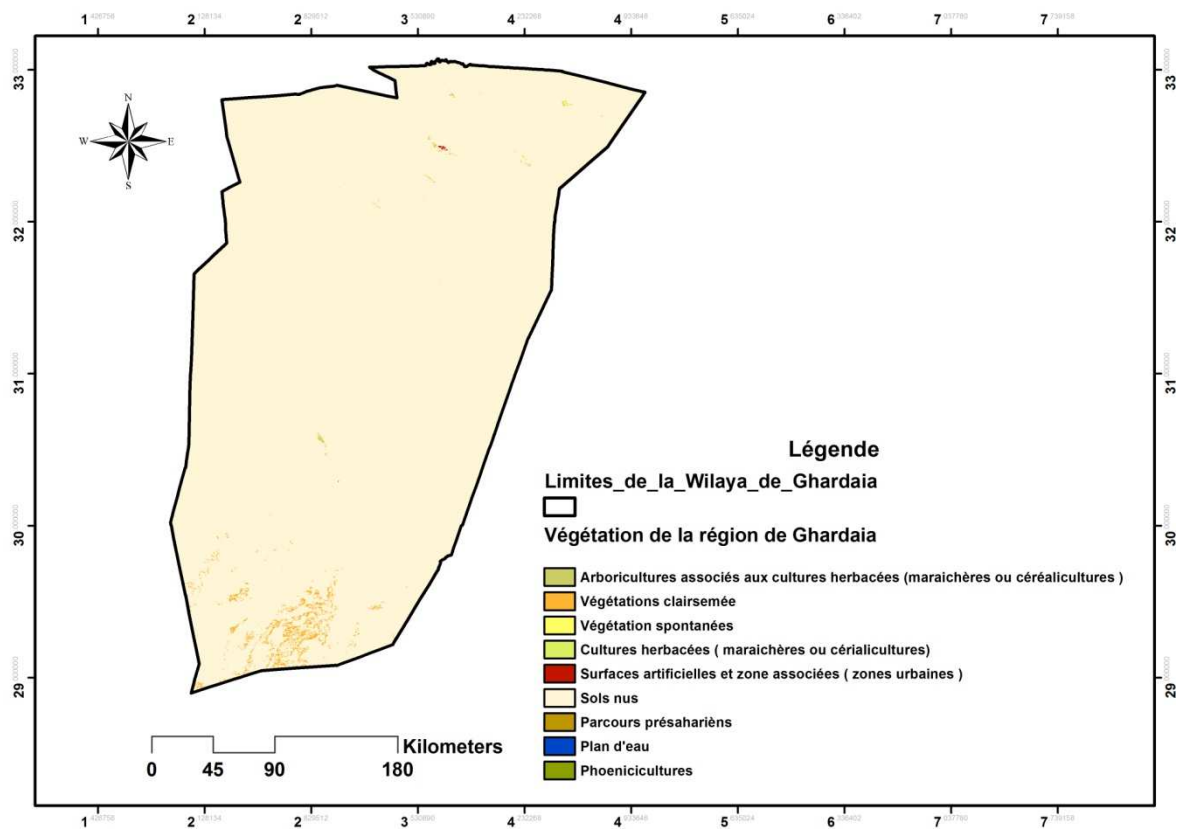
Figure 31: Carte qualité d'indice du climat de la wilaya de Ghardaïa.

**Tableau IX. Description des qualités d'indice du climat.**

Qualité	Score	Superficie (km <sup>2</sup> )	Pourcentage (%)
Bonne	< 1,15	0	0
Moyenne	1,15 – 1,18	55974,95	70,38
Faible	> 1,18	23558,54	29,62

### 3.3. Résultats relatifs à l'indice de végétation (IQV)

Les critères du modèle liés à la végétation ont été évalués à partir de la carte de végétation provenant de la base de données mondiale (Glob Cover Map, 2009) (figure 32). Selon la composition *MEDALUS* les paramètres: couverture végétale, risque d'incendie, protection contre l'érosion et résistance à la sécheresse ont été retenus. Ces sur toutes ces couches d'information, la qualité faible est la plus dominante (figure 33)(tableau X). En effet, la végétation des ces zones est très clairsemée, à aspect en généra nu dans lesquelles les arbres sont rares que dispersés. Les zones dotées de qualité moyenne ne représentent que 0,35% e l'aire totale cartographiée et sont essentiellement celles des oasis (M'zab, Guerra, El-Goléa et autres zones agricoles)(figure 34)(tableau XI).



**Figure 32: Répartition des végétations en fonction de la base des données mondiale (Glob Cover Map, 2009).**

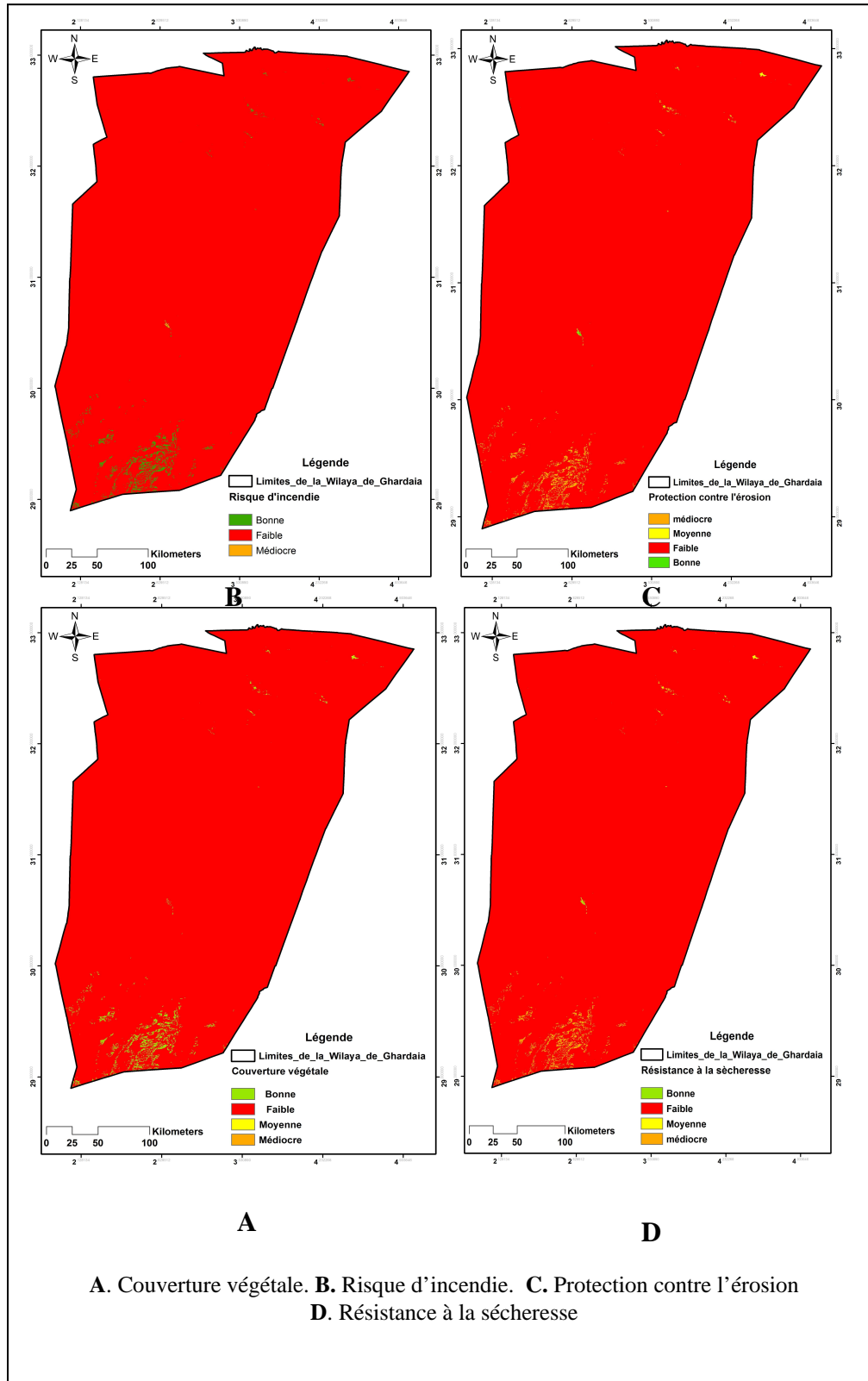


Figure 33: Carte des qualités: A. Couverture végétale, B. Risque d'incendie, C. Protection contre l'érosion et D. Résistance à la sécheresse.

Tableau X. Description des qualités d'indice de végétation.

Qualité	Score	Superficie (km <sup>2</sup> )	Pourcentage (%)
Bonne	1 – 1,6	0	0
Moyenne	1,7	0,002834	0,35
Faible	2	79855,46	99,65

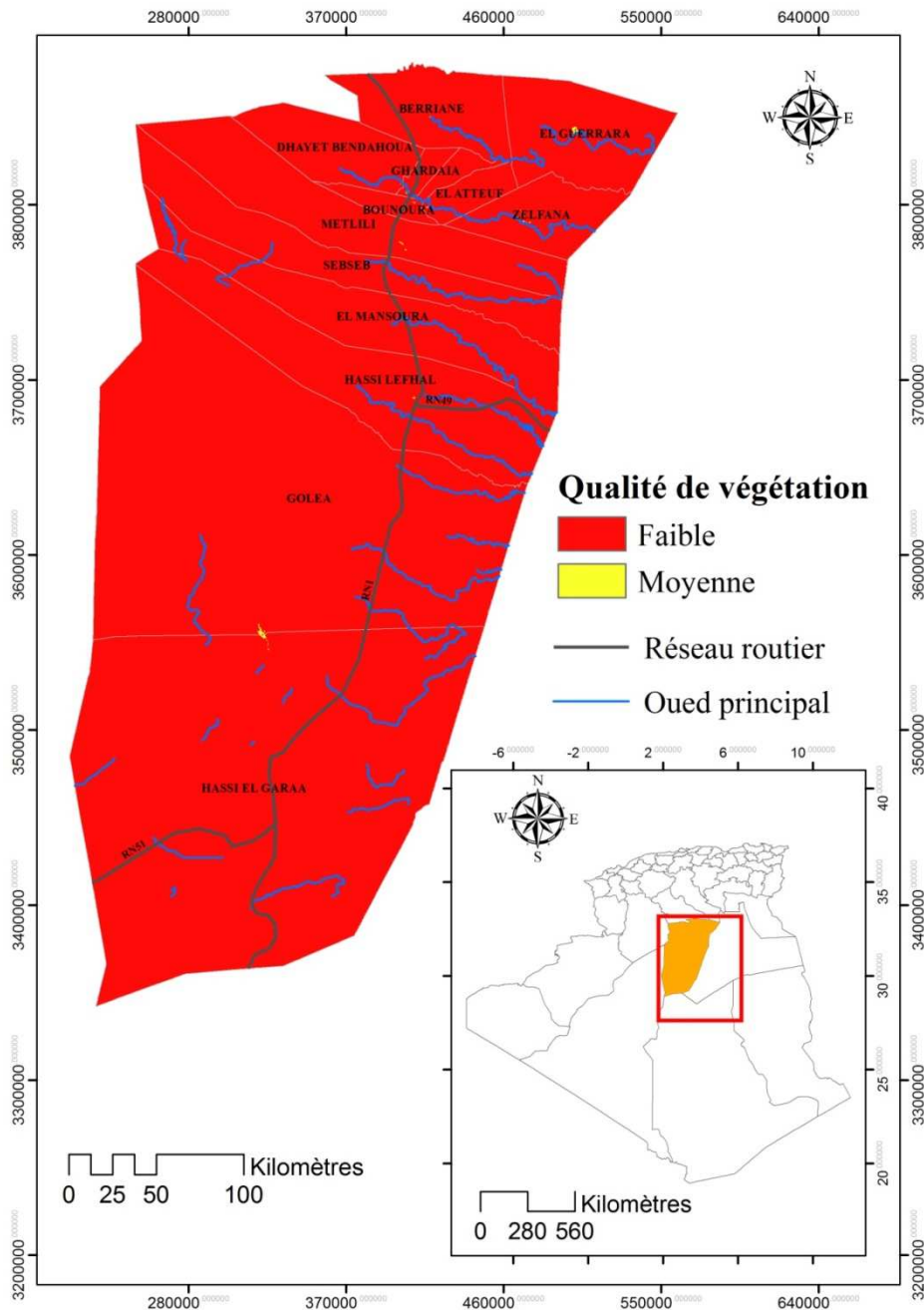


Figure 34: Carte qualité d'indice de végétation de la wilaya de Ghardaïa.

### **3.4. Résultats relatifs à l'indice de l'aménagement (IQA)**

Les facteurs anthropiques et socio-économiques impliqués dans le dysfonctionnement des milieux arides semblent être complexes et se situent à des niveaux divers. Les paramètres de pression anthropique sont de faible qualité pour les communes: Metlili (charge de cheptel); Ghardaïa et Bounoura (intensité d'utilisation agricole); Metlili, Guerrara, Hassi El-F'hel, El-Goléa (exploitation minière); Hassi El-F'hel et Mansoura (taux d'accroissement des populations) (figures 35, 36, 37 et 38). D'autres paramètres à effet positif et d'aménagement sont considérés, en revanche, de bonne qualité pour les communes: Ghardaïa et Metlili (installation des digues); Ghardaïa, Dayat Ben Dahoua, Berriane, Zelfana, Bounoura et El-Atteuf (travaux des mises en valeur); El-Goléa et Metlili (disposition des aires protégées et zones humides) (figures 39, 40 et 41).

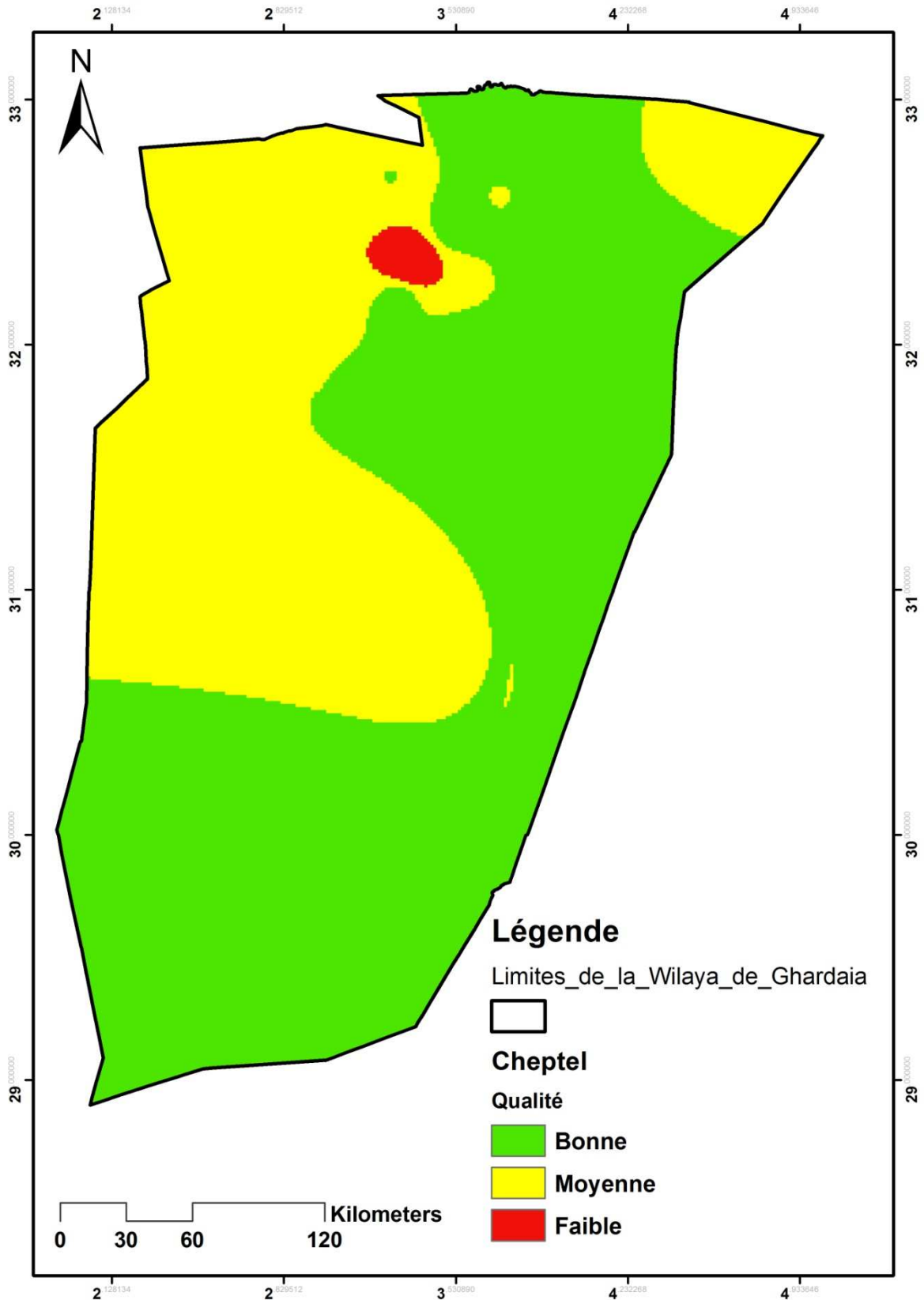


Figure 35: Carte qualité de charge de cheptels.

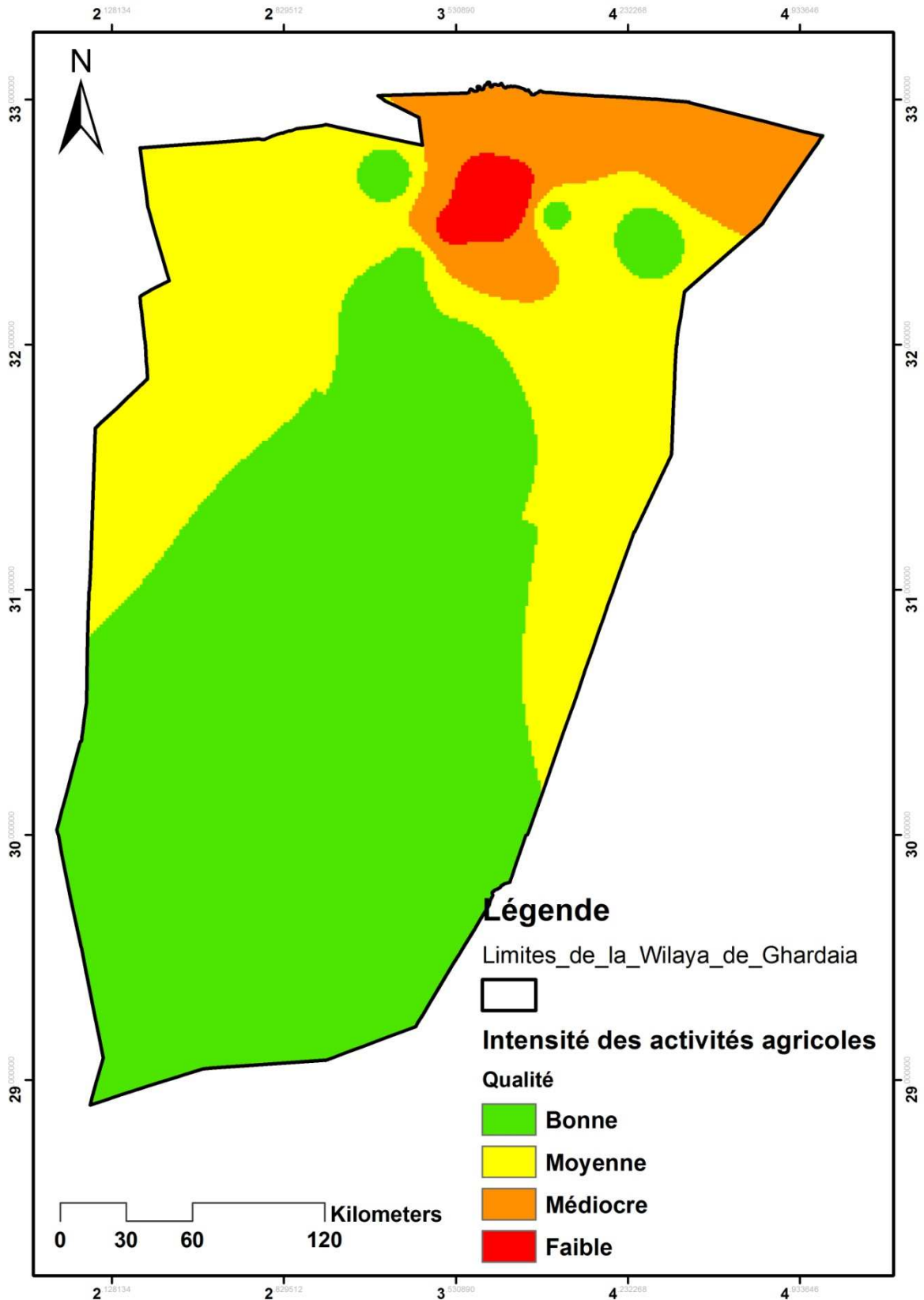


Figure 36: Carte qualité d'intensité des activités agricoles

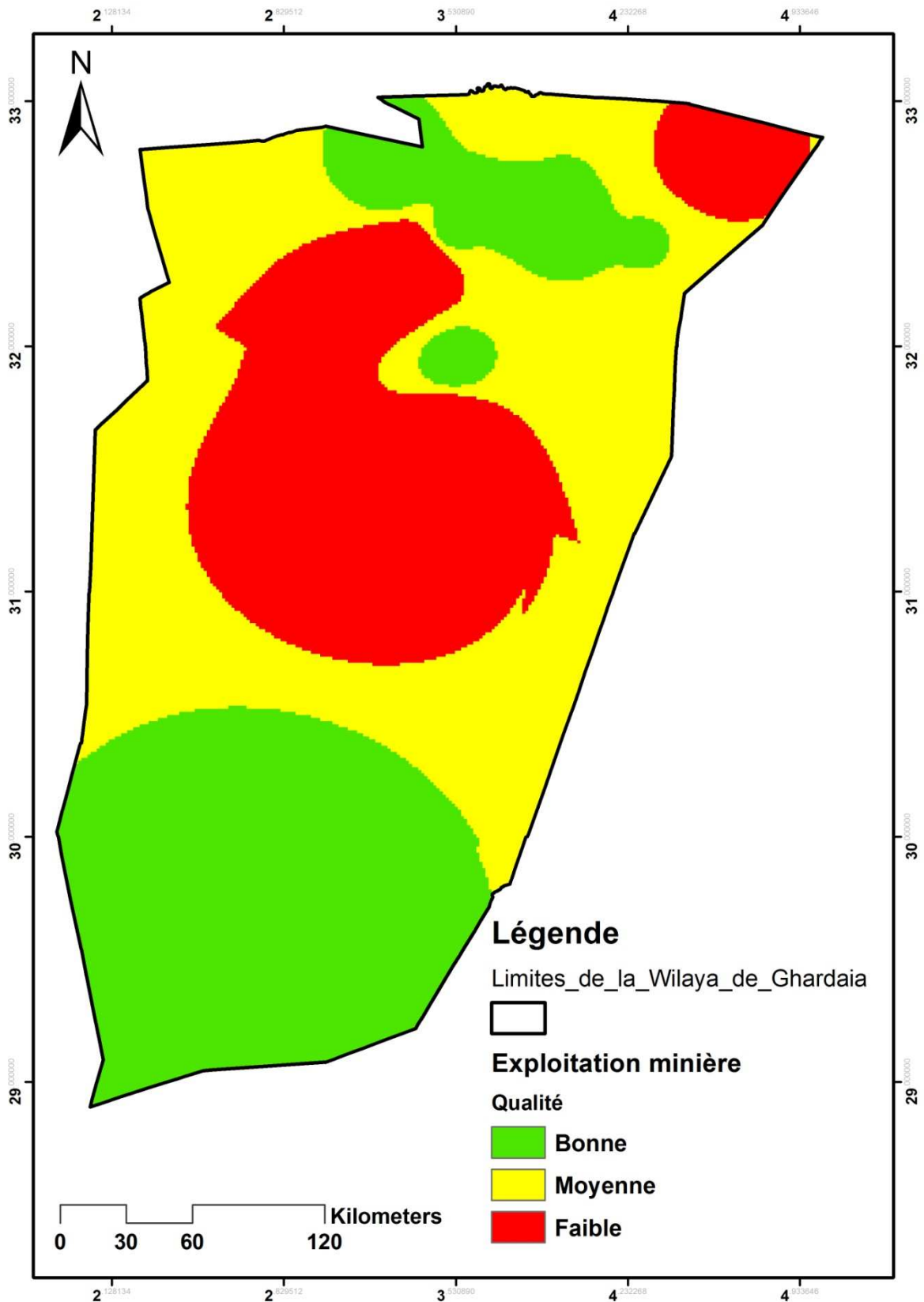


Figure 37: Carte qualité d'exploitation minière de la wilaya de Ghardaia.



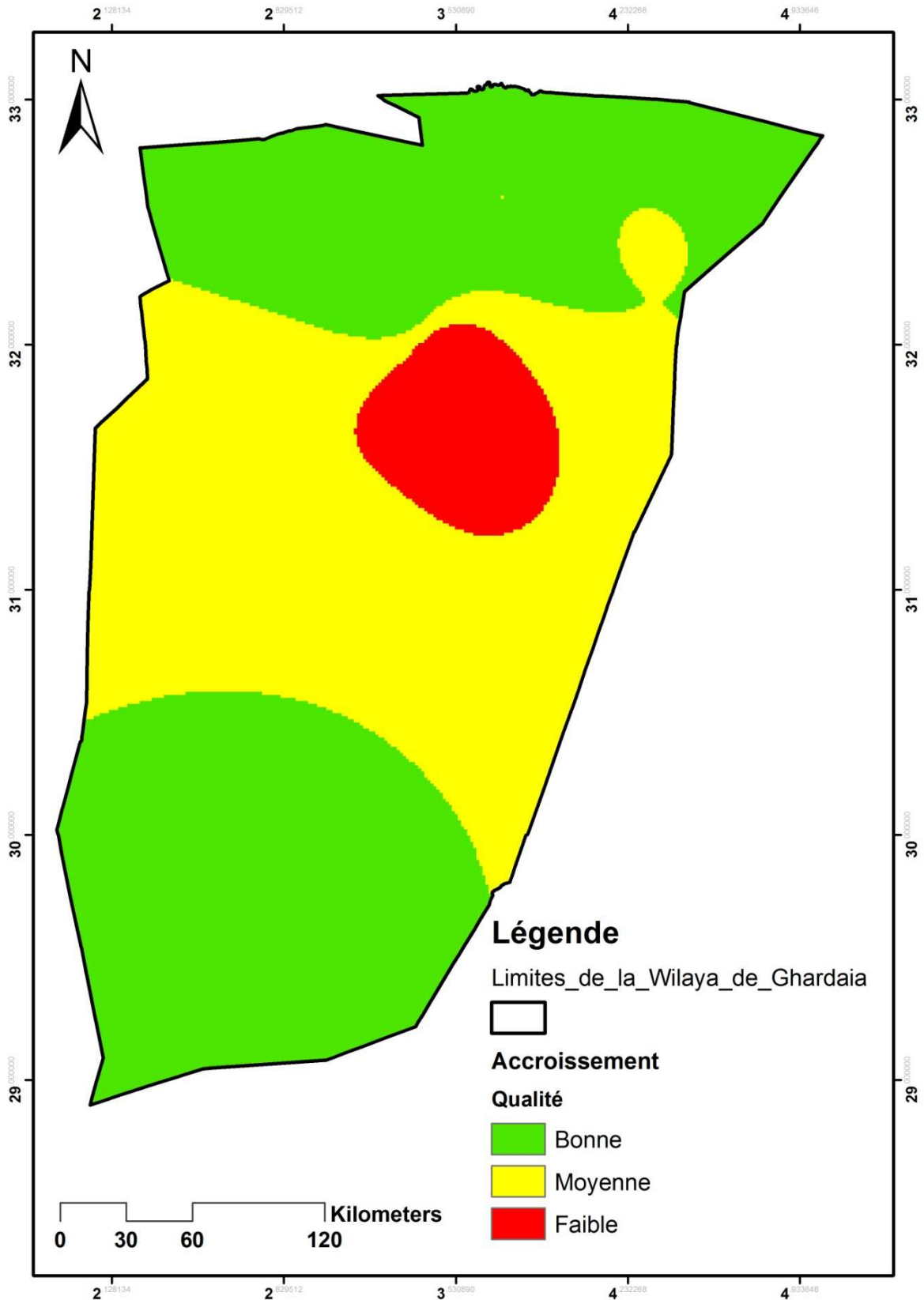


Figure 38: Carte qualité taux d'accroissement des populations.

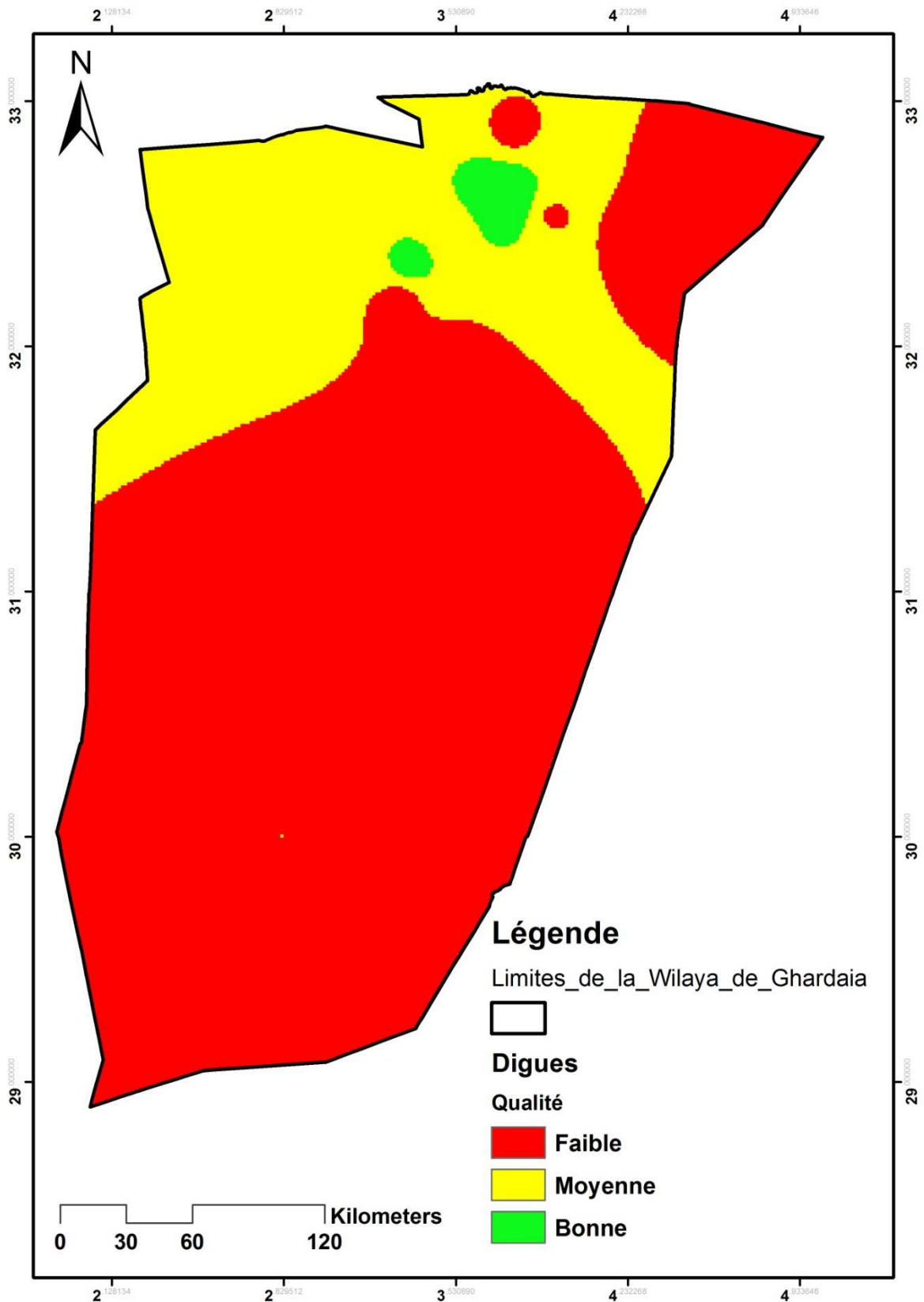


Figure 39: Carte qualité d'installation des digues.

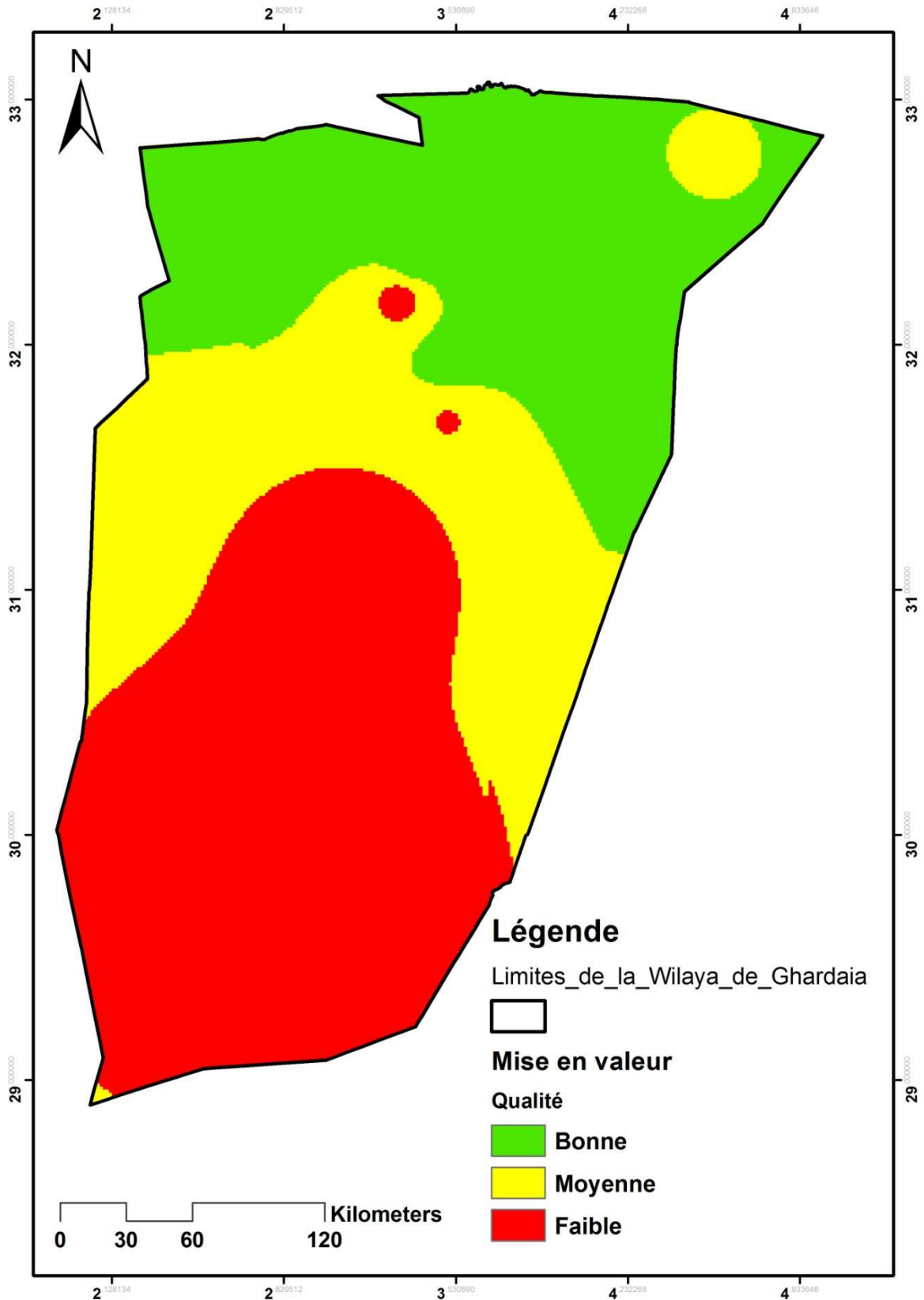


Figure 40: Carte qualité des travaux des mises en valeur de la wilaya de Ghardaïa.

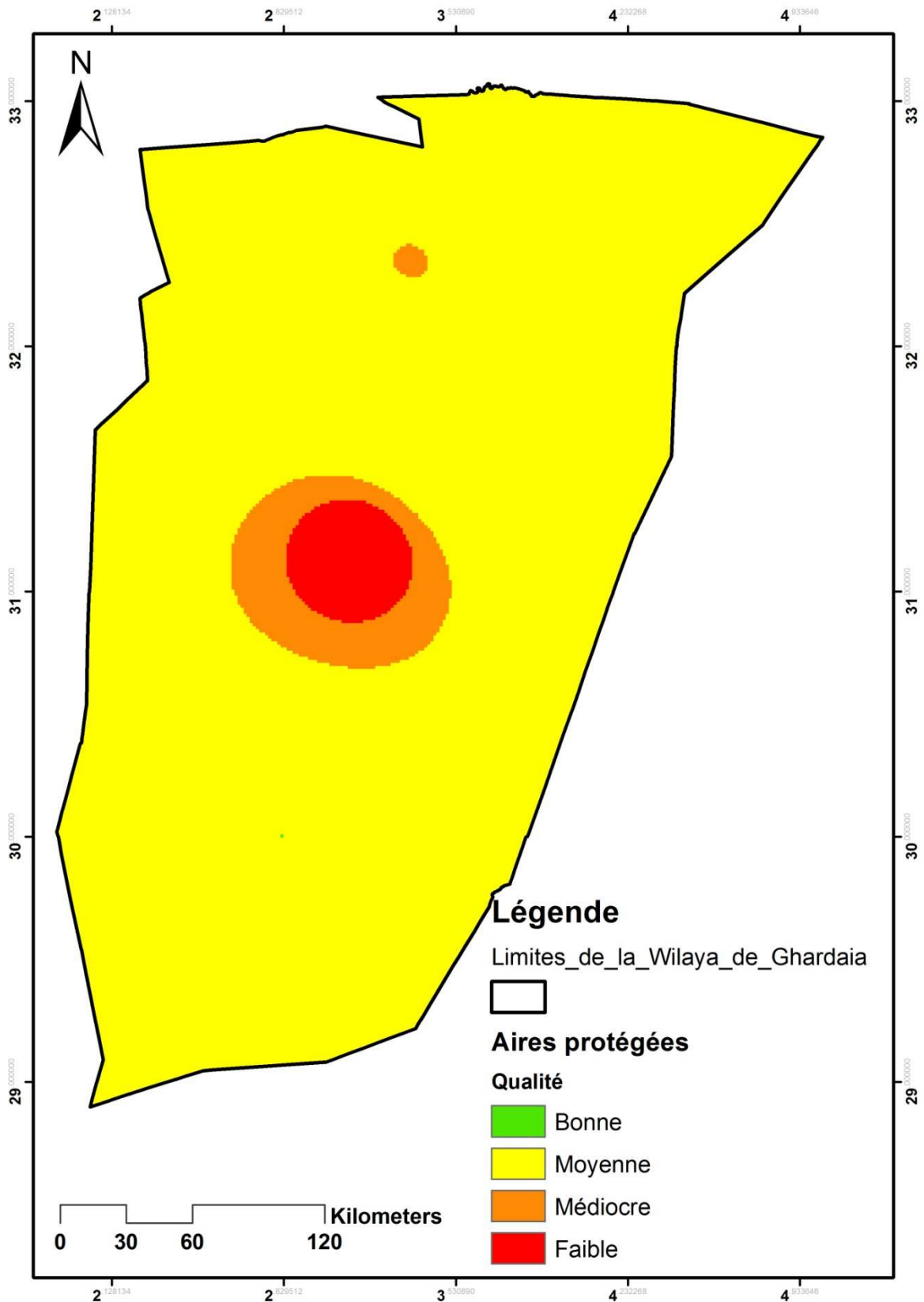


Figure 41: Carte qualité de disposition des aires protégées et zones humides

Il ressort de modèle de qualité d'aménagement que 46637,73 km<sup>2</sup> (58,35%) de la région sont de qualité faible, alors que les zones de qualité moyenne ne représentent que 41,65% de la surface totale étudiée (figure 42) (tableau XI).

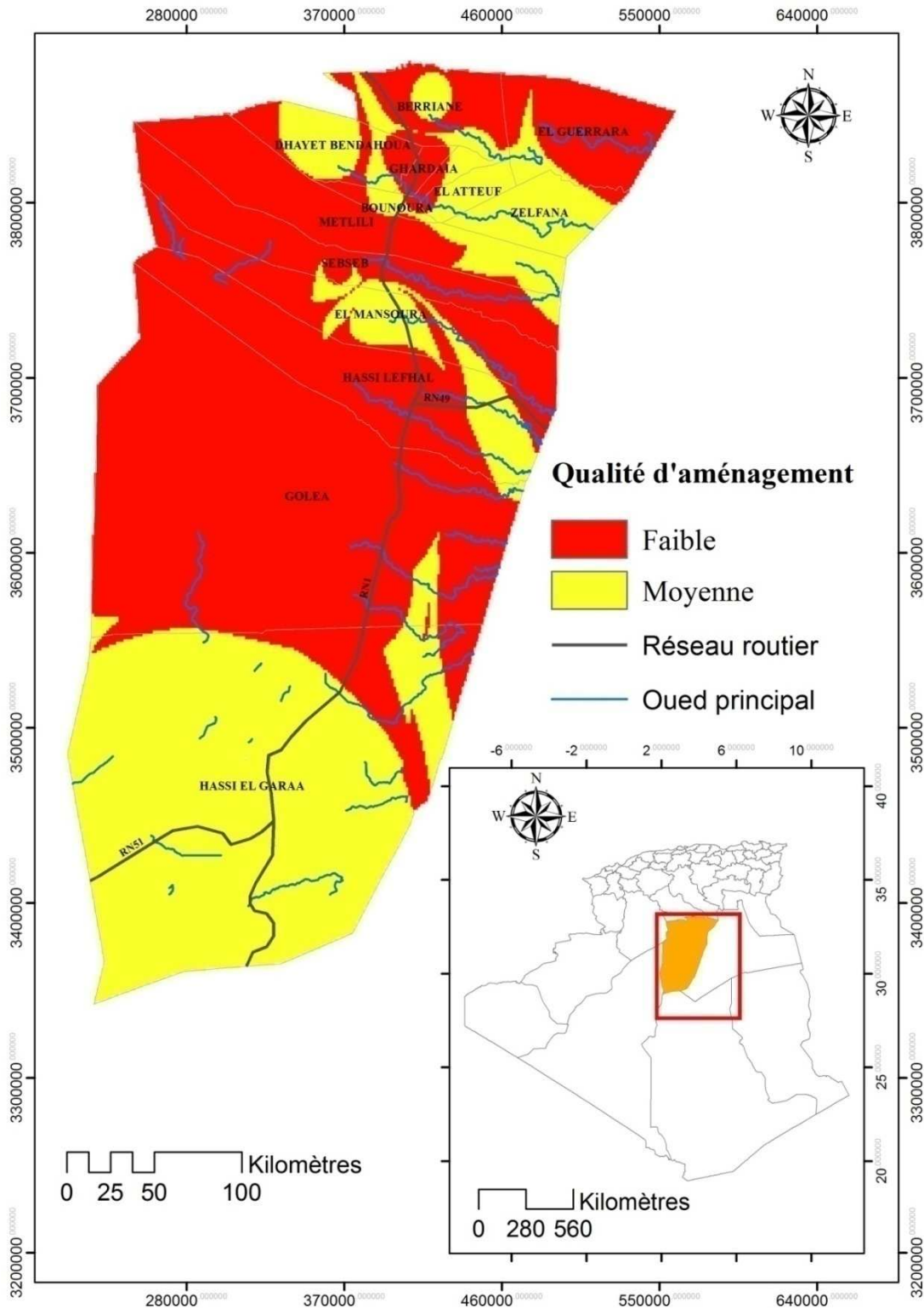


Figure 42: Carte qualité d'indice d'aménagement.

**Tableau XI. Description des qualités d'indice d'aménagement.**

Qualité	Score	Superficie (km <sup>2</sup> )	Pourcentage (%)
Bonne	1 – 1,25	0	0
Moyenne	1,26 – 1,50	33283,89	41,65
Faible	1,51	46637,73	58,35

### **3.5. Indice de sensibilité globale (ISD)**

Pour évaluer la sensibilité globale à l'ensablement via l'approche *MEDALUS*, la fonction *Raster calculator* de l'ARCGIS 10.3 a été exploitée pour compiler les quatre couches raster finales spécifiques aux quatre indicateurs de qualité (IQS, IQC, IQV et IQA). La carte de sensibilité finale met en évidence quatre (04) classes de vulnérabilité en se référant au score d'indice de sensibilité (ISD).

Il ressort de la carte de synthèse que 86,31% de la région sont considérées comme fragiles (sensibles) avec une superficie dominante de 68486,29 km<sup>2</sup>. La classe de qualité potentielle (moyennement sensible) occupe une surface faible (3484,05) km<sup>2</sup>, soit 9,30%. Les zones dites critiques se sont représentées par un taux de 9,30%, soit une superficie de 7379,24 km<sup>2</sup>. Cependant, il est à noter que la classe non affectée (stable) ne représente qu'une portion négligeable de la scène d'étude (figure 43) (tableau XII).

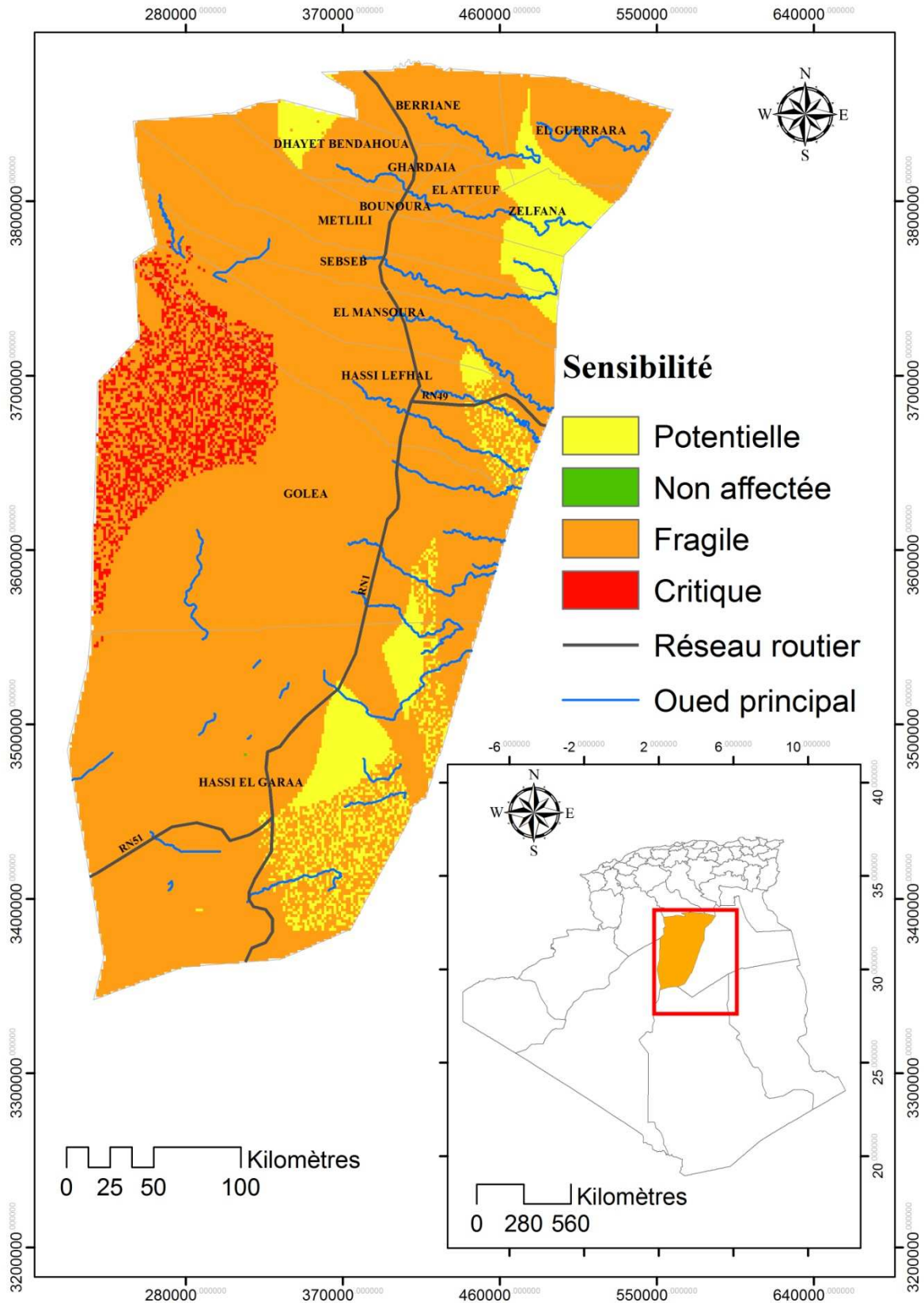


Figure 43: Carte d'indice de sensibilité globale.

**Tableau XII. Indice de sensibilité**

Qualité	Score	Superficie (km <sup>2</sup> )	Pourcentage (%)	Sensibilité
Non affectée	0 – 1,16	0	0	Stable
Potentielle	1,17 – 1,22	3484,05	4,39	Moyennement sensible
Fragile	1,38 – 2,45	68486,29	86,31	Sensible
Critique	1,23 – 1,37	7379,24	9,30	Très sensible

**3.6. Résultats relatifs à la détection des changements pendant la période allant de 2000 au 2015:**

**3.6.1. Carte d'occupation du sol initial en 2000 :**

La carte d'occupation du sol de la région de Ghardaïa (2000) montre que la surface totale de la région digitalisée (état initial) est de 83214,35 km<sup>2</sup>. Cette dernière est répartie en sept (07) classes bien distinctes. En effet, la classe la plus dominante est celle de sable et dunes d'une superficie 21573,39 km<sup>2</sup>, soit 25,93% de la scène totale. Les collines et calcaires ainsi que les regs et dalles hamadiennes occupent des superficies proches couvrant environ 22% pour chacune. Les lits d'Oueds et dépressions s'étalent sur 16189,03 km<sup>2</sup>, soit 19,45%, tandis que la classe de Chebka n'occupe que 8,6% de la surface totale. Bien que les zones urbaines et végétation présentent un faible taux de recouvrement (1,90%), les zones humides ont une surface négligeable, voire même nulle pour cette période (figure 44) (tableau XIII).

**Tableau XIII. Classes d'occupation, superficies et pourcentages de la Wilaya de Ghardaïa en 2000.**

Classe d'occupation	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Pourcentage (%)
<b>Zones urbaines et végétation</b>	1582,57	1,90179939
<b>Sable et dunes</b>	21573,39	25,9250838
<b>Chebka</b>	7158,67	8,60268692
<b>Reg et dalles hamadiennes</b>	18342,73	22,0427486
<b>Collines et calcaires</b>	18367,96	22,0730679
<b>Lits d'oueds et dépressions</b>	16189,03	19,4546133
<b>Zones humides</b>	0	0
<b>Total</b>	83214,35	100



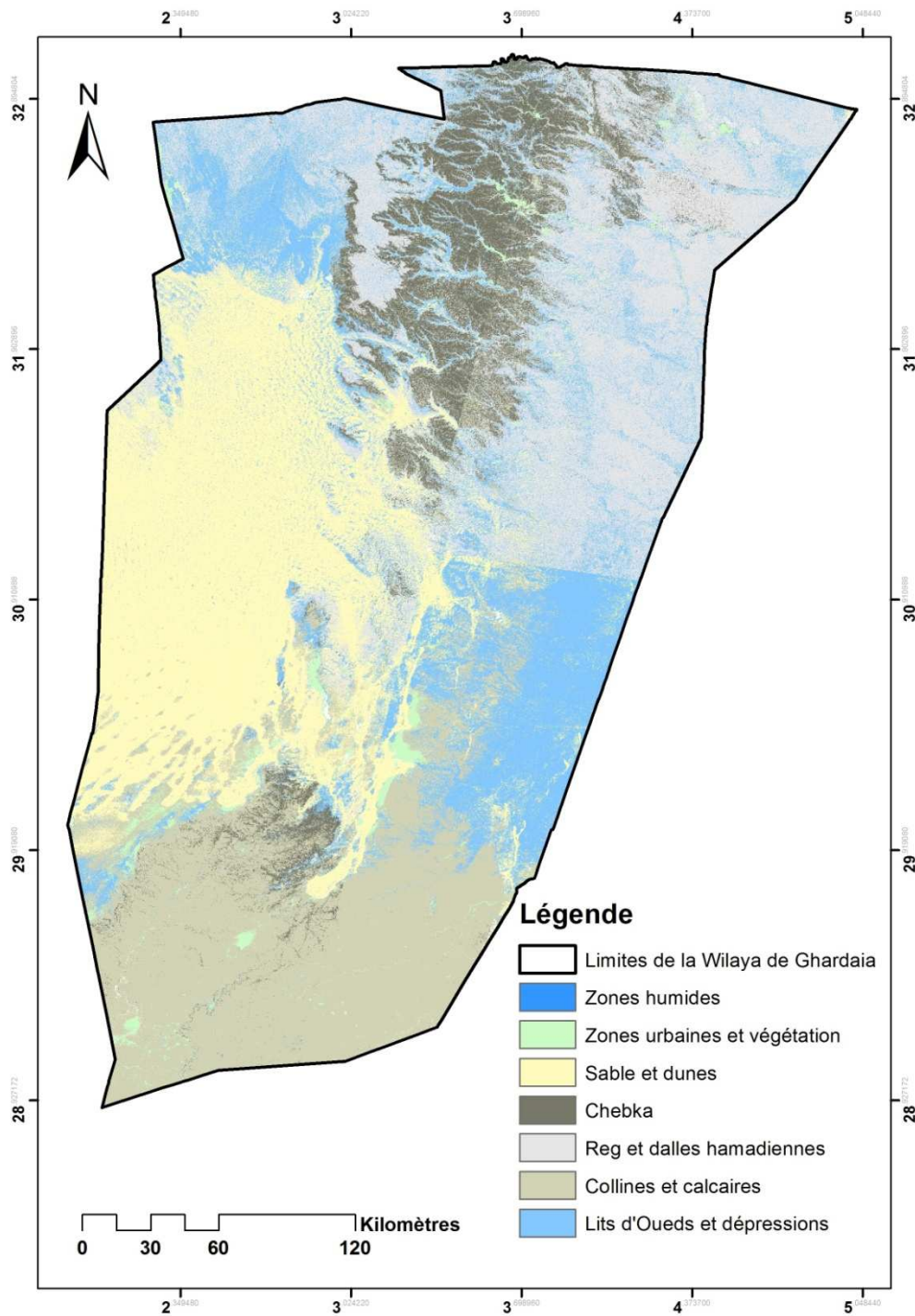
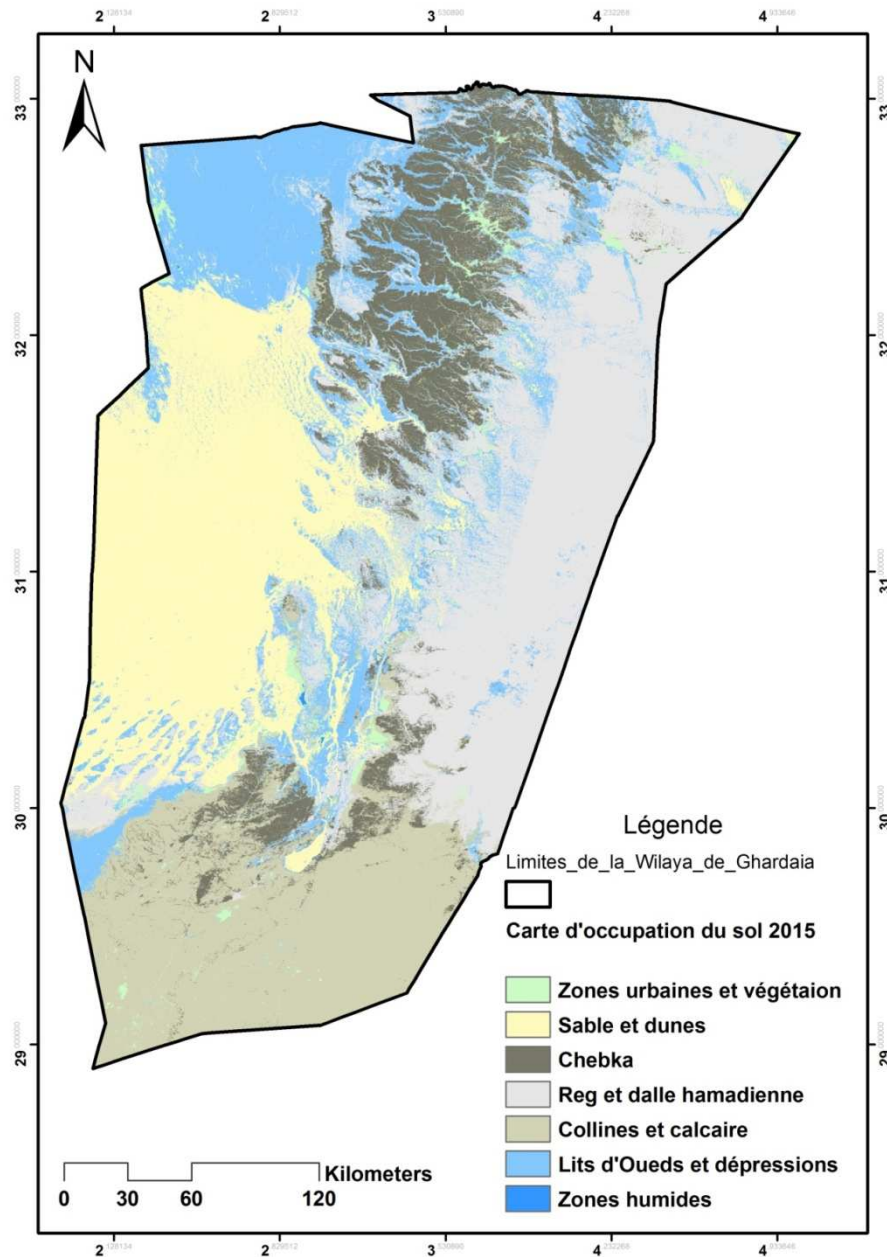


Figure 44 : Carte d'occupation du sol de la Wilaya de Ghardaïa en 2000.

### 3.6.1. Carte d'occupation du sol final en 2015 :

L'occupation du sol générée à base d'image Landsat 2015 montre que les regs et les dalles hamadiennes occupent 24.5410655 % de la superficie totale, soit 20715,83 km<sup>2</sup>. Les dunes du sable s'étalent 19994,7km<sup>2</sup> (23.6867769%). Bien que les superficies des zones urbaines

et végétation soient minimales (4.99450795%), les zones humides ne représentent que 0.02969925% ; soit une aire de 25,07 km<sup>2</sup> (figure 45).



**Figure 45: Carte d'occupation du sol de la wilaya de Ghardaïa en 2015.**

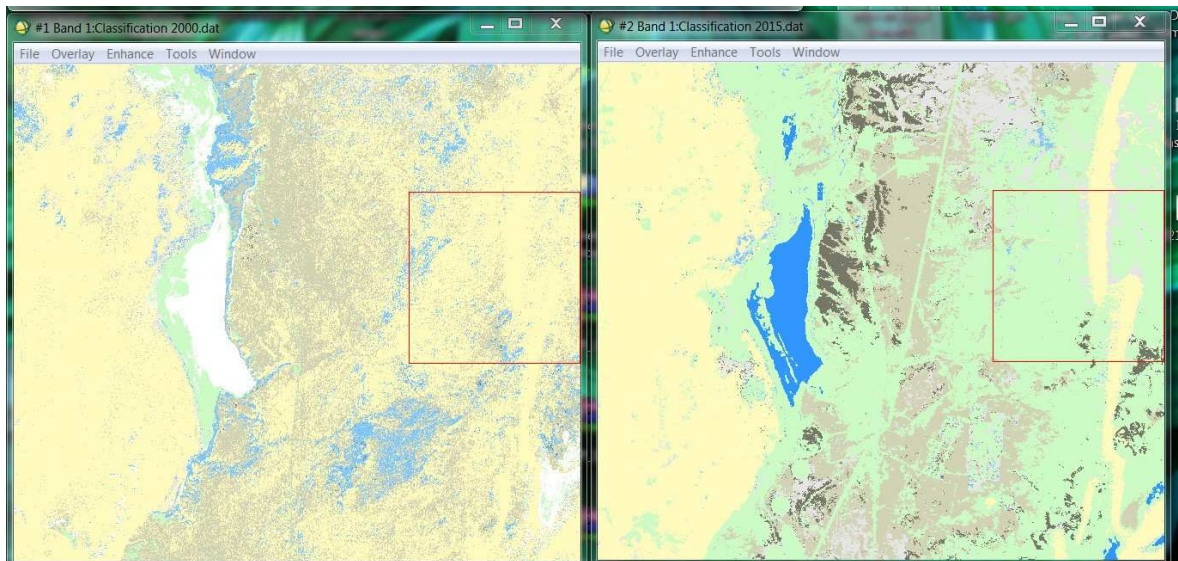
### 3.6.2. Détection des changements des classes d'occupation entre la période 2000-2015

Les résultats rapportés dans le Tableau XIV, montrent que la classe des zones urbaines et végétation a marqué la progression la plus importante durant la période allant de 2000 au 2015 avec un taux de 166,4%, soit une différence de superficie de 2633.44 km<sup>2</sup>. Les zones de Chebka, Regs et dalles hamadiennes ont connu, de même, des progressions considérables, évaluées de 62,64% et 12,94% respectivement. Quant aux zones humides

qui occupaient une surface négligeable en 2000, elles couvraient une surface de 25,07 km<sup>2</sup> en 2015. Ces progressions sont au détriment des régressions notées pour la classe des sables et dunes et collines et calcaires dont des différences de -1578,69 km<sup>2</sup> et -1247,81 km<sup>2</sup> ont été, respectivement, révélées. Néanmoins, le taux de régression le plus élevé est celui montré pour la classe des lits d'oued et dépression (-33,92%) avec une différence de -5490,54 km<sup>2</sup> de superficie (tableau XIV) (figures 46 et 47).

**Tableau XIV. Evolution des classes d'occupation entre la période 2000 et 2015.**

Classe d'occupation	Surface d'occupation en 2000 (km <sup>2</sup> )	Surface d'occupation en 2015 (km <sup>2</sup> )	Différence de superficie (km <sup>2</sup> )	%
Zone urbaine et végétation	1582,57	4216,01	2633,44	166,402
Sables et dunes	21573,39	19994,7	-1578,69	-7,318
Chebka	7158,67	11642,66	4483,99	62,637
Reg et dalles hamadiennes	18342,73	20715,83	2373,10	12,938
Collines et calcaires	18367,96	17120,15	-1247,81	-6,793
Lits d'oued et dépression	16189,03	10698,49	-5490,54	-33,915
Zones humides	0	25,07	25,07	/



**Figure 46 : Exemple de régression des formations dunaires**

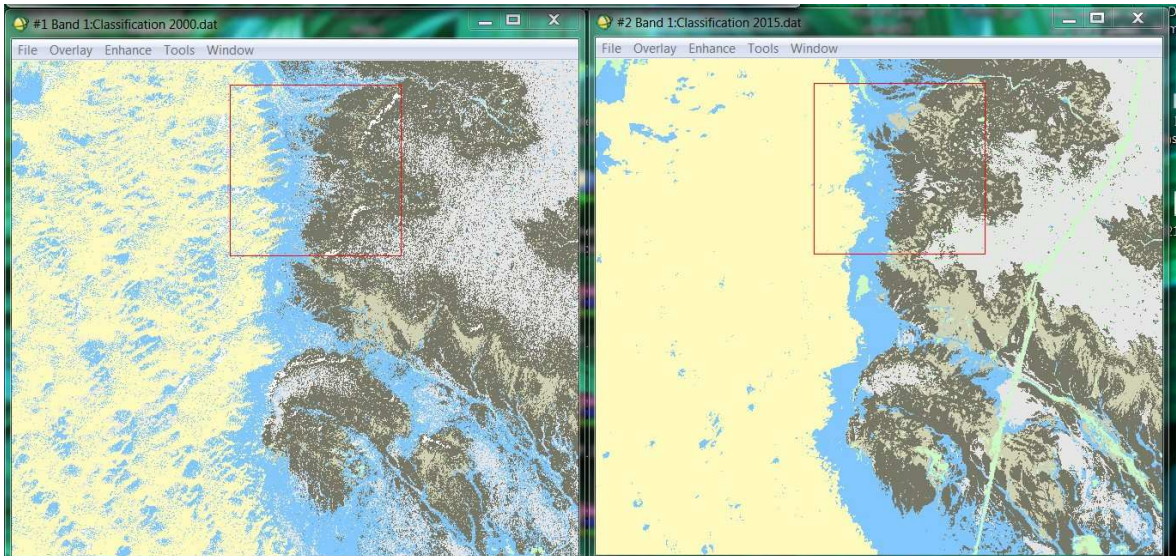


Figure 47 : Exemple de progression des formations dunaires

# **Discussion générale**

## Discussion générale

Dans ce présent travail l'indice de qualité du sol a montré que sur 79538,07 km<sup>2</sup> ; 15,03% ce sont des sols de mauvaise qualité. Selon Salamani *et al*, (2012), les sols sahariens sont par nature de très mauvaise qualité. Ils sont plutôt à dominance de Lithosols, Regosols et des sols minéraux bruts et plus exposés aux facteurs de dégradation, d'érosion et d'ensablement dont l'ampleur s'est accentué davantage depuis les dernières décennies (Le Houérou, 1992; Kadi-Hanifi et Achour, 1998; Roselt, 2005). D'autres études portent sur les régions de Ghardaïa et d'El-Goléa montrent que les sols de ces zones diffèrent en fonction de leur situation géographique et de leurs pratiques culturales. En effet, les sols des vallées sont profonds possédant une texture moins grossière que celle des sols des plateaux. Ces derniers se caractérisent par des affleurements de dalle gréseuse et grésocalcaire, le tout couvert par une couche du sable éolien de 3 -5 cm d'épaisseur (Khadraoui, 2010). De même Kosmas *et al*, (1999) rapportent que les sols de formation consolidée Tertiaire et du Quaternaire ont généralement une profondeur du sol restreinte ce qui influe sur la tolérance de ces sols à l'érosion. En outre, l'angle des pentes représente un facteur déterminant de l'érosion des sols. En effet, l'érosion devient aigue lorsque l'angle des pentes dépasse une valeur critique (> 18% selon le manuel de *MEDALUS*) (Kosmas *et al*, 1998). Djili et Hamdi Aissa (2007) ont noté que dans la région de Guerrara, l'absence de l'action d'érosion éolienne sur les sols d'anciennes palmeraies a permis d'avoir un sol plus ou moins compacts, semi-imperméables mais riche en éléments fertilisants, contrairement aux sols des formations dunaires qui sont très pauvres et squelettiques.

A propos des paramètres climatiques, l'indice d'aridité calculé suite à l'interpolation des données de sept (07) stations météorologiques durant la période allant de 2000-2015, montre des valeurs d' $I_{DM}$  inférieures à 5. Ces résultats expliquent bien la classification de la région dans le domaine de l'hyperaride (Mokhtari *et al*, 2013). L'aridité absolue est la principale caractéristique des ces régions désertiques. En effet, dans la grille De Martonne, l'aridité augmente quand la valeur de l'indice diminue. Ceci correspond à une pluviométrie irrégulière faible et des fortes températures surtout pendant la période estivale. Par ailleurs, une variation interannuelle a été notée chez les principaux paramètres climatiques. Cette variabilité temporelle est significative et pouvant représenter un facteur aggravant l'aridité (Lacaze *et al*, 2003). Cependant, les vents dans la région de Ghardaïa soufflent selon des directions Nord-Est et Est. Le risque éolien est, en effet, plus important dans ces zones

désertiques et leurs bordures. Ce risque se manifeste par: un changement dans la texture des sols et dans leur fertilité du fait des processus de déflation et de vannage sélectif (Gouizi, 2004). Il est à noter que l'érosion éolienne est la conséquence d'événements météorologiques qui interagissent avec la gestion des sols et les terres via ses effets sur la structure du sol, la couche arable et le couvert végétal (OMM, 2005).

Par ailleurs, la végétation caractéristique de la région d'étude ne représente que 0,35% de l'aire cartographiée. Son type, sa biomasse et sa diversité sont fortement influencés par les conditions climatiques. Les précipitations et les températures déterminent la distribution possible de la végétation terrestre et constituent donc des facteurs limitants de la genèse et de l'évolution des sols. Avec la raréfaction des pluviosités annuelles, le couvert végétal devient progressivement plus mince et plus clairsemé (Jauffret, 2007; Lal, 1990; Ishii, 2014).

Les facteurs socio-économiques et anthropiques font partie intégrante de l'équation *MEDALUS*. La variabilité assez importante, enregistrée entre les différents paramètres se traduit par une hétérogénéité liées aux qualités d'aménagement. Les problèmes que connaissent les régions arides sont essentiellement associés à l'accroissement et la dispersion des populations et aux mutations socio-économiques. Ceci a engendré une intensité d'utilisation des terres à vocation agricole, urbaine ou industrielle. En effet, certaines régions ont connu une révolution dans les activités industrielles qui sont à l'origine de nouvelles installations des zones industrielles et des mines (carrières). A ces facteurs s'ajoutent le surpâturage et la charge de cheptel par unité de surface. Néanmoins, les zones qui ont révélé des bonnes qualités socio-économiques sont celles ayant des travaux de restauration et de protection des sols, notamment l'installation des digues, mise en valeurs agricole et protection des aires à intérêts écologiques.

C'est ainsi que le problème d'ensablement s'est amplifié en raison des transformations socio-économiques et des mutations des systèmes de production que connaît la région. Cette dernière qui se localise au Nord du Sahara, près d'une formation dunaire à l'Ouest (Erg El-Anagueur), a été décrite dans le modèle développé par Salamani et al, (2012) comme zone de classe sensible. En revanche, l'indice de sensibilité à l'ensablement conçu selon l'approche *MEDALUS* nous amène à constater que 86,31% des sols sont considérés comme fragiles.

Par ailleurs, l'écologie du paysage, y compris des milieux sahariens, se caractérise par une hétérogénéité résultante de la variabilité spatio-temporelle, des contraintes environnementales, des processus écologiques et des perturbations anthropiques et

naturelles (Burel et Baudry, 1999). L'évaluation des phénomènes dynamiques parvenus dans ces systèmes écologiques peut se faire en utilisant une approche d'analyse spectrale à l'aide de la télédétection spatiale (Jauffret, 2001). Cette dernière permet, par l'acquisition d'images, d'offrir de l'information sur la surface de la terre via des images satellites de sensibilité de capteurs et de résolution diverses. Elle permet ainsi, en comparant des mêmes scènes prises dans différentes chroniques, de mettre en évidence des éventuels changements et de retracer les scénarios futurs.

Les résultats obtenus au terme de ce travail, en faisant employer un test de conformité des deux états d'occupation (2000 et 2015) (test de khi-deux), révèlent une différence fortement significative ( $p < 0.0001$ ) entre les classes d'occupation du sol durant les deux périodes d'étude (Annexee 02). En effet, une extension de l'ordre de 166,4%, des zones urbaines a été décrite durant la période allant de 2000 au 2015. Ceci est dédié à l'explosion démographique engendrant ainsi des augmentations des activités industrielles, agricoles et de mise en valeurs. D'autres classes connaissent des progressions plus ou moins variées. Bien que, l'analyse de la dynamique des formations dunaires et du sable a montré une diminution de 7,318%, certaines zones restent considérées comme des zones menacées dont les surfaces des dunes ont été considérablement augmentées. Ceci est le résultat de l'interaction entre plusieurs facteurs édapho-climatiques, parmi lesquels, l'exposition, la texture du sol, l'aridité et la direction des vents dominants sont les plus déterminants (Kasbadji-Merzouk et Messen, 2002; Thenot, 2007; Bensaid, 2006; Bouzekri, 2015).



# **Conclusion et perspectives**

### Conclusion et perspectives

Au cours de ce présent travail, nous avons essayé, en exploitant des outils SIG et des données de télédétection, de mettre en évidence la sensibilité des sols de la région de Ghardaïa à l'ensablement, tout en développant une approche de modélisation (*MEDALUS*) souvent utilisé pour les régions méditerranéennes.

Pour ce faire, une analyse multicritère a été conduite en faisant intégrer des données spatiales de nature satellitaire, topographique, pédologique, géomorphologique, géologique et attributaire.

L'analyse des données relatives à l'occupation du sol a montré que les classes des regs et dalles hamadiennes ainsi que des formations dunaires sont les plus dominantes. Sur lesquelles, les classes pédologiques de type Leptosols-Lithosols et Calcisols-Yermosols sont les plus répandues. Les sols à texture moyenne qui caractérisent les sols limono-sableux occupent 44,03% de la surface géographique totale. L'indicateur du sol a révélé une catégorie de qualité moyenne qui s'étale sur 49,28% de la scène cartographiée.

L'interpolation des données climatiques de la période allant de 2000-2015 montrent qu'il s'agit d'une zone hyperaride dont l'indice d'aridité varie entre 1,91 et 3,09 et que les vents dominants soufflent selon les directions Nord-Est et Est avec des vitesses oscillant entre 12,79 et 15,22 km/h reflétant un taux de 70,38% d'aire de qualité moyenne.

Le type de végétation clairsemé à très clairsemé à aspect nu indique les plus mauvais scores de qualité, traduisant ainsi son seuil de dégradation critique (99,65%).

L'indicateur de facteurs d'aménagement et socio-économiques présente, en revanche, une qualité moyenne.

La carte de sensibilité à l'ensablement intégrant ces quatre couches d'indicateurs a mis en évidence un niveau de sensibilité élevée des milieux (86,31% des zones fragiles et 9,30%) des zones critiques.

L'analyse de la dynamique spatio-temporelle à l'aide de la télédétection nous amène à constater l'ampleur due à l'extension des activités d'urbanisation et industrielles. Les

formations dunaires ont connu, en revanche, une diminution globale de 7,381%. Les zones humides qui étaient absentes en 2000, représentaient une aire de 25,07 km<sup>2</sup> en 2015.

Ces premiers résultats sont d'autant considérés comme indicateurs pouvant contribuer à la mise en place de stratégies de lutte contre l'ensablement à l'échelle régionale,

Face à cette situation, l'alternative consiste à la prise en charge d'un certain nombre d'actions d'une extrême urgence, notamment en procédant à :

- La préparation des plans d'intervention et d'aménagement pour lutter contre l'avancé du sable, en associant des acteurs, chercheurs, collectivités locales et les populations concernées;
- Un diagnostic de la vulnérabilité à l'ensablement à l'échelle locale via d'autre prototype de télédétection, en particulier le prototype SIELO, afin d'identifier les zones menacées par ce type de dégradation et les priorités d'intervention;
- L'adoption des autres modèles mathématiques plus adaptés en développant les indicateurs fortement liés au phénomène d'ensablement;
- La validation d'un prototype efficace manipulé par les systèmes d'information géographique à partir duquel la prise de décision liée à la protection des sols sera optimale.

En dépit des répercussions environnementales et socio-économiques, la région de Ghardaïa, reste un patrimoine naturel et culturel qui doit être préservé.

# **Bibliographie**

**Bibliographie**

A,N,R,H, 1994: Agence Nationale des Ressources Hydrauliques,, “Situation et besoin de développement en matière d’irrigation et de drainage en Algérie”.

A,N,R,H,, 2003 Notes relatives à l’étude de la nappe phréatique de la vallée du M’Zab, Rapport de l’A,N,R,H, Ouargla, 11p.

A,N,R,H,, 2005; Note relative aux ressources en eaux souterraines de la Wilaya de Ghardaïa, Rapport de l’Agence national ressource Hydrique, Ouargla, 19p.

A,N,R,H,, 2007 : Notes relatives aux ressources en eau souterraines de la wilaya d’Ouargla, Rapport de l’Agence national ressource Hydrique, Ouargla, 12p.

Abonneau J., 1983 - Préhistoire du M’Zab (Algérie-Wilaya de Laghouat), Thèse Doctorat de 3ème cycle en Art et Archéologie, Univ, Paris I, 268 p.

Aixia L., Changyao W., Jing W, and Xiaomei S., 2007,- Method for remote sensing monitoring of desertification based on MODIS and NOAA/AVHRR data, Trans, Chin, Soc, Agric, Eng., 23:145-150.

Arrar, A., 1989, Current Issues and Trends in Irrigation with Special Reference to Developing Countries, In: “Resource Conservation and Desertification Control in the Near East, Report of the International Training Course, DSE, FAO, GTZ, UNESCWA, Germany and Kingdom of Jordan.

Bastiaanssen W,G,M,, 1995, Regionalization of surface fluxes densities and moisture indicators in composite terrain, Ph,D, Thèse, Agricultural University Wageningen, 273p.

Belghith, A, 2003,- Les indicateurs radiométriques pour l’étude de la dynamique des écosystèmes arides (région de Zougrata, Sud-Est tunisien), Sécheresse, 14 :267-274.

Benabderrahmane M,C, and Chenchouni H., 2010,- Assessing environmental sensitivity areas to desertification in Eastern Algeria using Mediterranean desertification and land use “MEDALUS” model », Int, J, Sustain, Water Environ, Syst., 1 :5-10.

Bensaid A.,2006,- Sig et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naama (Algérie), Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble I, 318 p.

Bordin P., 2006. Méthode d'observation multi-niveaux pour le suivi de phénomènes géographiques avec un SIG. Thèse Doctorat, Université de Marne La-Vallée, 283p.

Bouarfa S.,1995. Problématique du drainage en périmètre irrigué. Prise en compte de l'évaporation dans la modélisation du drainage. Thèse Doctorat, Université de Starsbourg 1, 248p.

Bouzekri A., 2015, - Evaluation multicritère des situations critiques au risque de la désertification dans les Aurès (Algérie), Thèse de doctorat 3<sup>ème</sup> cycle en aménagement du territoire et gestion des risques majeurs, 204p.

Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural (BNEDER), 1980, Inventaire des terres et forêts de l'Algérie du Nord, Rapport final, BNEDER, Alger, 263 p.

C.S.F.D., 2011. The African Great Green Wall project What advice can scientists provide? Tropical issue, Agropolis International, 44p.

Centre des Techniques Spatiales (CTS),, 2010,- Finalisation de la carte nationale de sensibilité à la désertification par l'outil spatial, Spat, Data Infrastruct, Afr, Newsl,, 31 p.

Cornet, A., 2002, La désertification à la croisée de l'environnement et du développement : un problème qui nous concerne, 35 p.

Côte M., 1992,- Espoir et menace sur le Sahara: les formes récentes de mise en valeur agricole, Ghardaïa, 17 p.

D,P,S,B,, 2014,- Direction de Programmations et Suivi Budgétaires, Annuaire Statistique, Ghardaïa, Algérie, 134 p.

D,P,S,B,, 2017,- Direction de Programmations et Suivi Budgétaires, Annuaire Statistique, Ghardaïa, Algérie, 176 p.

Daddi Bouhoun M., 1997, Contribution à l'étude de l'évolution de la salinité des sols et des eaux d'une région saharienne : cas du M'Zab, Thèse Magister, El-Harrach, I,N,A, 180p.

Direction Générale des forêts (DGF), 2004, Rapport national de l'Algérie sur la mise en œuvre de la Convention de Lutte Contre la Désertification.

Djellouli Y., D, Nedjraoui, 1995, Évolution des parcours méditerranéens, In pastoralisme, troupeau, espaces et société, ed, Hatier, 440-454.

Djellouli, Y., 1990, Flores et climats en Algérie septentrionale : Déterminismes climatiques de la répartition des plantes, Thèse Doct, Sciences, Univ, Sciences et Technologies Houari Boumedienne, Alger, 210 p.

Djili B, 2004. Etude des sols alluviaux en zones arides, Cas de la Daya d'El-Amied (région de Guerrara), essai morphologique et analytique ; thèse de magistère, université Kasdi Merbah Ouargla.

DUBIEF J., 1963 : Le climat du Sahara, Ed: Inst, Rech, Saha., Alger, Mémoire h,s, Tome II, 298 p.

Ducos J., Ruffié J, et Larrouy G., 1962, Étude hémotypologique des populations de la région du M'Zab (département des Oasis), In: Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris, 11ème Série, pp : 354-371.

Etien N'Dah M., 2002, Indicateurs de l'état de l'environnement pour l'Afrique de l'Ouest.

F,A,O,, 2012,- *Titre* ??? Food and Agriculture Organization of the United Nations, Suisse, 182 p.

Fabre J., 1976, Introduction à la géologie du Sahara Algérien et des régions voisines, I- La couverture phanérozoïque, Ed, S,N,E,D., Alger, 421 p.

FAO-UNESCO,, 2003,- Digital Soil Map of the world and derived soil properties on CD-Rom, FAO, Rome, pages ???, Available from <http://www.fao.org/ag/agl/agll/dsmw,htm>.

Hadjiat K., 1997, État de dégradation des sols en Algérie, Rapport d'expertise, Plan National d'Action Environnementale PNAE, Banque Mondiale, Washington DC, 45 p.

Halitim A., 1988, Sols des régions arides, Office des Publications Universitaires OPU, Alger, 384 p.

Helldén U,A., 2008,- Coupled human-environment model for desertification simulation and impact studies, *Glob, Planet, Chang.*, 64 :158-168.

Ishii N., 2014,- Combattre la dégradation des sols dans les zones d'activité économique, Publications Professionals LLC, Global Environment Facility, 56 p.

Jauffret S., 2007,- Pourquoi la surveillance écologique à long terme dans les zones arides et semi-arides, *Sécheresse*, 18: 232-233.

Kairis O., Kosmas C., Karavitis C., Ritsema C., Salvati L., Acikalin S., Alcalá M., Alfama P., Atlhopheng J, and Barrera J., 2014,- Evaluation and Selection of Indicators for Land Degradation and Desertification Monitoring: Types of Degradation, Causes, and Implications for Management *Environ, Manag.*, 54: 971-982.

Kasbadji M. et Messen N., 2002, - Contribution à l'étude du vent en rapport avec l'érosion éolienne dans les zones arides, *Rev. Energ. Ren. : Zone Arides (2002)* 9 – 15.

Kestens Y., Brand A., Fournier M., Goudreau S., Kosatsky T., Maloley M, and Smargiassi A., 2011,- Modelling the variation of land surface temperature as determinant of risk of heat-related health events, *International Journal of Health Geographics*, 10:7- 9.

Khadraoui A., 2010,- Sols et hydraulique agricole dans les oasis algériennes: Caractérisation - Contraintes et propositions d'aménagement, Office des publications Universitaires, Algérie, 311 p.

Khiry M,A., 2007,- Spectral Mixture Analysis for Monitoring and Mapping Desertification Processes in Semi-arid Areas in North Kordofan State, Sudan, Ph.D., Thesis, Technische, Universität Dresden, Dresden, Germany, 126 p.

Kosmas K., Kirkby M, and Geeson N., 1999,- Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification, European Commission, Community Research, 94 p.

Kundu A, and Dutta D., 2010,- Monitoring desertification risk through climate change and human interference using remote sensing and GIS techniques, *Int, J, Geomat, Geosci.*, 2: 21-33.

Lal R., 1990,- Soil erosion and the global carbon budget, *Environ, Int.*, 29: 437-450.



- Lamchin M., Lee J,Y., Lee W,K., Lee E,J., Kim M., Lim C,H., Choi H,A, and Kim, S,R., 2016,- Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia, *Adv, Space Res.*, 57: 64-77.
- Lamsanni A., 2000, Suivi de la désertification au Maroc à partir d'images AVHRR de NOAA, *Téledétection en Francophonie : analyse critique et perspectives*, Ed, AUF, 171-176.
- Le Houerou H, N., 1990,- Définition et limites bioclimatiques du Sahara, *Sécheresse*, 1: 246-259.
- Le Houérou, H.N., 1992. Vegetation and Land Use in the Mediterranean Basin by the Year 2050. A Prospecion Study. In: Jeftic, L., Milliman, J.D. and Sestini, G., Eds., *Climatic Change and the Mediterranean*, Edward Arnold, London, 183-201.
- Lebatt O, et Mahmat Sakher A., 1997, Contribution à l'étude d'un système agricole oasien (cas de la Chebka du M'Zab), *Mémoire d'ingénieur, I,N,F,S,A,S.*, Ouargla, 70p.
- Liang S., C, Shuey , A, Russ, H, Fang, M, Chen, C, Walthall, C, Daughtry, 2002, Narrowband to Broadband Conversions of Land Surface Albedo: II, Validation, *Remote Sensing of Environment*, 84, 1, 25-41.
- Marius C., 1995. Effets de la sécheresse sur l'évolution des mangroves du Sénégal et de la Gambie. *Sécheresse (Paris)*, vol.6, no 1, pp. 123-125.
- Mbow C., Mertz O., Diouf A., Rasmussen K, and Reenberg A., 2008,- The history of environmental change and adaptation in eastern Saloum–Senegal—Driving forces and perceptions », *Glob, Planet, Chang.*, 64: 210-221.
- Mellak D., 2009, Etude de la vulnérabilité de l'aquifère de la vallée du M'Zab, *Mémoire d'ingénieur, E,N,S,P.*, El Harrach, 89p.
- Middleton N, and Thomas D., 1997,- *World Atlas of desertification*, United Nations Environment Programme, 182 p.
- Mohamed E,S., 2013,- Spatial assessment of desertification in north Sinai using modified MEDLAUS model, *Arab, J, Geosci.*, 6: 647-659.

Nord de l'Afrique : diversité biologique, développement durable et désertification, Série B n°10, CIHEAM, Montpellier, France, 215 p.

NOURI M., BOUZIDI M., REZGUI W., SOLTANI F and Néjib REJEB M, 2020 - Desertification risks: Sensitivity and Limits of the MEDALUS Method in Semi-arid Areas (Center of Tunisia), Nature et Technology Journal, 12 (1) (2020) : 30-37.

O,N,M,, 2016,- Bulletin d' Office National de la Météorologique, Alger, Algérie, 54 p.

O,R,G,M,, 1999 : Livre et des substances utiles non métallique de l'Algérie; wilaya de Ghardaïa, Rapport de l'Offi, Rég, Géol, Min,, Boumerdès, 34p.

Ousseddik A., IfteneT, et Zegrar A., 2003,- Réalisation par télédétection de la carte d'Algérie de sensibilité à la désertification, Sécheresse, 14: 195-201.

Ozenda P., 1991. Flore et végétation du Sahara. C NRS, 3rd, Paris, 662.

Rognon P., 1996. Sécheresse et aridité : leur impact sur la désertification au Maghreb. Sécheresse (Paris), vol. 7, no 4, pp. 287-297.

Rouse J,W,, Haas R,H,, Jr,, Schell J,A,, and Deering D,W,, 1974,- Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Third ERTS-1 Symposium Washington, DC: NASA : 309-317.

Salamani M., Kadi Hani H., Hirche A et Nedjraoui D., 2012,- Évaluation de la sensibilité à la désertification en Algérie, Revue d'Ecologie, 67 : 71 - 84.

Sepehr A., Hassanli A,M,, Ekhtesasi M,R, and Jamali J,B,, 2007,- Quantitative Assessment of Desertification in South of Iran Using Medalus Method Environ, Monit, Assess,, 134: 243-254.

Sghaier M., Bennour L., Loireau M., Leibovici D., Ben Abed M,A,, Fétoui M, et Jaouad M., 2005,- Système d'Information d'Environnement à l'échelle Locale (SIEL) : Cas de l'observatoire de Menzel Habib et installation de MD web, IRA ROSELT/OSS, Tunisie, 55 p.

Shao Y., 2008,- Physics and Modelling of Wind Erosion: Atmospheric and Oceanographic sciences, Library of Congress Contro, 459 p.

Sun D., Dawson R., Li, H, and Li B., 2005,- Modeling desertification change in Minqin County, China, Environ, Monit, Assess,, 108: 169-188.

Thénot A., 2007, - Modèles de données pour l'appréhension et la gestion des risque à Nouakchott (Mauritanie), Thèse Doctorat en Géographie Option : Géomatique, Univ, Paris I, 424p.

Toutain G., 1979. Eléments d'agronomie saharienne, de la recherche au développement. INRA-Cellule des zones arides-GRET, Paris, 290p.

Verstraete M,M., Brink A,B., Scholes R,J., Beniston M, and Stafford Smith M., 2008,- Climate change and desertification: Where do we stand, where should we go? », Glob, Planet, Chang., 64: 105-110.

Yagoubi M., et Temar T., Proche-Orient : Intégration régionale et partenariat Euro-Méditerranéen, Colloque international sur les effets du partenariat sur l'économie algérienne et sur les PME, Sétif, 13-14 novembre 2006.

Zaharia L., 2010. Utilisation de la Télédétection et des SIG dans la régionalisation hydrologiques, Réseau Télédétection de l'Agence Universitaire de la Francophonie, 10p.

### **Références Web:**

<http://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/en/c/1028012/>

<http://www.fao.org/3/x0596e/x0596e00.htm>

<https://www.ncdc.noaa.gov/cdr/terrestrial/normalized-difference-vegetation-index>

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

# **Annexes**

## Annexes 1

Tableau 1: Paramètres d'aménagement utilisés pour évaluer l'indice d'aménagement (D.P.S.B, 2017).

Longitude	Latitude	Commune	Mise en valeur	Plan d'occupation	Population	Accroissement	Cheptel	Intensité	Mines	Digue	Aires
3,714077	32,60373	Ghardaïa	1107	18	123569	2,19	42956	135	1	302250	1
3,121592	31,168915	El-Ménéa	4954	10	44887	2,86	65933	4	5	0	2
3,264359	32,682252	Daya	1161	5	14027	2,72	40844	2	0	83625	1
3,764046	32,882127	Berriane	1168	6	35425	2,27	27163	41	3	15600	1,5
3,35002	32,33961	Metlili	2081	7	48701	2,34	189038	7	10	162000	1,7
4,534991	32,739359	Guerrara	3178	9	70237	2,39	62004	48	5	7300	1,5
3,928229	32,532346	El-Atteuf	850	8	18165	2,28	6827	5	1	32900	1,5
4,313702	32,439547	Zelfana	548	4	11471	2,98	22214	1	2	0	1,5
3,300051	32,182565	Sebseb	4090	1	3452	2,24	14157	0	4	7900	1
3,514203	32,475239	Bounoura	808	2	40712	2,45	9097	73	1	51700	1
3,499926	31,690017	Hassi El-F'Hel	3587	1	4552	4,94	9929	0	6	8300	1
2,82178	29,99822	Hassi El-Gara	4964	2	20398	2,45	31746	0	0	0	1
3,514203	31,93986	Mansoura	1827	2	3404	4,34	6992	0	0	0	1

**Tableau 2: Données climatiques utilisées pour évaluer l'indice de climat entre 1984 et 2017 (ONM, 2017).**

<b>Station</b>	<b>Référence</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude</b>	<b>T</b>	<b>T Max</b>	<b>T min</b>	<b>PP</b>	<b>V</b>	<b>VM</b>	<b>IN</b>
<b>Ghardaia</b>	605660	32,40	3,81	450,00	22,66	28,84460	16,89	77,64700	13,45	34,05	2,38
<b>EL-Goléa</b>	605900	30,56	2,86	397,00	22,99	30,39853	14,81	57,438235	12,45	28,84	1,74
<b>El-Bayadh</b>	605500	33,66	1,00	1347,00	15,76	21,51887	9,87	295,67132	10,23	21,94	11,48
<b>Hassi R'mel</b>	605630	32,93	3,28	764,00	21,12	26,47500	13,18	105,68600	20,18	33,14	3,40
<b>Ouargla</b>	605800	31,93	5,40	141,00	23,16	30,13137	15,97	147,21000	13,30	26,81	4,44
<b>Timimoune</b>	606070	29,25	0,28	312,00	24,97	32,36373	17,05	22,168750	16,19	30,21	0,63
<b>In-Salah Nord</b>	606305	27,25	2,51	269,00	27,12	34,43315	19,61	1,229596	19,35	34,59	0,03

**Tableau 3: Paramètres de vent utilisés pour évaluer l'indice de climat entre 1984 et 2017 (ONM, 2017).**

Station	Longitude	Latitude	Altitude	Direction	Angle	Vitesse	Fréquence
Ghardaïa	32,4	3,81	450	ENE	22,5	5	386
Ouargala	31,93	5,4	141	NE	45	5	435
El Goléa	30,56	2,86	397	ENE	22,5	5	517
EL Bayadah	33,66	1	1347	SSE	292,5	5	519
Hassi Rmel	32,93	3,28	764	ENE	22,5	5	289
Timimoune	29,25	0,28	312	NE	45	12	603
In Salah	27,2	2,48	293	NE	45	12	986

**Tableau 4: Données pédologiques utilisées pour évaluer l'indice du sol (HWSD.2012).**

Code	Unité	Valeur en Arc gis	R	G	B	Dominante
340	CL - Calcisols	3	99	93	68	Yermosols y – Calcisols CL
1337	FL - Fluvisols	5	24	99	87	Eutric Fluvisols JC – fluvisols FL
1315	LP – Letosols	4	74	74	74	Lithosols I - Leptosols
1821	RK – Rock Outcrop	7	54	53	53	Yermosols Y (Affleurement Rocheux)
1644	RG – Regosols	6	84	91	80	Calcaric regosols RC (Régosols)
36	DS – Sund Dunes	0	100	92	54	(Dunes de sable)
251	ST – Salt Flats	2	93	91	91	(Salière)
193	RK – Rock Outcrop	1	54	53	53	Rock Outcrop (Affleurement Rocheux)

**Tableau 5: Composition RGB des ères géologiques**

Classes	R	G	B
Crétacé	112	168	0
Holocène	255	245	280
Crétacé inférieur	115	178	115
Pléistocène	255	255	115
Tertiaire	255	255	0
Tertiaire et Crétacé	181	255	61

**Tableau 6: L'avifaune recensée dans les principales zones humides**

Zones humides	Longitude	l'altitude	Altitude (moy)	Nb <sup>0</sup> de famille	Nb <sup>0</sup> d'espèces	Effectif totale
Sebkhat El Malleh El - Goléa	2.927111	30.475624	370 m	12	37	7179
Kef Dohane (SEP)	3.903367	32.410691	406 m	8	19	3158
GartoUfa (SEP)	4.552115	32.753771	321 m	5	9	44
Lalla chetta Oued El Bir (SEP)	3.801407	32.817857	552 m	5	5	91
El Mahfoura	2.354180	32.526974	639 m	6	9	230

<b>Dayet Om sould</b>	2.399654	32.287266	547 m	5	11	314
<b>Fayjet El Gara</b>	3.008783	30.288960	335 m	4	5	9
<b>Fayjet El Turki</b>	3.044354	30.384846	332 m	3	3	18
<b>Oued Metlili (Rejet)</b>	3.725681	32.251782	468 m	7	12	567
<b>El Gouifla (Rejet)</b>	4.229728	32.365407	339 m	6	9	180

Tableau 7: Relevés GPS et coordonnées de prospection

Point	Longitude	Latitude
1	3,54556	32,18138
2	3,88065	33,03222
3	3,95911	32,86412
4	3,88082	33,02979
5	3,95856	32,83536
6	2,39518	32,29604
7	2,40183	32,28312
8	2,39594	32,29589
9	2,92668333	30,50315
10	2,92386667	30,4737833
11	2,93073333	30,4487667
12	3,74966667	32,4491
13	3,74971667	32,4490333
14	3,5079	31,895
15	3,499	32,2038
16	3,614166	31,8963611
17	3,51497	31,904
18	3,4955	32,20202
19	3,527872	31,914889
20	3,73087	31,53123
21	3,55952778	32,1885833
22	3,96031944	32,2536472
23	3,57697222	31,9369806
24	3,87490556	32,5869806
25	3,671675	31,5703139
26	3,606883	32,541156
27	3,559836	32,571701
28	3,559783	32,572953
29	3,551578	32,567711
30	4,499697	32,794256
31	4,210716	32,395189
32	4,229786	32,420693
33	4,278226	32,448252



---

34	3,779783	32,386657
35	3,800302	32,377572
36	3,810656	32,441442
37	3,851491	32,415154
38	3,833076	32,358489
39	3,65141	32,26184
40	3,626229	32,272888
41	3,58784	32,29698
42	3,540685	32,329671
43	3,410127	32,28186
44	3,25099	32,284462
45	3,027628	32,379883
46	3,012564	32,147813
47	2,360731	32,53595
48	2,452495	32,230105
49	2,66421	30,01576
50	2,953483	32,056936
51	3,062791	31,893842
52	3,817147	32,27172
53	3,804096	32,116478
54	3,77704	32,009804
55	3,920324	31,97136
56	3,771534	31,948089
57	3,58454	31,955317
58	3,670495	31,60278
59	3,707449	31,620752
60	3,584899	31,454996
61	3,528098	31,138337
62	3,42958	30,954052
63	2,667849	29,960556
64	3,865053	31,586673
65	2,216911	29,089149
66	2,260916	29,02675
67	2,750308	30,736984
68	2,942847	31,559283
69	2,637114	30,542918
70	2,54147	30,132673
71	4,390589	32,221505

**Tableau 8 : Composition fausses couleurs pour le capteur OLI en fonction de domaine d'utilisation**

<b>Natural Color</b>	<b>4 3 2</b>
<b>False Color (urban)</b>	<b>7 6 4</b>
<b>Color Infrared (vegetation)</b>	<b>5 4 3</b>
<b>Agriculture</b>	<b>6 5 2</b>
<b>Atmospheric Penetration</b>	<b>7 6 5</b>
<b>Healthy Vegetation</b>	<b>5 6 2</b>
<b>Land/Water</b>	<b>5 6 4</b>
<b>Natural with Atmospheric Removal</b>	<b>7 5 3</b>
<b>Shortwave Infrared</b>	<b>7 5 4</b>
<b>Vegetation Analysis</b>	<b>6 5 4</b>

**Annexe 2**

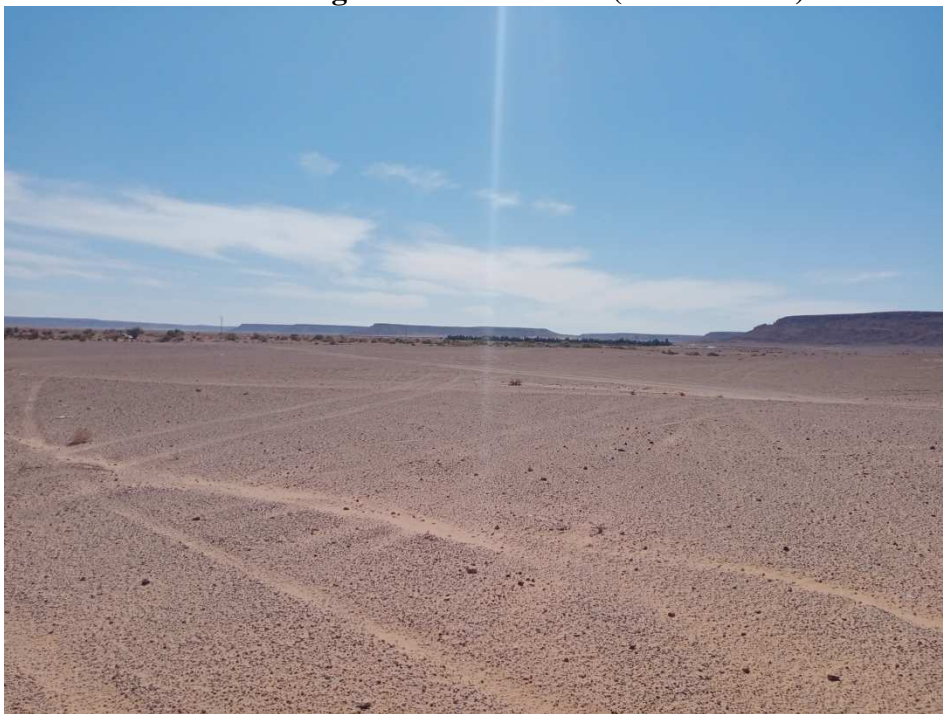
**Tableau 9 : Résultats de conformité des distributions des classes d'occupation (Test khi-deux)**

Observed vs. Expected Frequencies (Détection de changement) Chi-Square = 9560,204 df = 6 p = 0,000000 NOTE: Unequal sums of obs. & exp. frequencies				
Case	observed Surface d'occupation en 2015 (km2)	expected Surface d'occupation en 2000 (km2)	O - E	(O-E)**2 /E
C: 1	4216,01	1582,57	2633,44	4382,117
C: 2	19994,70	21573,39	-1578,69	115,525
C: 3	11642,66	7158,67	4483,99	2808,646
C: 4	20715,83	18342,73	2373,10	307,021
C: 5	17120,15	18367,96	-1247,81	84,769
C: 6	10698,49	16189,03	-5490,54	1862,127
C: 7	25,07	0,00	25,07	0,000
Sum	84412,91	83214,35	1198,56	9560,204

Annexe 03



**Photo 01 : Région d'El Mahfoura (zone humide)**



**Photo 02 : Région de Chaab Sbaa (Reg)**



**Photo 03 : Zone de source naturelle (Goufafa, Metlili)**



**Photo 04 : Formation caillouteuse en Chebka**



**Photo 05 : Parcours saharien (Oued Sebseb)**



**Photo 06 : Pistachier de l'Atlas (Oued N'sa, Berriane)**



**Photo 07 : Formation dunaire et Erg (Région D'El-Anagueur)**