

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE FRERES MENTOURI - CONSTANTINE 1

FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE, GEOGRAPHIE ET  
AMENAGEMENT DE TERRITOIRE



DEPARTEMENT DES SCIENCES GEOGRAPHIQUES ET DE LA TOPOGRAPHIE

N° d'ordre : 04/D3C/2024

N° de série : 01/GT/2024

## Thèse

En vue de l'obtention de doctorat 3<sup>ème</sup> cycle (L.M.D) Filière :

Géographie et Aménagement du Territoire

Spécialité : Géomatique pour la maîtrise des territoires

## Thème

**Suivi et évaluation de la dégradation des terres et de la désertification en Algérie : cartographier les modèles spatiaux, identifier les facteurs déterminants et prédire les tendances futures**

Présentée par :

**ALLIOUCHE Ahmed**

Devant le jury :

<i>Nom et Prénom de l'enseignant</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
LOUAMRI Abdelaziz	M.C.A	Président	Université Constantine 1
KOUBA Yacine	M.C.A	Rapporteur	Université Oum El-Bouaghi
MERDAS Saïfi	D.R	Examineur	CRSTRA Biskra
MEHARZI Mohamed Kamel Eddine	M.C.A	Examineur	Université Constantine 1
BITAT Belkacem	M.C.A	Examineur	Université Constantine 1
AMGHAR Fateh Karim	Professeur	Examineur	Université Boumerdès

Soutenu le : 29/02/2024

Année Universitaire : 2023/2024

---

# Remerciements

Nous remercions avant tout **DIEU**, le tout puissant, pour nous avoir guidé durant toutes nos études et de nous avoir donné la volonté et le courage pour terminer ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers le **Dr. KOUBA Yacine**, mon encadrant de thèse, dont la guidance experte, les conseils avisés, et la patience infinie ont été les piliers de ma recherche. Votre engagement inébranlable envers l'excellence académique a été une source d'inspiration constante.

Je tiens également à remercier chaleureusement les **membres du jury** pour leur temps, leur expertise et leur précieuse contribution à l'évaluation de ma thèse. Vos commentaires constructifs m'ont permis de perfectionner mon travail.

Un grand merci à mes **enseignants** à la faculté des sciences de la terre, université de Constantine 1, qui ont partagé leur connaissance pour la recherche.

Mes remerciements vont également à l'ensemble du **personnel** et des **chercheurs** du centre de recherche en aménagement du territoire (CRAT), dont les échanges fructueux et les ressources m'ont été d'une aide inestimable dans ma recherche.

Je n'oublie pas les **membres du CFD**, avec qui j'ai partagé des idées novatrices et des défis passionnants.

Enfin, je remercie vivement **toutes les personnes** qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

« Merci à Tous, pour votre apport, votre support et vos encouragements »

*Alliouche Ahmed*

---

---

# *Dédicaces*

À mes chers **parents**, dont le soutien inébranlable, l'amour indéfectible et les sacrifices inestimables ont rendu ce parcours académique possible.

À ma **femme**, qui a été le pilier de force dans ma vie, pour sa compréhension et son soutien infatigable. Tes encouragements ont été la clé de ma persévérance.

À mes petits anges **Mohamed Firas, Tesnime, et Ranime**, qui ont été ma lumière dans les moments sombres de la recherche. Votre joie de vivre a constamment illuminé mes journées, même quand les manuscrits semblaient interminables.

À mes chères **sœurs**, mes chers **frères**, neveux et nièces.

À toute ma **famille** sans exception.

À mes **professeurs**, dont la sagesse, les conseils éclairés et l'expertise ont façonné mon parcours académique.

À mes **collègues** de recherche, dont la collaboration, les idées stimulantes et l'engagement ont enrichi mon travail.

À mes **amis**, qui ont partagé les hauts et les bas de cette aventure avec moi, pour votre soutien inconditionnel, vos encouragements et vos rires partagés.

À toute personne qui m'a aidé.

À toutes ces personnes ... je dédie ce travail ... Merci du fond du cœur.

*Ahmed Alliouche*

---

---

## Résumé

La dégradation des terres et la désertification représentent des défis environnementaux et socioéconomiques majeurs à l'échelle mondiale, nécessitant une surveillance continue et une détection précoce. L'Algérie, comme tous les pays méditerranéens, notamment ceux d'Afrique du Nord, est également menacée par la désertification, surtout dans les zones semi-arides et arides.

Au cours de cette étude, nous avons utilisé l'Indice de Sensibilité à la Désertification (ISD) pour localiser et cartographier les zones d'Algérie qui sont à risque de dégradation et de désertification, étudier les changements significatifs dans la sensibilité des terres à la dégradation et à la désertification entre 2000 et 2020 et identifier les principaux moteurs de ces changements, ainsi que la prédiction des tendances futures de la sensibilité des terres à la désertification.

Contrairement à l'approche standard de la désertification et de l'utilisation des terres en Méditerranée (MEDALUS), qui utilise une pondération égale des paramètres et des indices de qualité pour construire les zones de sensibilité environnementale (ESA) ; l'ISD utilise des pondérations générées statistiquement par l'analyse factorielle.

Nos résultats ont montré qu'environ 106 000 km<sup>2</sup> (38 %) de la zone non désertique étaient extrêmement sensibles à la désertification en 2000, 83 200 km<sup>2</sup> (29 %) en 2010, 98 200 km<sup>2</sup> (35 %) en 2020, 90 921 km<sup>2</sup> (32 %) pour la période de (2041-2060) et 93 211 km<sup>2</sup> (33 %) durant la période de (2081-2100). Les zones critiques étaient principalement situées dans les Hauts Plateaux (parcours steppiques). Les résultats révèlent également que les indices de qualité du climat et de végétation sont les principaux moteurs de l'ISD, qui a présenté une tendance non linéaire tout au long de la période étudiée. L'analyse des changements de la sensibilité des terres à la désertification a prouvé que la plupart des changements étaient négatifs et se produisaient dans les Hauts Plateaux et les steppes, ainsi que dans certaines zones des chaînes du Tell Atlas et de la frange littorale. Néanmoins, certains changements positifs ont été produits en raison suite à la création de nouvelles forêts, ainsi qu'à la remise en état de vastes étendues de terres, surtout au Sud.

Les résultats obtenus visent à fournir un aperçu complet de risque de désertification en Algérie ainsi que de ses principaux facteurs déterminants. Ils peuvent également constituer une base scientifique essentielle pour orienter le développement et la mise en œuvre des mesures nécessaires visant à lutter ce risque environnemental destructeur.

**Mots clés :** Dégradation des terres, désertification, MEDALUS-ESA, analyse factorielle, Algérie.

---

## ملخص

يمثل تدهور الأراضي والتصحر تحديات بيئية، اجتماعية واقتصادية عالمية كبيرة تتطلب المراقبة المستمرة والكشف المبكر، والجزائر مثلها مثل جميع بلدان البحر الأبيض المتوسط، وخاصة تلك الموجودة في شمال أفريقيا، مهددة كذلك بالتصحر وتدهور أراضيها خاصة في المناطق الشبه جافة والقاحلة.

في هذه الدراسة، استخدمنا مؤشر حساسية التصحر (DSI) لتحديد مناطق الجزائر المعرضة لخطر التدهور والتصحر، دراسة التغيرات الممكنة في حساسية الأراضي للتصحر بين عامي 2000 و2020 مع تحديد الاسباب والمؤشرات الرئيسية لهذه التغيرات، وكذلك التنبؤ بالاتجاهات المستقبلية لقابلية الأراضي للتصحر.

على عكس النهج القياسي للتصحر واستخدام الأراضي في البحر الأبيض المتوسط (MEDALUS)، والذي يستخدم ترجيحاً متساوياً (معاملات متساوية) لمعايير ومؤشرات الجودة لتحديد مناطق الحساسية البيئية (ESA)؛ يعتمد مؤشر الحساسية للتصحر (DSI) الذي تم استخدامه على الأوزان او المعاملات الناتجة إحصائياً عن طريق تحليل العوامل.

أظهرت نتائج الدراسة أن حوالي 106000 كلم<sup>2</sup> (38%) من المناطق الغير صحراوية كانت شديدة الحساسية للتصحر عام 2000، 83200 كلم<sup>2</sup> (29%) عام 2010، 98200 كلم<sup>2</sup> (35%) عام 2020، 90921 كلم<sup>2</sup> (32%) خلال الفترة (2041-2060) و93211 كلم<sup>2</sup> (33%) للفترة (2081-2100). المناطق ذات الحساسية الشديدة للتصحر تقع بشكل رئيسي في الهضاب العليا (المراعي السهبية). كما كشفت النتائج ايضا أن مؤشر جودة المناخ ومؤشر جودة الغطاء النباتي كانتا المحرك الرئيسي لمؤشر حساسية الارض للتصحر، والذي أظهر هو الآخر اتجاهاً غير خطي خلال فترة هذه الدراسة. وأظهر تحليل نتائج التغيرات في حساسية الأرض للتصحر بين عامي 2000 و2020، أن معظم التغيرات الحاصلة كانت سلبية وحدثت في الهضاب العليا والسهوب، وكذلك في بعض مناطق سلاسل التل الأطلسي والشريط الساحلي. ومع ذلك، توجد بعض التغيرات الإيجابية نتيجة التشجير وإنشاء غابات جديدة، وكذا عمليات استصلاح مساحات واسعة من الأراضي خاصة في الجنوب.

تسعى النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة إلى تقديم نظرة شاملة على مخاطر التصحر في الجزائر، اسبابها ودوافعها الرئيسية. كما أنها تشكل أيضاً أساساً علمياً لتطوير وتنفيذ التدابير اللازمة لوقف ومكافحة هذه الظاهرة البيئية المدمرة.

**الكلمات المفتاحية:** تدهور الأراضي، التصحر، MEDALUS-ESA، تحليل العوامل، الجزائر.

---

## **Abstract**

Land degradation and desertification represent major environmental and socioeconomic challenges on a global scale, requiring continuous monitoring and early detection. Algeria, like all Mediterranean countries, especially those of North Africa, is also threatened by desertification, particularly in semi-arid and arid areas.

In this study, we used the Desertification Sensitivity Index (DSI) to locate regions of Algeria that are at risk of degradation and desertification, to examine significant changes in land susceptibility to degradation and desertification between 2000 and 2020 and identify the main drivers of these changes, as well as the prediction of future trends in land susceptibility to desertification.

Unlike the standard Mediterranean Desertification And Land Use (MEDALUS) approach, which uses equal weighting of parameters and quality indicators to construct the Environmental Sensitivity Areas (ESA), the DSI applies statistically generated weights via factor analysis.

Our results showed that approximately 106,000 km<sup>2</sup> of the non-desert area was extremely susceptible to desertification in 2000, 83,200 km<sup>2</sup> (29%) in 2010, 98,200 km<sup>2</sup> (35%) in 2020, 90,921 km<sup>2</sup> (32%) for the period of (2041-2060) and 93,211 km<sup>2</sup> (33%) during the period of (2081-2100). The critical zones were mainly located in the High Plateaus (steppe rangelands). Our analysis revealed that climate and vegetation quality indicators were the main drivers of the DSI, which showed a nonlinear trend during the study period. The analysis of changes in land sensitivity to desertification revealed that most of the changes were negative and occurred in the High Plateaus and steppes, as well as in some areas of the Tell Atlas Mountain ranges and the littoral fringe. However, some positive changes have been produced due to the creation of new forests, as well as the reclamation of large areas of land, especially in the South.

The results obtained aim to provide a comprehensive overview of desertification risk in Algeria as well as its main determining factors. They can also provide an essential scientific basis to guide the development and implementation of necessary measures to combat this destructive environmental risk.

**Keywords:** Land degradation, desertification, MEDALUS-ESA, factor analysis, Algeria.

---

---

## Liste des abréviations

**ACP** : Analyse en Composantes Principales.

**ANAT** : Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire.

**CMIP** : Coupled Model Intercomparison Project.

**CNTS** : Centre National des Techniques Spatiales.

**CNUED** : La Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement.

**CNULCD** : La Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification.

**CQI** : Climate Quality Index.

**CRAT** : Centre de Recherches en aménagement du Territoire.

**DGF** : Direction Générale des Forêts.

**DSI** : Desertification Sensitivity Index.

**DTDS** : Dégradation des terres et désertification.

**ESA** : Environmentally Sensitive Areas.

**ESRI** : Environmental Systems Research Institute.

**FA** : Factor Analysis.

**FAHP** : Fuzzy Analytic Hierarchy Process.

**FAO** : Food and Agriculture Organisation.

**FLDDPS** : Fonds de Lutte Contre la Désertification et le Développement du Pastoralisme et de la Steppe.

**GCMs** : Global climate models.

**GIEC** : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat.

**HCDS** : Haut-Commissariat au Développement de la Steppe

**IA** : Intelligence Artificielle.

**ICC** : Initiative sur le Changement Climatique.

**INSID** : Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage.

**IPBES** : Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.

**IPCC** : Intergovernmental Panel on Climate Change.

**KMO** : Kaiser-Meyer-Olkin.

**LCDBV** : Comité scientifique et technique de lutte contre la désertification et la restauration du barrage vert.

**LST** : Land Surface Temperature.

**MADR** : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

**MADRP** : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural et de la Pêche.

---

---

**MATE** : Ministère de l'Aménagement de Territoire et de l'Environnement.

**MEA** : Millenium Ecosystem Assessment.

**MEDALUS** : Mediterranean Desertification and Land Use.

**MIROC6** : Model for Interdisciplinary Research On Climate version 6.

**MODIS** : Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer.

**MQI** : Management Quality Index.

**NDVI** : Normalized Difference Vegetation Index.

**ONS** : Office National des Statistiques.

**PANLCD** : Plan d'Action National de Lutte Contre la Désertification.

**PMRC** : Programme Mondial de Recherche sur le Climat.

**PNUE** : Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

**QUEST** : Quick, Unbiased, Efficient Statistical Tree.

**RCP** : Representative Concentration Pathway.

**SIG** : Système d'Information Géographique.

**SNAT** : Schéma National d'Aménagement du Territoire.

**SPSS** : Statistical package for the Social Science.

**SQI** : Soil Quality Index.

**TQI** : Topogeology Quality Index.

**UNCCD** : United Nations Convention to Combat Desertification.

**UNCCD** : United Nations Convention to Combat Desertification.

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

**USGS** : United States Geological Survey.

**VAE** : Variational Auto-Encoder.

**VQI** : Vegetation Quality Index.

**WCRP** : World Climate Research Programme.

**WGS** : World Geodetic System.

---

---

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01</b> : Principaux programmes de lutte contre la désertification mis en œuvre dans les steppes algériennes .....	<b>26</b>
<b>Tableau 02</b> : Trois ensembles géoclimatiques d'Algérie .....	<b>48</b>
<b>Tableau 03</b> : Evolution de la population en Algérie .....	<b>49</b>
<b>Tableau 04</b> : Répartition de la population en Algérie par âge et par sexe .....	<b>50</b>
<b>Tableau 05</b> : Nombre des cheptels dans les Hauts Plateaux et les Steppes d'Algérie .....	<b>52</b>
<b>Tableau 06</b> : Classes et scores de l'indice de sensibilité à la désertification (DSI).....	<b>55</b>
<b>Tableau 07</b> : Caractéristiques des paramètres et leurs sources de données .....	<b>56</b>
<b>Tableau 08</b> : Classes et scores déterminés pour les paramètres utilisés dans l'obtention de l'indice de qualité topogéologique (TQI) .....	<b>57</b>
<b>Tableau 09</b> : Classes et scores des paramètres utilisés dans le calcul de l'indice de qualité du sol (SQI).....	<b>59</b>
<b>Tableau 10</b> : Classes et scores des paramètres utilisés dans le calcul de l'indice de qualité du climat (CQI) .....	<b>61</b>
<b>Tableau 11</b> : Classes et scores des paramètres utilisés dans le calcul des indices de qualité de la végétation (VQI) et du management (MQI).....	<b>64</b>
<b>Tableau 12</b> : Propriétés des paramètres de prédiction et leurs sources de données .....	<b>67</b>
<b>Tableau 13</b> : Performances des modèles d'analyse factorielle (AF) utilisés pour calculer les poids des paramètres et des indices .....	<b>73</b>
<b>Tableau 14</b> : Communalités et poids des paramètres utilisés pour calculer les cinq indices de qualité, issus de l'analyse factorielle (TQI, SQI, CQI, VQI, et MQI) .....	<b>74</b>
<b>Tableau 15</b> : Communalités et poids des cinq indices de qualité utilisés pour le calcul de l'indice de sensibilité à la désertification (DSI), issus de l'analyse factorielle (TQI, SQI, CQI, VQI, et MQI) .....	<b>76</b>
<b>Tableau 16</b> : Superficie des classes de qualité pour les indices (TQI) et (SQI).....	<b>77</b>
<b>Tableau 17</b> : Superficie des classes de qualité pour l'indice (CQI) .....	<b>78</b>
<b>Tableau 18</b> : Superficie des classes de qualité pour l'indice (VQI).....	<b>79</b>
<b>Tableau 19</b> : Superficie des classes de qualité pour l'indice (MQI) .....	<b>80</b>
<b>Tableau 20</b> : Superficie des classes de l'indice (DSI).....	<b>81</b>

---

---

**Tableau 21 :** Matrice de corrélation, exprimée par les coefficients de Pearson entre l'indice (DSI) et les cinq indices de qualité pour les années 2000, 2010 et 2020 ..... **83**

**Tableau 22 :** Communalités et poids issus de l'analyse factorielle, des paramètres utilisés pour calculer les indices de qualité (CQI) et (MQI) pour les périodes (2041-2060) et (2081-2100)... **89**

**Tableau 23 :** Communalités et poids issus de l'analyse factorielle, des indices de qualité utilisés pour le calcul de l'indice (DSI) pour (2041-2060) et (2081-2100)..... **91**

**Tableau 24 :** Superficie des classes de l'indice de sensibilité (DSI) pour les deux périodes (2041-2060) et (2081-2100)..... **92**

---

---

## Liste des figures

<b>Figure 01</b> : Relations entre la désertification, le changement climatique et la perte de la biodiversité.....	<b>19</b>
<b>Figure 02</b> : Scénarios des RCPs .....	<b>20</b>
<b>Figure 03</b> : Conception expérimentale et organisation de CMIP6.....	<b>21</b>
<b>Figure 04</b> : Localisation des zones sèches au niveau mondial .....	<b>23</b>
<b>Figure 05</b> : Zones environnementalement sensibles à la désertification au niveau mondial pour l'année 2015 .....	<b>23</b>
<b>Figure 06</b> : Modèle d'analyse de chemin.....	<b>29</b>
<b>Figure 07</b> : Modèle FAHP-MEDALUS .....	<b>30</b>
<b>Figure 08</b> : Modèle de l'algorithme QUEST .....	<b>31</b>
<b>Figure 09</b> : Méthode sociologique.....	<b>32</b>
<b>Figure 10</b> : Modèle de l'algorithme Auto-encodeur variationnel .....	<b>34</b>
<b>Figure 11</b> : Méthode de classification par l'apprentissage automatique.....	<b>35</b>
<b>Figure 12</b> : Evaluation de la désertification à l'aide de Google Earth Engine.....	<b>36</b>
<b>Figure 13</b> : Analyse géospatiale à l'aide de Google Earth Engine .....	<b>36</b>
<b>Figure 14</b> : Modèle MEDALUS-ESA.....	<b>37</b>
<b>Figure 15</b> : Approche méthodologique ESAI.....	<b>38</b>
<b>Figure 16</b> : Méthodologie appliquée pour définir les zones environnementalement sensible à la désertification en Algérie .....	<b>54</b>
<b>Figure 17</b> : Graphique des superficies en km <sup>2</sup> pour les classes de l'indice (DSI) dans les années 2000, 2010 et 2020 .....	<b>81</b>
<b>Figure 18</b> : Distribution en pourcentage du nombre de changements pour chaque zone dans les trois années étudiées.....	<b>84</b>
<b>Figure 19</b> : Variations brutes et nettes (gains nets et pertes nettes) pour chaque classe de l'indice (DSI) entre 2000 et 2020.....	<b>85</b>
<b>Figure 20</b> : Diagramme de Sankey illustrant l'évolution des classes de sensibilité des terres à la désertification de l'Algérie au fil des années 2000, 2010 et 2020.....	<b>86</b>
<b>Figure 21</b> : Représentation graphique des superficies selon les classes de l'indice (DSI) pour les périodes (2041-2060) et (2081-2100) .....	<b>92</b>

---

---

## Liste des cartes

<b>Carte 01</b> : Programme algérien de lutte contre la désertification.....	<b>27</b>
<b>Carte 02</b> : Localisation et élévations de l'Algérie .....	<b>40</b>
<b>Carte 03</b> : Reliefs d'Algérie.....	<b>42</b>
<b>Carte 04</b> : Géologie de l'Algérie.....	<b>44</b>
<b>Carte 05</b> : Types du sol du Nord de l'Algérie.....	<b>45</b>
<b>Carte 06</b> : Aquifères d'Algérie.....	<b>46</b>
<b>Carte 07</b> : Couvert végétal et plans d'eau d'Algérie au cours de l'année 2010.....	<b>47</b>
<b>Carte 08</b> : Etages bioclimatiques d'Algérie .....	<b>49</b>
<b>Carte 09</b> : Paramètres utilisés pour l'obtention de l'indice de qualité topogéologique (TQI).....	<b>58</b>
<b>Carte 10</b> : Paramètres utilisés pour l'obtention de l'indice de qualité du sol (SQI).....	<b>60</b>
<b>Carte 11</b> : Paramètres utilisés pour l'obtention du CQI dans les années 2000, 2010 et 2020 ....	<b>62</b>
<b>Carte 12</b> : Paramètres utilisés pour l'obtention du VQI dans les années 2000, 2010 et 2020 ....	<b>65</b>
<b>Carte 13</b> : Paramètres utilisés pour l'obtention du MQI dans les années 2000, 2010 et 2020 ...	<b>66</b>
<b>Carte 14</b> : Paramètres utilisés pour obtenir le CQI dans (2041-2060) et (2081-2100).....	<b>70</b>
<b>Carte 15</b> : Paramètres utilisés pour obtenir le MQI dans (2041-2060) et (2081-2100) .....	<b>71</b>
<b>Carte 16</b> : Représentation spatiale des TQI et SQI .....	<b>77</b>
<b>Carte 17</b> : Représentation spatiale du CQI dans les années 2000, 2010 et 2020 .....	<b>78</b>
<b>Carte 18</b> : Représentation spatiale du VQI dans les années 2000, 2010 et 2020.....	<b>79</b>
<b>Carte 19</b> : Représentation spatiale du MQI dans les années 2000, 2010 et 2020 .....	<b>80</b>
<b>Carte 20</b> : Modèle spatial de l'indice de sensibilité à la désertification (DSI) dans les terres non désertiques d'Algérie en 2000 .....	<b>82</b>
<b>Carte 21</b> : Modèle spatial de l'indice de sensibilité à la désertification (DSI) dans les terres non désertiques d'Algérie en 2010 .....	<b>82</b>
<b>Carte 22</b> : Modèle spatial de l'indice de sensibilité à la désertification (DSI) dans les terres non désertiques d'Algérie en 2020 .....	<b>83</b>
<b>Carte 23</b> : Superficie et répartition spatiale des plus fortes variations de sensibilité à la désertification entre 2000 et 2010 en Algérie .....	<b>86</b>

---

---

<b>Carte 24</b> : Superficie et répartition spatiale des plus fortes variations de sensibilité à la désertification entre 2010 et 2020 en Algérie .....	<b>87</b>
<b>Carte 25</b> : Zoom sur les changements locaux de la sensibilité à la désertification entre 2000 et 2020 .....	<b>88</b>
<b>Carte 26</b> : Représentation spatiale du CQI durant les périodes (2041-2060) et (2081-2100).....	<b>90</b>
<b>Carte 27</b> : Représentation spatiale du MQI durant les périodes (2041-2060) et (2081-2100)....	<b>90</b>
<b>Carte 28</b> : Modèle spatial de l'indice de sensibilité (DSI) dans les terres non désertiques d'Algérie durant la période (2041-2060).....	<b>93</b>
<b>Carte 29</b> : Modèle spatial de l'indice de sensibilité (DSI) dans les terres non désertiques d'Algérie durant la période (2081-2100).....	<b>93</b>

---

---

## Sommaire

**Résumé**

**Liste des abréviations**

**Liste des tableaux**

**Liste des figures**

**Liste des cartes**

### **Introduction générale**

Contexte et antécédents .....	01
Problématique.....	02
Objectifs du travail .....	03
Hypothèses .....	04
Motivation du choix du thème .....	04
Etapes et structure de la thèse .....	05
Limites et difficultés de l'étude.....	05

### **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

Introduction.....	07
1. Désert, dégradation des terres et désertification .....	07
1.1. Désert .....	07
1.2. Dégradation des terres .....	07
1.3. Désertification .....	08
2. Causes de DTDS.....	09
2.1. Causes naturelles .....	10
2.1.1. Géomorphologie .....	10
2.1.2. Variabilités climatiques .....	10
2.1.3. Lithologie .....	10
2.1.4. Salinisation .....	11
2.1.5. Erosion hydrique.....	11
2.1.6. Erosion éolienne et ensablement .....	11
2.1.7. Feux de forêts et de végétation .....	12
2.2. Causes anthropiques .....	13
2.2.1. Déboisement .....	13
2.2.2. Défrichage des terres et activités d'agriculture .....	13
2.2.3. Surexploitation des ressources naturelles .....	14
2.2.4. Surpâturage .....	14
2.2.5. Croissance démographique et pollution .....	14
3. Processus de DTDS .....	15
3.1. Dégradation du couvert végétal .....	15
3.2. Dégradation des ressources hydriques.....	15
3.3. Dégradation des sols.....	16
3.3.1. Dégradation physique .....	16
3.3.2. Dégradation chimique .....	16

---

3.3.3. Dégradation biologique .....	17
4. Impacts de DTDS .....	17
4.1. Impacts environnementaux .....	17
4.2. Impacts économiques .....	18
4.3. Impacts sociaux et culturels.....	18
5. Désertification et changement climatique.....	19
6. DTDS dans le monde (Situation et pratique).....	22
7. DTDS en Algérie .....	24
7.1. Situation de DTDS en Algérie .....	24
7.2. Politiques et programmes de lutte contre DTDS en Algérie .....	25
8. Méthodes et modèles appliqués à l'évaluation et au suivi de la désertification.....	28
a. Modèle d'analyse de chemin .....	28
b. Modèle de processus de hiérarchie analytique floue (FAHP) .....	29
c. Algorithme de l'arbre statistique rapide, impartial et efficace (QUEST) .....	30
d. Méthode sociologique .....	31
e. Modèle de changement du centre de gravité (CGC) .....	33
f. Algorithme Auto-encodeur variationnel (VAE) .....	33
g. Classification par l'apprentissage automatique (Machine Learning) .....	35
h. Analyse géospatiale par Google Earth Engine (GEE) .....	35
i. Approche MEDALUS-ESA .....	37
Conclusion .....	38

## Chapitre II : Matériels et méthodes

Introduction.....	40
1. Présentation des caractéristiques de l'Algérie .....	40
1.1. Localisation .....	40
1.2. Reliefs .....	41
1.3. Géologie.....	43
1.4. Types du sol.....	44
1.5. Ressources en eau.....	45
1.6. Couvert végétal.....	47
1.7. Climat.....	48
1.8. Population .....	49
1.9. Utilisation des terres.....	51
2. Méthodologie .....	53
2.1. Modélisation de l'indice de sensibilité à la désertification en Algérie .....	53
2.2. Paramètres et indices de qualité .....	55
2.2.1. Indice de qualité topogéologique (TQI).....	57
2.2.2. Indice de qualité du sol (SQI).....	58
2.2.3. Indice de qualité du climat (CQI).....	61
2.2.4. Indice de qualité de la végétation (VQI) .....	63
2.2.5. Indice de qualité du management (MQI) .....	63
2.3. Prédiction des tendances futures de la désertification.....	66
2.3.1. Indice de qualité du climat (CQI).....	68

---

2.3.2. Indice de qualité du management (MQI).....	71
Conclusion .....	72

### **Chapitre III : Résultats et discussions**

Introduction .....	73
1. Résultats.....	73
1.1. Poids des paramètres et des indices de qualité.....	73
1.2. Analyse spatiale des indices de qualité.....	76
1.3. Analyse spatiale de l'indice de sensibilité à la désertification (DSI) .....	80
1.4. Analyse spatiale de l'évolution de la sensibilité à la désertification dans le temps.....	84
1.5. Analyse spatiale de la prédiction des tendances futures .....	88
2. Discussions .....	94
Conclusion .....	97

### **Conclusion générale**

Conclusion générale et recommandations.....	98
---	----

<b>Références bibliographiques</b> .....	<b>101</b>
--	------------

**Annexe**

---

---

# *Introduction générale*

---

### **Contexte et antécédents**

Au cours des derniers siècles, la société humaine a connu une expansion rapide, notamment depuis la révolution industrielle du dix-huitième siècle. Cette croissance a entraîné des changements significatifs de l'environnement, résultant des activités anthropiques telles que l'industrialisation, la déforestation, l'urbanisation, et d'autres formes d'aménagement des terres. Récemment, une attention accrue a été portée sur des phénomènes majeurs tels que l'effet de serre, le réchauffement planétaire, la dégradation des terres, et en particulier la désertification (Wu, 2003).

Plus spécifiquement, la désertification est un processus complexe et dynamique de dégradation des terres (Abuzaid et Abdellatif, 2022 ; Akbari *et al.*, 2020). Il est largement connu que les activités humaines, telles que la déforestation, l'extension des terres cultivées, les pratiques de gestion des terres non durables comme le surpâturage par le bétail, l'expansion urbaine et le développement des infrastructures, interagissent avec le changement climatique anthropique. En particulier, l'augmentation de la température de l'air à la surface des terres, l'accroissement de l'évapotranspiration et la diminution des précipitations sont des facteurs clés qui contribuent à la dégradation des terres et à la désertification à l'échelle mondiale (Prävălie, 2021 ; Prävălie *et al.*, 2021, 2020, 2017 ; Ma et Zhao, 1994). Il est estimé que la désertification est considérée comme une menace sérieuse et grave pour de nombreuses régions du monde. Actuellement, environ 51,6 millions de km<sup>2</sup> de la surface terrestre sont affectés par ce phénomène, principalement dans les zones arides, qui représentent plus de 40 % de la superficie terrestre totale et abritent plus de 35 % de la population mondiale (MEA, 2005). Par ailleurs, plus d'un milliard d'hectares en Afrique sont légèrement ou fortement touchés par la dégradation et la désertification (Thomas, 1995). Dans ces régions vulnérables, la désertification peut engendrer des conséquences néfastes sur la végétation, la qualité des sols et des eaux. À long terme, elle peut transformer des zones autrefois préservées en paysages désertiques (Alados *et al.*, 2011; Bajocco *et al.*, 2011; Briassoulis, 2011; Egidi *et al.*, 2021). Ces changements ont des répercussions sur les services écosystémiques, affectant le bien-être humain, et pouvant entraîner des conséquences désastreuses sur les sociétés, telles que l'aggravation de la pauvreté et de la famine, ainsi que des migrations massives de populations (Bedoui, 2020 ; D'Odorico *et al.*, 2013).

L'Algérie, à l'instar de nombreux autres pays de la Méditerranée, est fortement touchée par la désertification, avec près de 80 % de son territoire classé comme désertique (Sahara). D'après les estimations, plus de 120 millions de tonnes de limon et 16,6 millions de mètres cubes de matériaux sont annuellement perdus en raison de l'érosion des particules du sol et des glissements de terrain (Mostefaoui, 2017 ; Bouzekri, 2015).

Par ailleurs, des études récentes affirment que la désertification menace plus de 20 millions d'hectares de pâturages steppiques (Mostefaoui, 2017 ; Merdas, 2017). Une étude réalisée en 1996 par le Centre National des Techniques Spatiales (CNTS) mettait également en évidence une intensification de la désertification au cours des vingt dernières années, estimant une augmentation d'environ 40 000 hectares par an (Bouzekri, 2015). Ces statistiques inquiétantes soulignent l'urgence pour les décideurs politiques de s'engager rapidement dans la lutte contre cette menace croissante.

Au cours des deux dernières décennies, plusieurs études ont été entreprises pour évaluer et cartographier la vulnérabilité des terres à la désertification dans diverses régions d'Algérie, telles que Biskra, Djelfa, El-Bayadh, Saïda, Nemamcha, les Hauts Plateaux, Hodna et les Aures. Ces recherches reposent principalement sur l'utilisation des données de télédétection (Azzouzi *et al.*, 2017; Benhizia *et al.*, 2021; Belaroui *et al.*, 2014; Arabi *et al.*, 2015; Bouzekri *et al.*, 2023; Kadri et Nasrallah, 2023; Merdas, 2017; Benmessaud *et al.*, 2010). D'autres recherches ont ciblé le phénomène du déplacement des dunes et de l'ensablement dans les régions d'In Salah, de Naâma et de Mécherai (Boulghobra *et al.*, 2014 ; Bensaïd, 2006 ; Idriss *et al.*, 2011 ; Zaoui *et al.*, 2017). Toutefois, la plupart de ces études se sont limitées à des zones spécifiques, et rares sont celles qui ont entrepris une analyse exhaustive du phénomène de désertification à l'échelle nationale (Salamani *et al.*, 2013). Par conséquent, cela risque de ne pas fournir une explication complète des causes profondes de ce phénomène. Ainsi, il est indispensable de réaliser une cartographie plus précise des zones présentant un risque de dégradation ou en cours de désertification, en tenant compte de l'ensemble du pays.

### **Problématique**

La dégradation des terres et la désertification entraînent de nombreux problèmes économiques et sociaux en raison de leurs conséquences préjudiciables sur la productivité des sols, la sécurité alimentaire, la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes (IPBES, 2018 ; Právělie *et al.*, 2017). Par conséquent, il devient impératif d'identifier et de cartographier les zones vulnérables tout en évaluant l'influence relative des facteurs humains et naturels sur ces phénomènes. Cette démarche est essentielle pour élaborer des stratégies de gestion et de restauration durables des terres, en vue d'atténuer ces problématiques de manière efficace.

En outre, le rapport spécial du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) en 2018 relatif au réchauffement climatique signale que toute élévation de la température

---

dépassant 1,5 °C accroîtrait de manière significative le risque de sécheresse dans la région méditerranéenne. Ceci pourrait entraîner une augmentation notable de la fréquence, de l'intensité et de la durée des périodes de sécheresse dans cette zone (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2018). Dans ce contexte, la prévision des tendances possibles de la dégradation des terres et de la désertification en réaction aux futurs scénarios de changement climatique peut constituer un outil décisionnel précieux pour la surveillance de ces phénomènes dans la région.

En se basant sur les informations antérieures, la question principale à laquelle cette thèse cherche à répondre est la suivante : Quelle est la véritable dynamique spatio-temporelle de la sensibilité des terres à la dégradation et à la désertification en Algérie ?

Après cette question centrale, il convient de poser les deux questions secondaires suivantes :

1. Quels sont les facteurs naturels et anthropiques les plus importants qui contribuent à accroître la sensibilité des terres à la dégradation et à la désertification en Algérie ?
2. Quels seront les impacts du changement climatique et de l'augmentation de la pression humaine prédits sur la sensibilité des terres à la dégradation et à la désertification en Algérie ?

### **Objectifs du travail**

L'objectif principal de cette étude est de suivre et d'évaluer la dynamique spatio-temporelle de la sensibilité des terres à la dégradation et à la désertification en Algérie, face aux pressions anthropiques et au changement climatique, en utilisant des données de télédétection, des données météorologiques et des données socio-économiques.

Deux objectifs spécifiques sont définis :

1. Identifier les facteurs naturels et anthropiques qui contribuent à l'augmentation de la sensibilité des terres à la dégradation et à la désertification sur le territoire algérien.
2. Prédire les tendances futures de la sensibilité des terres à la dégradation et à la désertification en réponse aux scénarios futurs du changement climatique et des activités humaines en Algérie.

## **Hypothèses**

Dans le but d'approfondir notre compréhension conceptuelle et d'élargir nos connaissances sur la sensibilité des terres à la dégradation et à la désertification en Algérie, nous formulons les hypothèses suivantes :

**H1.** En raison de la vaste étendue du territoire algérien, caractérisé par d'importantes variations climatiques, une diversité dans l'occupation des terres, ainsi que des influences humaines, on prévoit une grande variation spatio-temporelle de la sensibilité des terres à la dégradation et à la désertification en Algérie.

**H2.** On estime également que la dégradation des terres et la désertification en Algérie sont principalement influencées par la sécheresse, le surpâturage et l'expansion urbaine.

**H3.** En raison des changements climatiques défavorables actuels et de la pression humaine croissante, on prévoit une intensification future de la sensibilité des terres à la désertification en Algérie.

## **Motivation du choix du thème**

Nous avons choisi le thème du suivi et de l'évaluation de la dégradation des terres et de la désertification en Algérie en raison de plusieurs considérations, parmi les plus importantes :

**1.** Un sujet perpétuellement d'actualité, surtout à la lumière de la complexité des relations internationales, où la politique et l'économie sont étroitement liées, incitant tous les pays à s'engager dans la préservation de leur sécurité alimentaire. Celle-ci ne peut être assurée qu'à travers la valorisation des richesses et des capacités de leurs territoires.

**2.** Il est scientifiquement important de mener une étude approfondie sur la dégradation des terres et la désertification à l'échelle nationale, car cela permet d'obtenir une vision complète et précise de la situation dans tout le pays. Cette approche permet aux autorités de prendre des mesures et de concevoir des stratégies efficaces pour lutter contre ces phénomènes dévastateurs.

**3.** L'accès aux données historiques, actuelles et futures grâce à la télédétection sur l'ensemble du territoire national, combinée à l'utilisation de nouvelles techniques de traitement des données pour la modélisation spatio-temporelle, offre la perspective certaine de produire des résultats plus précis et fiables.

### **Étapes et structure de la thèse**

Le processus de recherche pour cette thèse a été divisé en plusieurs étapes distinctes. Tout d'abord, il a commencé par une recherche bibliographique approfondie, impliquant l'analyse et la lecture d'un grand nombre de références et d'articles liés au sujet de l'étude. Ensuite, dans une deuxième phase, nous avons collecté des données essentielles pour la recherche, comprenant des données de télédétection, des données météorologiques et des données socio-économiques. Enfin, la dernière phase a impliqué le traitement des données, l'application d'une modélisation spatio-temporelle, l'extraction des résultats et la création de diverses cartes représentant la sensibilité des terres à la désertification en Algérie. Il convient de noter que notre étude a utilisé une méthode d'analyse spatiale multicritère largement reconnue, appelée « MEDALUS-ESA », spécifiquement conçue pour la région méditerranéenne. Pour obtenir des résultats plus précis et plus fiables, nous avons combiné cette méthode avec une autre méthode statistique, à savoir l'analyse factorielle.

La présente thèse de recherche est structurée en trois (03) chapitres, chacun traitant un aspect spécifique. Le premier chapitre expose les différentes notions relatives à la dégradation des terres et à la désertification, notamment les définitions, les causes, les impacts, les méthodes, les moyens et les stratégies de lutte. Ce chapitre offre la base essentielle permettant de traiter les différents aspects et concepts de notre thème d'étude dans les chapitres suivants. Le deuxième chapitre débute par la caractérisation de la zone d'étude, mettant en lumière sa localisation géographique ainsi que ses caractéristiques physiques et socio-économiques principales. Ensuite, il expose la méthodologie adoptée et les données utilisées pour la réalisation de la présente recherche. Dans le troisième chapitre, les résultats les plus importants sont exposés, accompagnés de cartes élaborées, et sont soumis à des interprétations et analyses approfondies. Enfin, cette thèse se termine par une conclusion générale et des recommandations.

### **Limites et difficultés de l'étude**

Comme toute recherche, cette étude a rencontré plusieurs défis et des obstacles. Parmi eux, on peut citer :

1. En raison de la vaste étendue de la zone d'étude, nous avons été contraints d'utiliser des couches avec une résolution spatiale de 250 mètres pour couvrir l'ensemble du territoire national.
2. Le téléchargement et le traitement de plus de 1000 couches pour des différents paramètres et indices utilisés ont nécessité des efforts considérables et ont pris beaucoup de temps.

3. Le manque de données statistiques récentes sur tout le territoire algérien, notamment celles liées à la population et à l'élevage.
4. L'absence de données sur certains indices, comme l'indice de salinité des sols et l'indice de l'érosion.
5. La validation des cartes de sensibilité des terres à la désertification à l'aide des mesures telles que la précision globale et le kappa s'est révélée complexe et impossible, car ces cartes ne montrent pas le degré de désertification, mais plutôt le niveau de vulnérabilité des terres à la désertification, rendant complexe leur vérification sur le terrain. Malgré cette difficulté, une approche diachronique a été mise en œuvre en utilisant Google Earth Pro pour valider les changements de sensibilité des terres à la désertification. Concrètement, l'exploitation des images historiques de Google Earth Pro a permis d'étudier les changements d'utilisation des terres entre 2000 et 2020.

---

*Chapitre I*

*Synthèse bibliographique*

---

## **Introduction**

Dans ce chapitre nous apporterons un éclairage sur le phénomène de la dégradation des terres et de la désertification. Pour cela, en commençant par la présentation des différentes définitions, causes, impacts, processus et méthodes appliquées ; par la suite, l'état de la désertification au monde et en Algérie et les actions de lutte menées contre ce phénomène.

### **1. Désert, dégradation des terres et désertification**

Le désert, la dégradation des terres et la désertification sont des termes qui évoquent des réalités environnementales complexes liées à la transformation des paysages terrestres et à leurs impacts dans la vie sur terre. Ces concepts sont souvent mal compris ou confondus, qui décrivent tous des processus distincts ayant un impact significatif sur notre planète. Il est donc souhaitable de clarifier et de définir davantage ces notions.

#### **1.1. Désert**

Le désert est une région terrestre caractérisée par des conditions environnementales spécifiques. Il est caractérisé par un climat sec, une faible quantité de précipitations, une aridité marquée, une forte évaporation et une végétation limitée, voire une absence quasi totale de végétation et de sol bien formé (Herrmann et Hutchinson, 2005).

Les déserts se trouvent sur tous les continents et peuvent être divisés en plusieurs types, notamment les déserts chauds (comme le Sahara en Afrique), les déserts froids (comme le désert de l'Arctique) et les déserts de haute montagne (comme l'Atacama au Chili). Les déserts peuvent présenter une grande variété de paysages, allant des dunes (désert de sable) aux formations rocheuses escarpées, en passant par les plaines rocailleuses et les plateaux (Hein et De Ridder, 2006).

Les plantes et les animaux qui vivent dans les déserts ont souvent développé des adaptations spécifiques pour survivre dans ces environnements hostiles. Par exemple, certaines plantes ont des systèmes racinaires profonds pour extraire l'eau du sol, et de nombreux animaux sont nocturnes pour éviter la chaleur intense de la journée (Prince *et al.*, 2007).

#### **1.2. Dégradation des terres**

Le concept de « Terre » comprend tous les éléments présents dans une zone donnée, tels que la végétation, les sols, les reliefs, les formations géomorphologiques, les systèmes hydrologiques et aussi la faune (Taïbi, 2015). À l'origine, la dégradation des terres était principalement associée à des éléments biophysiques spécifiques des environnements et des écosystèmes, tels que le sol, la

végétation et les organismes vivants. Au fil du temps, cette notion s'est progressivement étendue aux paysages dans leur ensemble (Richard, 1990). Il existe de nombreuses définitions de la dégradation des terres, mais la plupart ne font essentiellement référence qu'à « *une perte de productivité de la terre* » (Blaikie et Brookfield, 1987 ; Barrow, 1991 ; Darkhoh, 1998 ; Warren, 2002).

La définition de la dégradation des terres la plus complète et la plus largement acceptée vient actuellement de la convention des nations unies de lutte contre la désertification (en anglais : United Nations Convention to Combat Desertification « UNCCD ») de 1994, qui a défini la dégradation des terres comme : « *la réduction ou la perte, dans les zones arides, semi-arides et subhumides, de la productivité et de la complexité des terres cultivées non irriguées, des terres cultivées irriguées, des parcours, des pâturages, des forêts et boisées du fait de l'utilisation des terres ou d'un processus ou de plusieurs phénomènes, notamment de phénomènes dus à l'activité humaine et ses modes de peuplement, tels que :*

- (i) L'érosion des sols causée par le vent et/ou de l'eau ;*
- (ii) La détérioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques ou économiques du sol ;*
- (iii) La perte à long terme de la végétation naturelle ».*

### **1.3. Désertification**

En 1927, le scientifique et l'explorateur français "Louis Lavauden" a inventé et engendré le terme « *désertification* » pour décrire ce phénomène (Smith *et al.*, 1999), et vulgarisé par un botaniste français, "A. Aubréville" en 1949. Le concept de désertification a subi tant de modifications dans sa définition qu'il a fait l'objet de plus de 130 définitions différentes (Mainguet, 1990). La désertification aussi a été définie de différentes manières par des organisations et des chercheurs de différentes disciplines (Dregne *et al.*, 1992 ; Le Houérou, 1996 ; Katyal et Vlek, 2000 ; Wu, 2003 ; Benmessaoud, 2009).

Les instances nationales et institutionnelles ont également apporté leurs propres visions du phénomène, et il existe donc une gamme multiple de définitions et d'interprétations de la désertification en raison de cette diversité des visions (Glantz *et al.*, 1983). Les manifestations des organismes internationaux, représentées lors de la conférence des Nations Unies sur la désertification à Nairobi (Kenya) en 1977, ainsi que lors de la conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED) en 1992 à Rio (Chapitre 12 de l'Agenda 21), ont abouti à l'approbation des deux définitions suivantes :

« La désertification est la diminution ou la destruction du potentiel biologique de la terre et peut conduire finalement à l'apparition de conditions désertiques, elle est un des aspects de la dégradation généralisée des écosystèmes ».

« La désertification est la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines ».

Les définitions proposées par l'UNCCD et le CNUED pour respectivement la dégradation des terres et la désertification, suggèrent une forte similitude entre ces deux notions, qui semblent représenter un même phénomène. Cette similitude provient du fait que les deux concepts sont définis comme étant « la réduction ou la perte de la productivité biologique et économique des écosystèmes ». Il existe d'autres points communs dans l'approche de la désertification et de la dégradation des terres, notamment leur limitation aux « zones arides, semi-arides et subhumides sèches », ainsi que l'implication des activités humaines dans les deux processus (Vogt *et al.*, 2001).

Cependant, il convient de noter que, outre les « activités humaines », la désertification est également attribuée aux « variations climatiques » telles que les sécheresses longues, sévères et récurrentes (Vogt *et al.*, 2001). **Il est important de signaler que dans la suite de cette thèse, l'acronyme « DTDS » sera employé pour faire référence à la dégradation des terres et la désertification.**

Il convient également de noter que, bien que le désert et la désertification soient tous deux liés aux régions sèches, ils sont différents dans leur nature et leur développement. La désertification est le processus par lequel une région autrefois productive peut être transformée en une zone désertique ou semi-désertique. Le désert, quant à lui, est une zone déjà aride et dépourvue de végétation. Bien que la désertification puisse contribuer à la création ou à l'extension des déserts, ces deux phénomènes ne sont pas interchangeables (Jiang et Liu, 2023).

## 2. Causes de DTDS

DTDS résultent de l'interaction complexe de divers facteurs, qui a des conséquences dévastatrices sur les écosystèmes, les communautés locales et la sécurité alimentaire mondiale. Par conséquent, il est opportun de présenter et d'analyser ici les nombreux facteurs qui contribuent à ces processus destructeurs et qui peuvent être classés en deux catégories : les causes naturelles et les causes humaines.

## **2.1. Causes naturelles**

### **2.1.1. Géomorphologie**

La géomorphologie, discipline étudiant la configuration et la structure de la surface terrestre ainsi que l'évolution des paysages, exerce une influence considérable sur le phénomène de désertification (Sheng, 1989). Cet impact dépend des caractéristiques spécifiques de chaque région, notamment la topographie, la formation des sols, les ressources en eau, le drainage, l'érosion, les précipitations, la température, la direction et l'intensité du vent. La géomorphologie est donc un élément clé et fondamental dans l'étude de la désertification (Shao *et al.*, 2023).

### **2.1.2. Variabilités climatiques**

La variabilité climatique fait référence aux fluctuations dans les conditions climatiques d'une région donnée, résultant de troubles anthropiques et naturels (Kotir, 2011). Elle se manifeste par des changements normaux et périodiques, soit au-dessus, soit en dessous d'une valeur moyenne à long terme, à l'échelle annuelle, dans les facteurs climatiques tels que la température, les précipitations, l'humidité, les vents et les phénomènes climatiques (Le Houérou, 1996). Les trois principaux facteurs responsables du changement climatique englobent l'élévation du taux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, l'altération de régime des précipitations et des amplitudes thermiques (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2011). Ces facteurs conduisent à une série d'impacts dommageables, notamment l'élévation des périodes de sécheresse, des vagues de chaleur, et des incendies de forêt (Trew et Maclean, 2021). Il convient de noter que la sécheresse est un indicateur révélateur de la désertification dans les zones sèches, car elle rend plus difficile la résistance des écosystèmes et des sociétés. Même si les sécheresses ne provoquent pas la désertification, elles peuvent sérieusement exacerber les impacts anthropiques de la dégradation des terres dans les zones sèches (Thomas, 1995).

### **2.1.3. Lithologie**

Le terme « lithologie » fait référence aux caractéristiques physiques, minéralogiques et géochimiques des roches et des sols trouvés à la surface de la terre. La lithologie est considérée comme l'un des principaux facteurs affectant DTDS en raison de la grande variété de sols aux propriétés physiques et chimiques différentes (Salvati *et al.*, 2016). Il existe donc également des différences qualitatives entre ces sols en termes de productivité, et de résistance à l'érosion hydrique et éolienne et à d'autres facteurs de désertification (Salvati et Bajocco, 2011).

#### **2.1.4. Salinisation**

La salinisation permanente des terres conduit à une concentration élevée de sels qui atteint des niveaux de saturation insoutenables pour les plantes, cela entraîne la dégradation des sols et leur appauvrissement en matière organique, ce qui se traduit par une dénudation des sols (Benguerai, 2011). Le salage peut également avoir un impact sur les écosystèmes naturels, car le sel peut s'infiltrer dans les eaux souterraines, les rendant impropres à la consommation humaine et animale.

La lutte contre la salinisation implique souvent des mesures de gestion des terres, telles que l'amélioration du drainage pour éliminer les excès de sels, l'utilisation de pratiques d'irrigation efficaces et la mise en place de systèmes d'irrigation adaptés à la qualité de l'eau et aux besoins des cultures. La prévention de la salinisation est essentielle pour préserver la fertilité des sols et la durabilité des systèmes agricoles et écologiques (Mabbut et Floret, 1983).

#### **2.1.5. Erosion hydrique**

L'érosion des sols peut être causée par divers facteurs, tels que l'agriculture non durable, le surpâturage, la déforestation, le changement climatique et d'autres pratiques humaines nuisibles à l'environnement. L'érosion hydrique, également appelée érosion par l'eau, est le processus naturel par lequel l'eau en mouvement détache, transporte et dépose des particules de sol d'une région à une autre (Chen *et al.*, 2020).

L'érosion hydrique se produit lorsque la force de l'eau dépasse la résistance du sol ou du substrat, détachant ainsi les particules de sol et les emportant. Dans les régions arides, où la végétation est moins dense, le sol exposé devient vulnérable à l'érosion causée par l'eau, pouvant entraîner la perte ou la diminution de l'épaisseur de la couche fertile du sol et par conséquent, la productivité du sol est réduite (Oldeman, 1992). L'eau élimine également les nutriments et la matière organique dont les plantes ont besoin pour croître ; cela entraîne une diminution de la fertilité du sol et la perte de sa capacité à soutenir une végétation saine (Abuzaid et Abdelatif, 2022).

#### **2.1.6. Erosion éolienne et ensablement**

L'érosion éolienne intervient lorsque le vent atteint la vitesse seuil, relative à la taille des particules du sol, les aspects du terrain (ex. la présence de pierres, le taux de couverture végétale, la pente) influencent l'intensité de l'érosion éolienne ; la disparition des particules fines des limons et argiles attachés aux éléments nutritifs consiste une réduction de la fertilité des sols (Gillette *et al.*, 1980).

L'ensablement se produit généralement lorsque le vent souffle sur les dunes, provoquant le déplacement du sable à la surface ; lorsque le vent souffle avec suffisamment de force, les grains

de sable sont soulevés et commencent à sauter et à rouler à la surface de la dune. Dans les régions arides, semi-arides et désertiques, l'érosion éolienne est souvent un facteur majeur de désertification. Cela entraîne la perte de la couche supérieure du sol qui est riche en nutriments et essentielle à la croissance des plantes. La faible fertilité des sols rend difficile, voire impossible, la culture de cultures, ce qui entraîne une réduction de la production alimentaire et une dégradation des terres et de la biodiversité (Trew et Maclean, 2021).

L'ensablement également contribue à la désertification, en particulier dans les zones steppiques ou à proximité des déserts. Lorsque les dunes sont transportées par le vent et déposées dans des zones spécifiques, elles peuvent recouvrir un sol fertile et réduire sa capacité à soutenir la croissance des plantes, obstruer les cours d'eau, bloquer les terres agricoles et perturber les habitats naturels (Van der Hagen *et al.*, 2023).

### **2.1.7. Feux de forêts et de végétation**

Les feux de forêts et de végétation provoquent une dégradation des sols et de la biodiversité dans les zones touchées (Trew et Maclean, 2021). Lorsqu'un feu brûle la végétation et les matières organiques présentes à la surface du sol, cela peut entraîner la perte de la couche fertile du sol. Cette couche est essentielle pour maintenir la fertilité du sol et favoriser la croissance des plantes (Nadporozhskaya *et al.*, 2018).

La dégradation des sols rend difficile, voire impossible, la régénération de la végétation dans les zones brûlées, favorisant ainsi l'expansion des zones arides. Les feux de forêts et de végétation peuvent avoir un impact sur le climat local en modifiant les régimes de précipitations et la température. Les incendies peuvent émettre d'importantes quantités de gaz à effet de serre et de particules fines, qui peuvent affecter la formation des nuages et les précipitations. Ces changements climatiques locaux peuvent influencer les conditions de sécheresse et la disponibilité de l'eau, exacerbant ainsi les processus de désertification (Muluneh, 2021).

Pour atténuer les effets des feux de forêts et de végétation sur la désertification, il est essentiel de mettre en œuvre des stratégies de prévention et de gestion des incendies. Cela inclut la surveillance et la prévention des départs de feu, la gestion durable des ressources naturelles, la restauration des écosystèmes dégradés et la sensibilisation à l'importance de préserver la végétation pour prévenir la DTDS (Nadporozhskaya *et al.*, 2018).

## **2.2. Causes anthropiques**

Les principales causes de la désertification due aux activités humaines comprennent le déboisement, les activités agricoles et le défrichement des terres, la surexploitation des ressources naturelles, le surpâturage, la croissance démographique et la pollution (Goudie, 2006).

### **2.2.1. Déboisement**

Les forêts jouent un rôle crucial dans la préservation du sol contre les effets des précipitations, créant ainsi un environnement où le taux d'érosion est significativement réduit (Goudie, 2006). Le déboisement désigne la transformation à long terme ou permanente de terres forestières en terres non forestières, résultant de l'activité humaine liée à l'agriculture, à l'utilisation domestique du bois et à la construction des villes et d'agglomérations urbaines.

Le déboisement reste le principal facteur contribuant à la désertification, en particulier dans les zones montagneuses ainsi que dans les zones arides, semi-arides et subhumides (Quézel, 2000). Particulièrement dans la région du Maghreb, la détérioration des paysages forestiers remonte à l'antiquité, du fait des nombreuses incursions qu'ils ont subies. Les activités humaines ont conduit à une déforestation importante, contribuant à la perte de biodiversité et à la dégradation des écosystèmes forestiers. Bien que certaines zones aient été reboisées au fil des siècles, les pressions constantes de l'urbanisation, de l'agriculture et du changement climatique menacent encore aujourd'hui les forêts.

### **2.2.2. Défrichage des terres et activités d'agriculture**

La dégradation des terres est principalement causée par une mauvaise gestion de celles-ci. Le défrichage des terres constitue une autre cause de dégradation notamment la mise en culture des terres dans les parcours steppiques puisque l'augmentation des besoins conduit à l'exploitation de nouvelles terres (terres marginales) ce qui entraîne une altération des parcours en réduisant leur superficie (Senoussi *et al.*, 2014). Ce type de dégradation est davantage observé dans les régions semi-arides et subhumides sèches, car ces zones offrent des conditions particulièrement favorables à l'agriculture pluviale (Thomas, 1997). Néanmoins, l'introduction de l'irrigation dans les écosystèmes arides et semi-arides a apporté des modifications significatives dans les cycles du sol, de l'eau et de l'atmosphère ; ces changements peuvent entraîner des conséquences défavorables susceptibles de générer la désertification (Nahal, 2004). Les techniques d'irrigation inadéquates peuvent également entraîner des problèmes de salinisation et de saturation des sols, ce qui contribuera à leur désertification.

### **2.2.3. Surexploitation des ressources naturelles**

La surexploitation des terres est l'exploitation des ressources naturelles et des terres cultivables au-delà de leur capacité de régénération. Elle peut se manifester par des activités telles que l'agriculture intensive, l'exploitation forestière et l'extraction minière. Ces activités peuvent perturber l'écosystème et rendre les sols plus vulnérables à l'érosion et à la désertification, en particulier dans les zones arides où la végétation est moins dense (Merdas, 2017). La surexploitation des ressources naturelles, associée à des pratiques agricoles non durables, contribuent grandement à la dégradation dans de nombreuses régions. Au fil du temps, cette dégradation a créé des conditions propices à l'expansion des zones arides, conduisant à la désertification.

### **2.2.4. Surpâturage**

Le surpâturage est une utilisation excessive des ressources végétales par le bétail, qui conduit à la destruction de la végétation et à la dégradation des sols. Le surpâturage est une cause majeure de dégradation des terres dans les régions arides du monde. En Afrique, le surpâturage est un facteur important de la désertification, comme on peut le voir dans le nord du continent, où il a eu un impact négatif sur l'écosystème et l'environnement (Gamoun, 2014 ; Aidoud et Touffet, 1996). Le surpâturage peut modifier la composition des communautés végétales en réduisant la quantité de plantes palatables et en favorisant la croissance de plantes non comestibles et éphémères (Milton et Hoffman, 1994). Cela peut entraîner une détérioration du couvert végétal et une vulnérabilité accrue des sols à l'érosion, en particulier en cas de sécheresse (Bonflis, 1987).

### **2.2.5. Croissance démographique et pollution**

Auparavant, l'augmentation des terres arables était proportionnelle à la croissance démographique (Bouzekri, 2015). Cependant, la population mondiale a explosé, passant de 0,7 milliard en 1700 à 6 milliards en 1999, tandis que la superficie des terres arables n'a augmenté que de 5 fois (Richards, 1990). Cette diminution de la disponibilité des terres cultivables par habitant a conduit à une utilisation intensive des ressources dans les pays en développement, qui représentent plus de 80 % des pays touchés par la désertification (Dregne *et al.*, 1992).

La croissance démographique entraîne une demande accrue en ressources naturelles et en biens de consommation, ce qui peut entraîner une pollution de l'air, de l'eau et des sols (Zhao *et al.*, 2006). L'augmentation des activités industrielles et agricoles liée à la croissance démographique peut libérer des polluants dans l'environnement, ce qui peut aggraver la DTDS (Prasad et Badarinh,

2004). Les pesticides, les engrais et les déchets chimiques utilisés en agriculture peuvent polluer les sols et les ressources en eau, nuisant à la qualité des terres cultivables et aggravant les problèmes de désertification (Benassi *et al.*, 2020). La croissance démographique peut également entraîner une urbanisation rapide et non planifiée, avec une expansion des zones urbaines dans des régions sensibles à la désertification (Benassi *et al.*, 2020).

### **3. Processus de DTDS**

DTDS résultent de divers processus interconnectés qui altèrent la qualité des sols, réduisent la fertilité agricole et transforment des terres auparavant productives en zones désertifiées. Comprendre les mécanismes à l'origine des processus de dégradation des terres est essentiel pour élaborer des stratégies de conservation et d'atténuation. Dans ce contexte, nous approfondirons et expliquerons les différents processus de dégradation des terres et de désertification.

#### **3.1. Dégradation du couvert végétal**

La dégradation du couvert végétal peut être attribuée à deux origines principales : les causes naturelles et l'impact des activités humaines sur l'environnement. Premièrement, les causes naturelles de la dégradation du couvert végétal comprennent les conditions climatiques, en particulier sécheresse, entraînent un stress hydrique, limitant ainsi le développement de la végétation en raison du manque d'eau disponible, et les propriétés du sol jouent un rôle essentiel dans la relation avec la végétation, notamment le contenu en matière organique, l'humidité du sol et sa capacité à retenir l'eau. Deuxièmement, l'impact des activités humaines sur l'environnement et l'intervention destructrice de l'homme joue un rôle significatif dans le processus de désertification, notamment à travers des pratiques telles que le surpâturage, le déboisement, le défrichage et les incendies (Merdas, 2017).

#### **3.2. Dégradation des ressources hydriques**

La dégradation des ressources en eau fait référence à la détérioration de la qualité et de la disponibilité de l'eau, généralement induite par les activités humaines provoquant une exploitation excessive des ressources hydriques. Ces activités contribuent également aux changements climatiques et à la pollution de l'eau, entraînant des conséquences graves. La dégradation des ressources hydriques peut engendrer des pénuries d'eau dans les régions concernées, ayant des impacts dévastateurs sur la vie quotidienne des populations locales et sur les écosystèmes aquatiques. Cela conduit à une diminution de la biodiversité et à la destruction des habitats

aquatiques (Muchtar *et al.*, 2023). La rareté d'eau et la détérioration de sa qualité peuvent également influencer sur la production agricole, entraînant des pertes de récoltes et des difficultés pour les agriculteurs.

Pour contrer la dégradation des ressources hydriques, il est crucial de promouvoir la gestion durable de l'eau, la préservation des sources d'eau, la conservation des écosystèmes aquatiques, la réduction de la pollution et l'utilisation responsable des ressources en eau. Une approche complète et collaborative impliquant les gouvernements, les communautés locales et les intervenants du secteur de l'eau est indispensable pour sauvegarder cette ressource vitale qui soutient la vie sur Terre (Muchtar *et al.*, 2023).

### **3.3. Dégradation des sols**

La détérioration des sols découle de l'impact des activités humaines et de leur interaction avec les écosystèmes naturels. Les processus de dégradation des sols sont les mécanismes qui provoquent une diminution de leur qualité. On peut distinguer trois types principaux de dégradation : la dégradation physique, la dégradation chimique et la dégradation biologique (Lal et Stewart, 1990).

#### **3.3.1. Dégradation physique**

La dégradation physique du sol se manifeste par la détérioration de ses propriétés physiques, notamment par le compactage, qui résulte de l'élimination ou de la réduction des pores dans le sol ; ce phénomène de compactage peut être provoqué par des activités mécanisées ou par le piétinement causé par les animaux (Lal et Stewart, 1990). Dans les régions arides, un piétinement excessif entraîne une réduction de la taille des agrégats du sol ainsi que de la litière au point où elles deviennent vulnérables à l'érosion éolienne et hydrique. En conséquence, l'infiltration du sol sera également réduite (Goudie, 2006).

#### **3.3.2. Dégradation chimique**

La dégradation chimique du sol englobe des modifications dans ses propriétés chimiques, qui régulent l'activité des éléments nutritifs et sa capacité globale. Cela peut perturber l'équilibre essentiel entre les principaux éléments nutritifs, conduisant à l'accumulation de substances pouvant atteindre des niveaux toxiques. Parmi ces altérations, on peut citer l'épuisement des principaux éléments nutritifs, ainsi que l'accumulation de sels et de métaux lourds à des concentrations nuisibles pour la croissance des plantes (Lal *et al.*, 1989). Les principaux processus conduisant à la dégradation chimique des sols comprennent la lixiviation, l'acidification et la salinisation.

### **3.3.3. Dégradation biologique**

L'efficacité de la population microbienne du sol est fondamentale, car cette communauté joue un rôle crucial dans la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes et contribue activement aux cycles biogéochimiques (Merdas, 2017). La dégradation biologique des sols se traduit généralement par une diminution des micro-organismes présents dans le sol, ce qui influe sur le taux de décomposition de la matière organique.

## **4. Impacts de DTDS**

DTDS représentent des phénomènes environnementaux qui dépassent la simple transformation des paysages. Ils entraînent également des répercussions profondes et variées sur les plans : environnemental, économique, social, voire culturel. Ces impacts s'étendent à des domaines aussi divers que la sécurité alimentaire mondiale, la biodiversité, la stabilité sociale et économique, et même le changement climatique.

### **4.1. Impacts environnementaux**

DTDS provoquent une diminution de la productivité des sols, accroissant ainsi le risque de désertification dans les zones non touchées. Ces phénomènes ont des répercussions négatives sur la biodiversité et le cycle du carbone. La dégradation des terres réduit la surface disponible pour d'autres usages, entraînant la destruction et la fragmentation des habitats naturels, ce qui entraîne une diminution de la biodiversité des écosystèmes. De nombreuses espèces végétales et animales sont ainsi menacées ou risquent de disparaître complètement en raison de la perte de leur habitat (Abu Hammad et Tumeizi, 2012).

En outre, DTDS peuvent entraîner une diminution de la disponibilité des ressources en eau, car les sols dégradés ont une capacité réduite à retenir l'eau. Cela aggrave les pénuries d'eau dans les zones touchées, y compris dans certains périmètres agricoles irrigués et oasis, où la désertification a même provoqué l'ensablement des canaux d'irrigation à ciel ouvert (Mughtar *et al.*, 2023).

Ainsi, la dégradation des terres peut induire une érosion accrue des sols, susceptible de causer des glissements de terrain, des inondations et une détérioration de la qualité des terres agricoles. Dans certaines régions, l'échec de la céréaliculture, particulièrement en raison de la dégradation progressive des sols, a conduit à l'abandon de cette culture sur des surfaces désormais dégradées (LE Houerou, 1973 ; Floret *et al.*, 1992).

#### **4.2. Impacts économiques**

DTDS ont des impacts économiques significatifs à l'échelle mondiale et locale. Cela se traduit par une diminution des rendements des cultures, une diminution de la production alimentaire et une augmentation des coûts de production pour les agriculteurs, et peut également conduire à une augmentation des prix des denrées alimentaires, nuisant aux consommateurs et exacerbant l'insécurité alimentaire, en particulier dans les zones déjà vulnérables (Wang *et al.*, 2023).

Ainsi, la perte de la biodiversité a des conséquences économiques, car de nombreuses industries, comme la pêche et la pharmacie, dépendent des ressources naturelles. De même, les entreprises qui dépendent de l'approvisionnement en produits agricoles ou en ressources naturelles peuvent être confrontées à des interruptions de production et à des coûts supplémentaires.

Par ailleurs, la restauration des terres dégradées et la lutte contre la désertification exigent des investissements considérables tant en termes de financement que de ressources humaines. Ces coûts peuvent représenter un fardeau pour les budgets des gouvernements et des organisations internationales. Ainsi, les effets de la dégradation des terres et de la désertification, conjugués à une sécheresse prolongée, ont entraîné d'importants dommages aux infrastructures et aux établissements humains des régions arides. La réhabilitation et la restauration de ces zones exigent d'énormes dépenses de la part de l'État et des résidents locaux.

#### **4.3. Impacts sociaux et culturels**

DTDS ont des impacts sociaux et culturels majeurs sur les populations vivant dans les régions touchées. Elles obligent souvent les populations locales à abandonner leurs terres et leurs maisons en raison de la perte de productivité agricole et de la rareté croissante des ressources naturelles. Cela conduit à des déplacements internes ou, dans certains cas, à des migrations internationales, qui peuvent créer des problèmes sociaux et sécuritaires. La désertification peut entraîner des tensions sociales et parfois des conflits violents entre les communautés locales pour l'accès aux ressources naturelles, telles que l'eau et les terres arables.

Les communautés touchées par la dégradation des terres sont souvent confrontées à une augmentation de la pauvreté et de la vulnérabilité (Abu Hammad et Tumeizi, 2012). La perte de moyens de subsistance liée à la dégradation des ressources naturelles peut conduire à une détérioration des conditions de vie et à une dépendance accrue à l'égard de l'aide alimentaire et des programmes de secours.

Par conséquent, les populations touchées par la dégradation des terres peuvent être exposées à des risques sanitaires accrus en raison de la perte de biodiversité, de la qualité réduite de l'eau et de la disponibilité limitée des ressources alimentaires. Les maladies liées à l'eau et la malnutrition pourraient devenir plus courantes. Les communautés impactées par les DTDS sont également exposées au risque de perdre leurs moyens de subsistance traditionnels. Cela pourrait conduire à la disparition des cultures et des traditions locales liées à la terre et à l'agriculture.

## 5. Désertification et changement climatique

La désertification contribue au changement climatique en provoquant la dégradation des terres et la diminution de la couverture végétale. De manière réciproque, le changement climatique accentue la désertification ainsi que la perte de la biodiversité (Figure 01). Par conséquent, les changements climatiques, quelles que soient leurs origines, peuvent avoir des conséquences dévastatrices sur les processus de DTDS (Merdas, 2017). L'évaluation de l'impact du changement climatique sur la désertification s'avère complexe en raison de l'interaction entre de nombreuses variables environnementales et humaines qui influent sur sa dynamique. Certains décideurs et chercheurs considèrent qu'il est plus efficace et incitatif de surveiller les tendances de dégradation des terres plutôt que de se limiter à évaluer l'état actuel de cette dégradation à l'échelle mondiale (MEA, 2005).

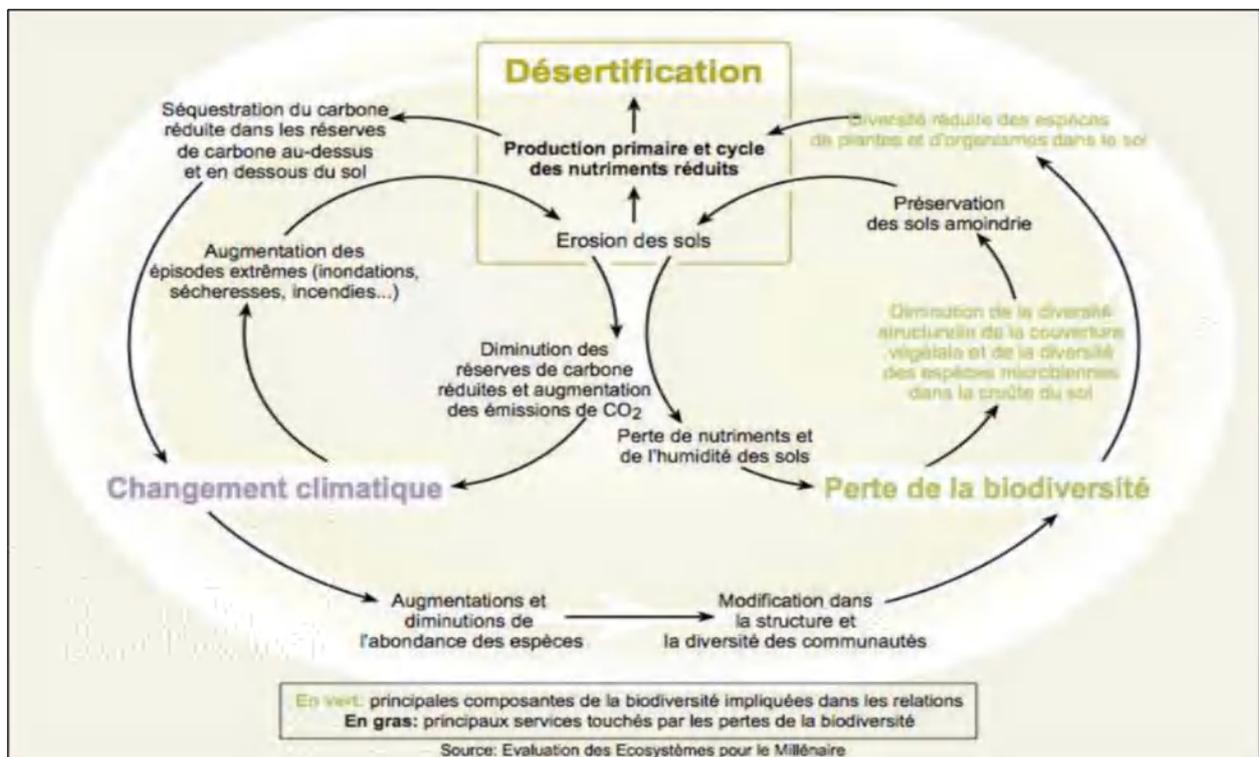


Figure 01 : Relations entre la désertification, le changement climatique et la perte de la biodiversité (MEA, 2005)

La plupart des études de modélisation sur l'évolution future de la désertification reposent sur l'analyse des scénarios spécifiques au changement climatique (en anglais : Representative Concentration Path « RCPs ») (Figure 02). Ces scénarios font référence aux émissions de gaz à effet de serre utilisées dans la modélisation climatique pour évaluer les impacts potentiels du changement climatique sur les processus de DTDS.

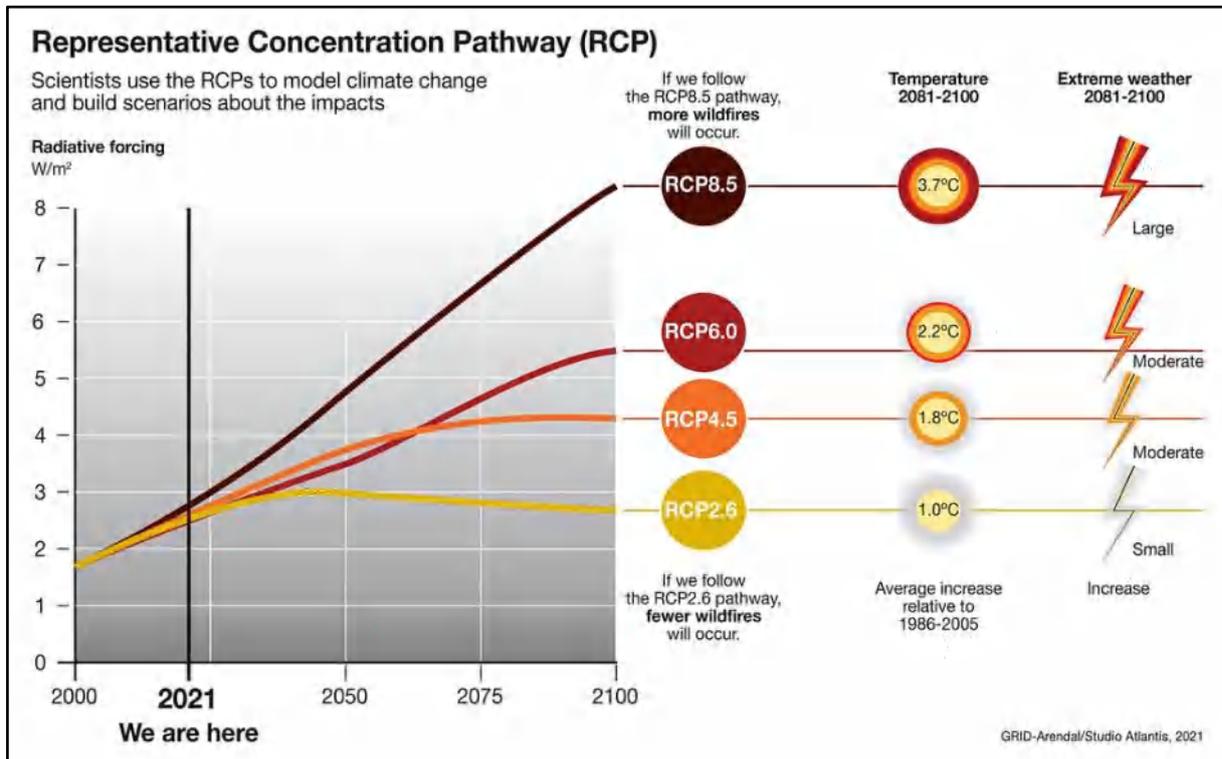
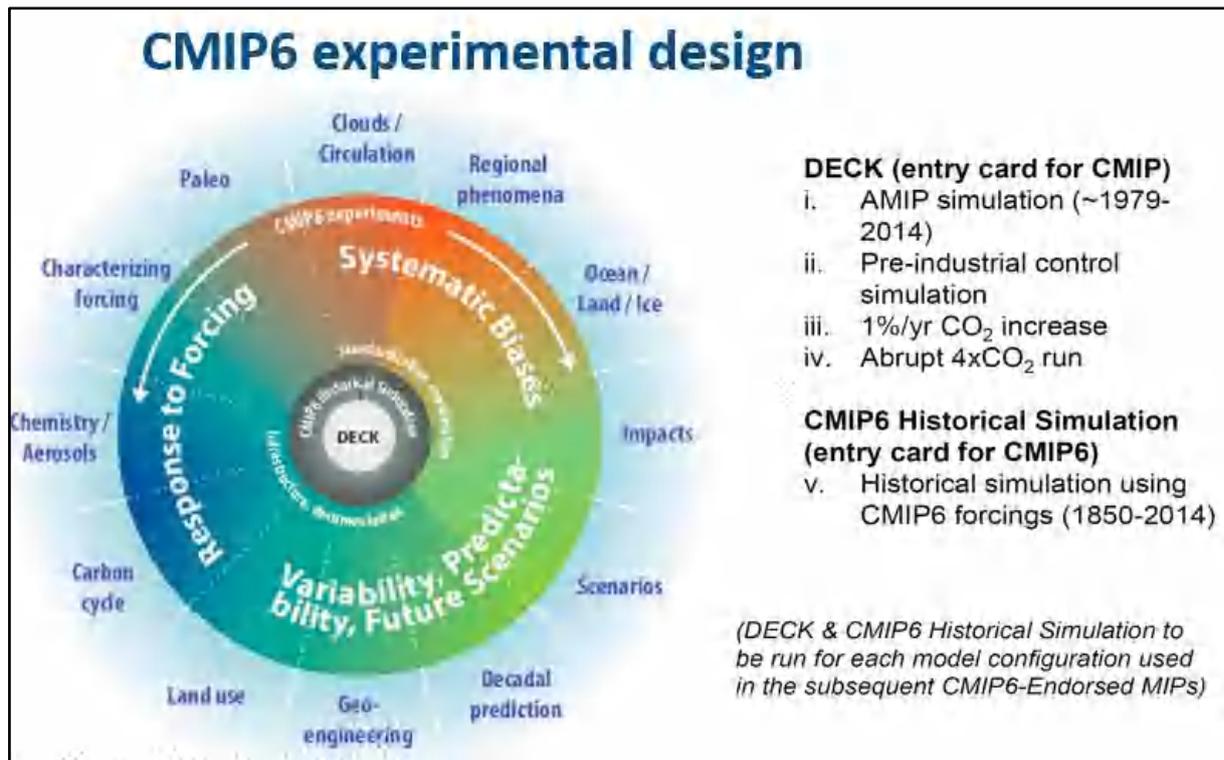


Figure 02 : Scénarios des RCPs (IPCC, 2022)

La modélisation de l'évolution future de la désertification se base également sur des modèles climatiques mondiaux (en anglais : Global Climate Models « GCMs »). En 2021, le programme mondial de recherche sur le climat (en anglais : World Climate Research Programme « WCRP ») a recensé plus de 40 modèles climatiques, utilisés à l'échelle régionale et mondiale, pour générer des projections climatiques futures à une échelle plus détaillée. La version la plus récente de ces modèles est le CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project - Phase 6) (Figure 03).

Le CMIP6 représente la sixième phase du projet CMIP, initié dans les années 1990. Son lancement en 2016 a généré une grande masse de données climatiques, largement utilisées dans des évaluations nationales et internationales. Un exemple notable est le rapport spécial du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (en anglais : Intergovernmental Panel on Climate Change « IPCC »), portant sur les océans et la cryosphère dans le contexte d'un climat en évolution.



**Figure 03 :** Conception expérimentale et organisation de CMIP6 (Eyring *et al.*, 2016)

De plus, le CMIP6 est un projet international de recherche climatique qui vise à améliorer notre compréhension des changements climatiques à l'échelle mondiale. Ce projet est coordonné par l'IPCC et est soutenu par plusieurs agences gouvernementales et organismes de recherche dans le monde entier (Eyring *et al.*, 2016). Il rassemble des modèles climatiques développés par différentes équipes de recherche pour simuler la réponse du climat terrestre aux variations des concentrations de gaz à effet de serre, à l'activité solaire, aux éruptions volcaniques, et à d'autres facteurs.

En ce qui concerne les impacts des changements climatiques futurs, l'analyse des modèles climatiques mondiaux et régionaux indique que, quel que soit le scénario de concentration représentatif (RCPs) considéré, l'évapotranspiration potentielle (PET) augmenterait à l'échelle mondiale. Cette augmentation découlerait de l'élévation des températures de surface et du déficit en vapeur d'eau de surface, entraînant ainsi une diminution de l'humidité des sols (Sherwood et Fu, 2014). Par conséquent, ces changements engendreraient des variations correspondantes dans les indices d'aridité, qui sont étroitement liés à cette variable (Cook *et al.*, 2014 ; Dai, 2011 ; Dominguez *et al.*, 2010 ; Feng et Fu 2013 ; Ficklin *et al.*, 2016 ; Koutroulis, 2019).

En raison de l'augmentation significative de l'évapotranspiration potentielle (PET) et de la diminution des précipitations dans certaines zones subtropicales, il est prévu que l'indice d'aridité

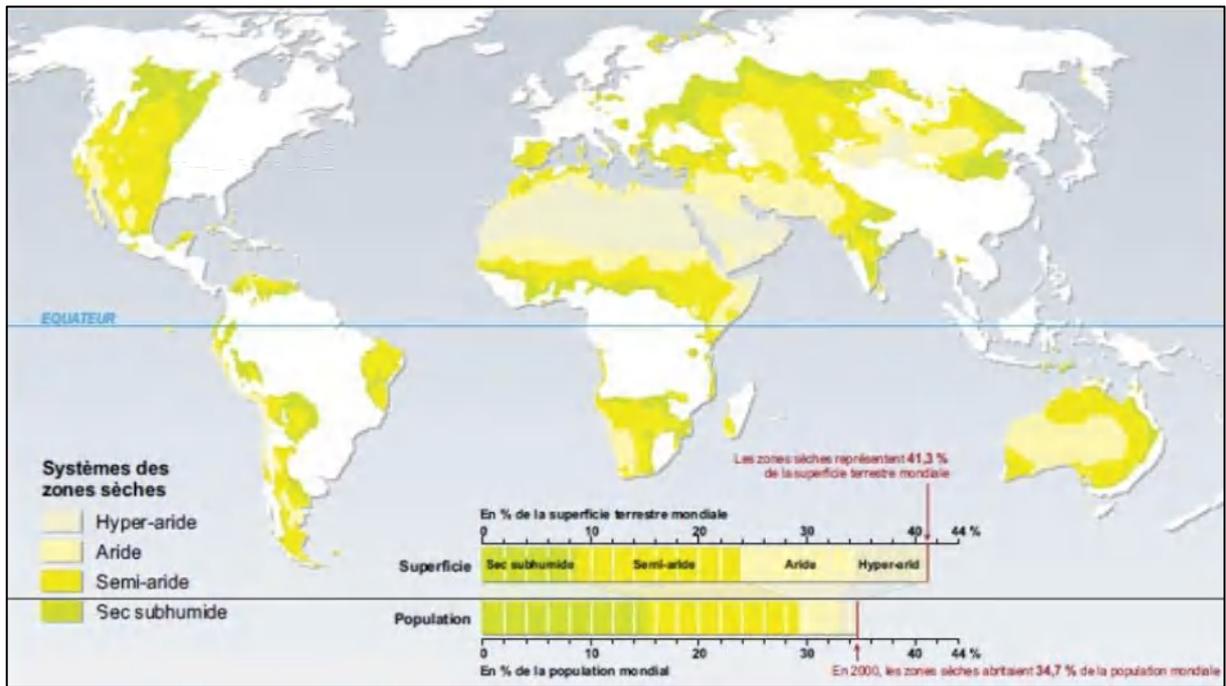
connaîtra une baisse notable dans certaines régions arides (Zhao et Dai, 2015). À l'échelle mondiale, une augmentation de la PET d'environ 10 % est estimée dans les zones hyper-arides (Zeng et Yoon, 2009). Cette augmentation devrait persister en raison des changements climatiques en cours (Fu *et al.*, 2016 ; Lin *et al.*, 2015 ; Scheff et Frierson, 2015).

De plus, les estimations mondiales de l'impact du changement climatique sur la salinisation des sols indiquent une augmentation future de la zone exposée à ce risque (Schofield et Kirkby 2003). Les données relatives aux précipitations, au ruissellement, ainsi qu'à l'absorption du CO<sub>2</sub> résultant de la photosynthèse suggèrent qu'un monde à venir plus chaud pourrait connaître une diminution générale de la sécheresse (Roderick *et al.*, 2015). Dans l'ensemble, cela laisse entendre que même si la sécheresse peut augmenter dans certaines régions, d'autres changements pourraient atténuer ces effets.

Par conséquent, comme mentionné précédemment, la désertification est un phénomène complexe influencé par une multitude de facteurs, tels que les pratiques agricoles non durables, la déforestation, le surpâturage, l'urbanisation rapide, et surtout les changements climatiques. Ces derniers agissent comme un catalyseur, intensifiant ces éléments et provoquant ainsi une accélération du processus de DTDS.

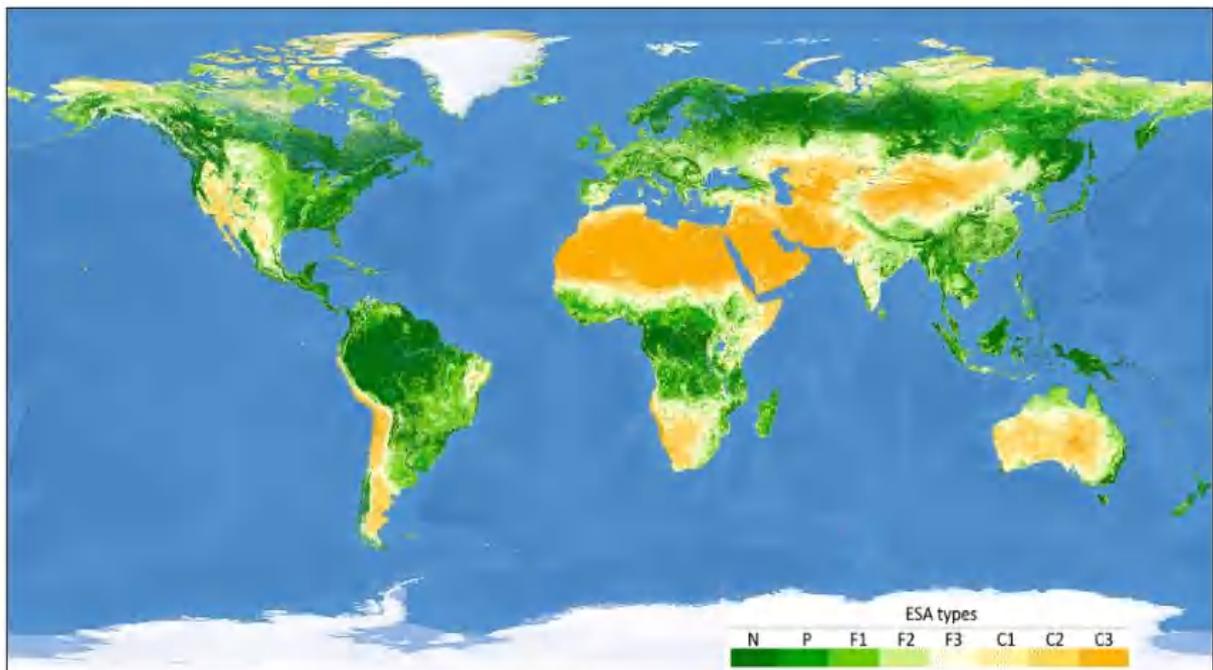
## **6. DTDS dans le monde (Situation et pratiques)**

D'après le programme des nations unies pour l'environnement en 2007, la dégradation des terres est un phénomène mondial, mais elle revêt une gravité particulière dans les régions sèches (Figure 04), qui représentent 40% de la surface terrestre et abritent plus de deux milliards de personnes (soit 35 % de la population mondiale) (MEA, 2005). Ces terres sèches ne sont pas uniformément réparties entre les pays ; environ 72% des régions sèches se trouvent dans les pays en développement, tandis que seulement 28% se trouvent dans les pays industrialisés (Safriel *et al.*, 2005). En conséquence, la grande majorité (90%) des populations vivant dans les régions sèches réside dans les pays en développement. Ces communautés dépendent fortement des ressources et des services fournis par ces écosystèmes spécifiques (UNEP, 2007). Ces régions sont intrinsèquement susceptibles à la désertification en raison de la fragilité de leur sol, de la faible densité de leur végétation et de l'incertitude de leur climat. Les sols dans ces régions sèches se distinguent par une caractéristique cruciale les rendant particulièrement vulnérables à la dégradation et à la désertification : une capacité de récupération limitée après une perturbation, ce qui se traduit par une faible résilience (Middleton et Thomas, 1992).



**Figure 04 :** Localisation des zones sèches au niveau mondial (MEA, 2005)

Selon les estimations de la FAO (Food and Agriculture Organisation) et d'autres organismes, plus de 3,6 milliards d'hectares de terres dans le monde sont touchés par les DTDS. Certaines régions sont plus vulnérables que d'autres (Figure 05) en raison de facteurs tels que le climat, la disponibilité des ressources en eau, les pratiques agricoles non durables et la déforestation.



**Figure 05 :** Zones environnementalement sensibles à la désertification au niveau mondial pour l'année 2015. OÙ : N, Non Affectées ; P, Potentiellement affectées ; F1, F2 et F3, Fragiles (degrés de 1, 2 et 3) ; C1, C2 et C3, Critiques (degrés de 1, 2 et 3) (Ferrara *et al.*, 2020)

Cependant, la convention des nations unies sur la lutte contre la désertification (UNCCD) exclut les régions hyperarides en prétextant une productivité naturellement faible, les considérant donc comme ne pouvant pas être davantage désertifiées. Néanmoins, des cas de désertification sont observés dans certaines régions hyperarides où les populations dépendent des services offerts par ces écosystèmes (Kishk, 1986).

Depuis la tenue de la conférence de l'UNCCD en 1977, diverses initiatives ont été entreprises pour surveiller et évaluer les DTDS à des échelles allant du régional au mondial. Ces initiatives ont généralement été pilotées ou mises en œuvre par des organisations internationales telles que le programme des nations unies pour l'environnement (en anglais : UNEP), le centre international de référence et d'information sur les sols (en anglais : ISRIC), le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (en anglais : IPCC) et l'évaluation des écosystèmes pour le millénaire (en anglais : MEA). Parmi les initiatives majeures visant à évaluer les DTDS, on peut citer la carte mondiale de la désertification à une échelle de 1/25 000 000 (UNCCD, 1997), trois éditions de l'Atlas mondial de la désertification (Thomas, 1997 ; Cherlet *et al.*, 2018), ainsi qu'un rapport de synthèse sur la désertification (MEA, 2005). Ces évaluations offrent des informations précieuses concernant l'ampleur globale du phénomène, examinent les facteurs déterminants et les conséquences, et contribuent ainsi à la sensibilisation.

## **7. DTDS en Algérie**

### **7.1. Situation de DTDS en Algérie**

Actuellement, l'Algérie est confrontée à d'importants défis environnementaux résultant de divers facteurs. Une superficie de plus de 12 millions d'hectares de terres est touchée par l'érosion hydrique, entraînant d'importantes pertes de sol et contribuant à l'envasement des barrages. La zone steppique, qui couvre 20 millions d'hectares, est également menacée par la désertification, entraînant une perte significative des éléments fins du sol, estimée à environ 120 millions de tonnes de sédiments par an. De plus, des glissements de terrain d'environ 16,6 millions de mètres cubes sont observés annuellement (MATE, 2004).

En outre, les incendies de forêt en Algérie, souvent exacerbés par des conditions climatiques arides et des températures élevées, contribuent également de manière significative à la DTDS. Ces incendies dévastateurs détruisent les écosystèmes forestiers, laissant derrière eux des sols épuisés et vulnérables à l'érosion. Dans le même temps, l'urbanisation en Algérie, caractérisée par la

conversion de terres naturelles en zones urbaines, exacerbe également la dégradation des sols. Ce qui entraîne une perte de biodiversité et une DTDS.

D'autre part, les résultats de la carte de sensibilité à la désertification (CNTS, 2004) ont mis en lumière des constats alarmants concernant les DTDS en Algérie. Près de 600 000 hectares de terres dans la zone steppique sont désertifiés de manière irréversible, sans possibilité de récupération biologique. En outre, environ 6 millions d'hectares sont fortement menacés par ce phénomène de désertification. Parallèlement, les pratiques culturales inappropriées en milieu steppique contribuent à la désertification de près de 1,2 million d'hectares de terres cultivables chaque année. (CNTS, 2004).

Dans certaines régions du Sahara et de la zone steppique, des problèmes de remontée de sels ont été constatés en raison de pratiques d'irrigation inappropriées. Parallèlement, la croissance rapide de certaines industries a entraîné le déversement fréquent et non traité de leurs déchets solides, liquides et gazeux, aboutissant à la stérilisation de vastes étendues de terres agricoles qui sont devenues improductives (Moulai, 2008). La détérioration continue des terres agricoles ne fera qu'accroître le risque de pénurie alimentaire et de famine. Cette situation induira également des conflits économiques et sociaux, engendrant un manque de sécurité et de bien-être pour l'ensemble de la société (Benguerai, 2011).

## **7.2. Politiques et programmes de lutte contre DTDS en Algérie**

Depuis son accession à l'indépendance, l'Algérie a déployé d'importants efforts pour mettre en œuvre diverses initiatives visant à contrer la désertification et à protéger ses territoires (Bouzekri, 2015). Initialement, l'accent a été principalement mis sur le reboisement pour restaurer les terres dégradées par les incendies et l'exploitation forestière non régulée. De manière concomitante, des initiatives ont été lancées pour préserver les bassins-versants de l'érosion hydrique et stimuler le développement économique lié à la sylviculture (DGF, 2004).

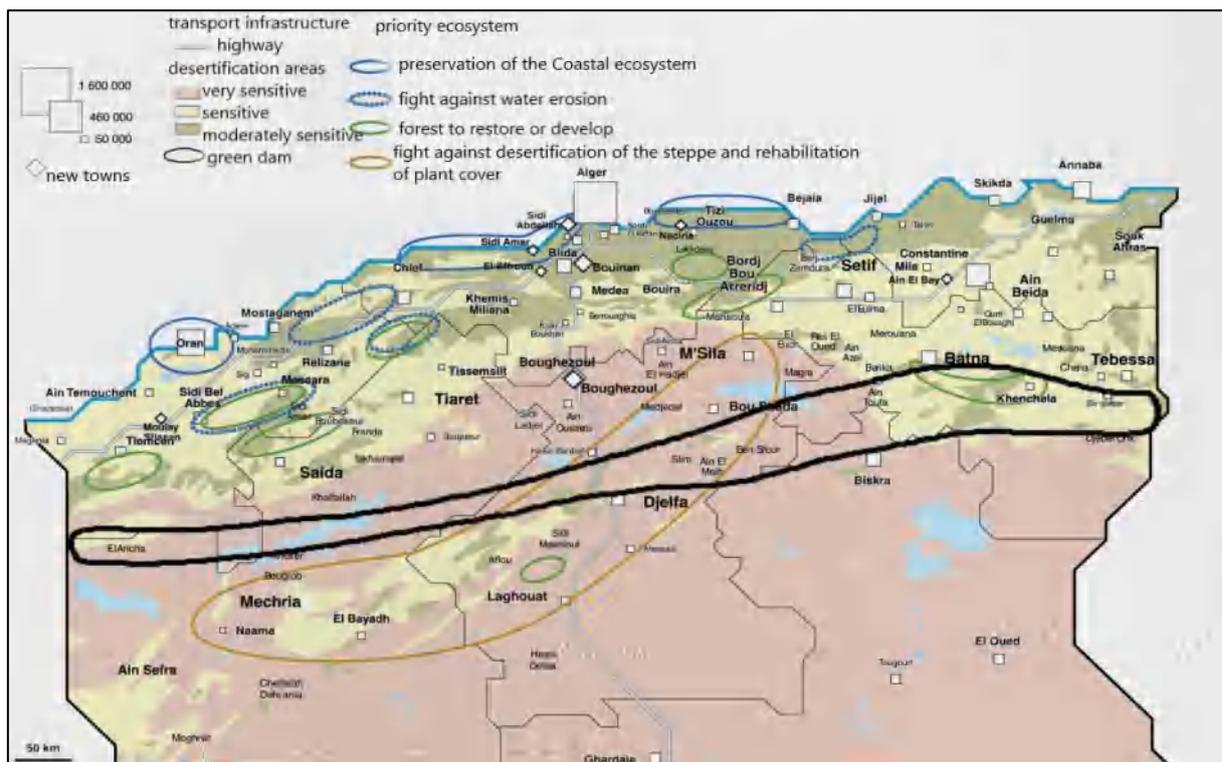
Une mesure phare dans la lutte contre la désertification en Algérie a été la mise en place du projet du "barrage vert", visant à ériger une barrière d'arbres pour contenir l'expansion du désert. Ce projet a impliqué un reboisement méthodique d'Est en Ouest, mettant particulièrement l'accent sur la monoculture du pin d'Alep, dans une zone écologiquement vulnérable où les précipitations se situaient entre 300 mm et 200 mm. Par ailleurs, le Haut-Commissariat au Développement de la Steppe, responsable des programmes de développement dans cet écosystème, a mis en œuvre diverses actions (Tableau 01), la plupart étant financées par le Fonds de Lutte Contre la Désertification et le Développement du Pastoralisme et de la Steppe.

**Tableau 01** : Principaux programmes de lutte contre la désertification mis en œuvre dans les steppes algériennes (Sahnouni, 2020)

<b>Intitulé</b>	<b>Périodes</b>	<b>Types d'actions en rapport avec le reboisement et/ou la désertification</b>
Chantiers populaires de reboisement (CPR)	1962-1967	Reboisement dans les régions à fort taux de chômage.
Plan triennal	1967-1969	Relance de l'activité forestière.
Premier plan quadriennal	1970-1973	Reboisement productif et barrage vert Contre la désertification.
Deuxième plan quadriennal	1974-1977	Renforcement du plan précédent.
Premier plan quinquennal	1980-1984	Reboisement et aménagement de bassins versants.
Deuxième plan quinquennal	1985-1989	Reboisement avec une plus grande diversification des espèces.
Le barrage vert	1971-1990	Reboisement systématique puis aménagement intégré agro-sylvo-pastoral des territoires y compris entre les isohyètes 200 et 300 mm.
Le plan national de lutte contre la désertification	Dès 1987	Intensification et extension du barrage vert avec une approche agro-sylvo-pastorale.
Haut-commissariat au développement de la steppe	1987	Développement intégré de la steppe.
Programme des grands travaux	Dès 1994	Développement et entretien du patrimoine forestier, consolidation et extension du barrage vert, protection des bassins versants.
Plan National de Développement Agricole (PNDA)	Dès 2000	Valorisation du produit forestier désenclavement des populations et lutte contre le chômage.
Plan National de Développement Agricole et Rural (PNDAR)	2002	09 sous-programmes dont 5 ont trait à la préservation et le développement des espaces naturels ainsi que la création d'emploi en particulier par le reboisement, la mise en valeur des terres, la protection des zones steppiques et de l'espace oasien.
Plan d'Action National de Lutte Contre la Désertification (PANLCD).	2003	
La Politique du Renouveau Agricole et Rural (PRAR)	2008	Démarche participative en vue de développer l'agriculture et l'élevage, stabiliser et repeupler le milieu naturel.
Projets de Proximité de Développement Rural Intégré (PPDRI)	2009-2012	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Constitue le principal outil dans la lutte contre le phénomène de la désertification.</li> <li>- Approche novatrice de développement Rural par les PPDRI.</li> <li>- Lancement de 1886 Projets de Proximité de Développement Rural par le MADR.</li> </ul>

Récemment, l'effort de relance du projet du "barrage vert", dirigé par la Direction Générale des Forêts (DGF), s'inscrit dans la stratégie de lutte contre la désertification, nouvellement renforcée par la contribution de la recherche scientifique et des compétences universitaires. Cela s'est concrétisé avec la création, en 2020, du Comité Scientifique et Technique de la Lutte contre la Désertification et de la Restauration du Barrage Vert (LCDBV). Ce comité scientifique représente l'organe national de coordination responsable de la conception, de la mise en œuvre et de l'évaluation du programme d'action visant à lutter contre la désertification et à relancer le projet du barrage vert (Voir Annexe).

Dans la même veine, le schéma national d'aménagement du territoire (SNAT) de 2025 a réalisé d'importants progrès dans l'atténuation des effets de la désertification, la promotion du développement durable et la préservation de l'environnement. Ces réalisations incluent la mise en place de coopératives pastorales, l'adoption de la loi pastorale, la participation active de la communauté locale, ainsi que le développement d'infrastructures et d'une expansion urbaine flexible (Carte 01).



Carte 01 : Programme algérien de lutte contre la désertification (SNAT, 2025)

## **8. Méthodes et modèles appliqués à l'évaluation et au suivi de la désertification**

De nombreuses recherches se sont focalisées sur l'évaluation et la surveillance de la dégradation des terres et de la désertification en utilisant diverses méthodes et modèles analytiques. Ces approches englobent des méthodes multidisciplinaires, allant des techniques de télédétection, des systèmes d'information géographique (SIG) et de cartographie, jusqu'aux méthodes géospatiales et aux modèles de simulation informatique.

L'objectif de ces études est de fournir des informations cruciales et des résultats fiables afin d'orienter les politiques de gestion durable des terres et des ressources naturelles. Elles cherchent également à prévenir et à atténuer les effets néfastes de DTDS, tout en promouvant la conservation des écosystèmes et de la biodiversité.

### **a. Modèle d'analyse de chemin**

Le "Modèle d'analyse de chemin" (en anglais : Path Analysis Model) représente une méthodologie d'analyse statistique et de modélisation fréquemment employée dans divers domaines de recherche et d'étude, incluant les sciences sociales, la psychologie, la gestion, la santé publique, et la recherche opérationnelle. Il offre la possibilité d'explorer les relations causales entre différentes variables et de déterminer l'influence, à la fois directe et indirecte, de ces variables sur un résultat spécifique.

Ce modèle est souvent représenté graphiquement sous la forme d'un diagramme, où les variables sont représentées par des nœuds (ou des blocs) et les flèches indiquent les relations entre ces variables. Il permet d'identifier les relations de cause à effet entre les facteurs étudiés et d'évaluer leur importance relative dans la réalisation d'un objectif ou l'explication d'un phénomène donné.

Dans les études de DTDS, l'application du modèle d'analyse de chemin permet une meilleure compréhension des facteurs contribuant à ces phénomènes, de leurs interactions mutuelles, et de leurs impacts sur l'environnement et les écosystèmes (Figure 06). Grâce à cette méthodologie, les chercheurs peuvent identifier les principaux moteurs de la dégradation des terres, examiner les relations de causalité, et concevoir des stratégies de prévention ou de restauration des terres dégradées (Feng *et al.*, 2021).

Dans l'ensemble, le modèle d'analyse de chemin se révèle être un outil puissant pour analyser les relations de cause à effet entre les variables, offrant des perspectives précieuses pour la compréhension des phénomènes complexes tels que les DTDS.

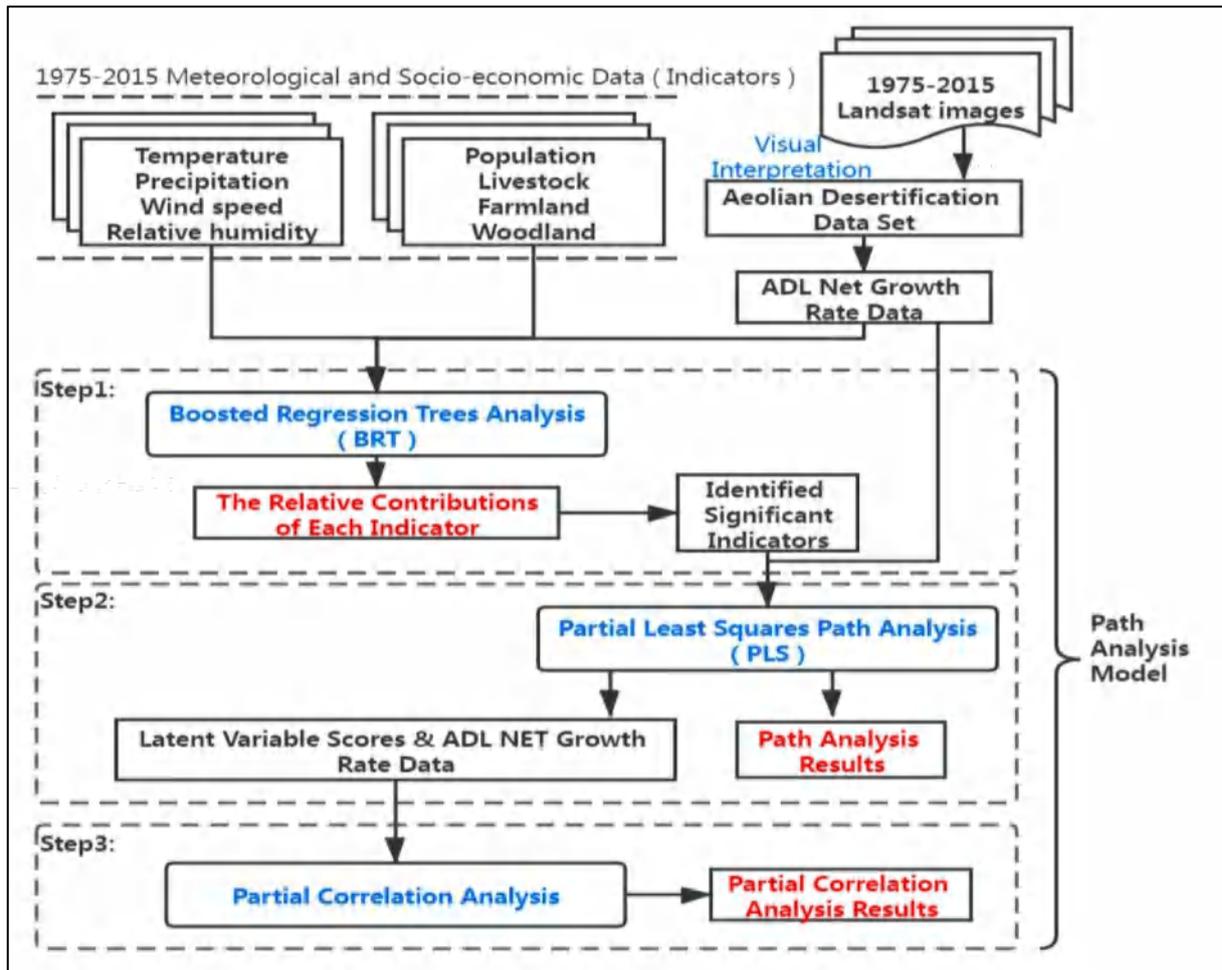


Figure 06 : Modèle d'analyse de chemin (Feng *et al.*, 2021)

### b. Modèle de processus de hiérarchie analytique floue (FAHP)

Le processus de hiérarchie analytique floue (en anglais : **F**uzzy **A**nalytic **H**ierarchy **P**rocess) est une extension du processus de hiérarchie analytique (AHP), une technique de prise de décision populaire utilisée pour résoudre des problèmes complexes en les structurant de manière hiérarchique. L'AHP a été développé par "Thomas L. Saaty" dans les années 1970 et est largement utilisé dans divers domaines pour prendre des décisions basées sur de multiples critères.

L'FAHP intègre le concept de logique floue dans l'AHP pour faire face à l'incertitude et à l'imprécision dans la prise de décision. La logique floue permet la représentation d'informations vagues et incertaines en attribuant des degrés d'appartenance à différentes catégories, plutôt que des valeurs binaires strictes (vrai/faux, oui/non, etc.). Dans une AHP traditionnelle, les décideurs comparent les critères et les alternatives en utilisant des comparaisons par paires pour dériver des poids relatifs. Avec FAHP, au lieu de fournir des valeurs nettes (exactes), les décideurs utilisent des termes linguistiques (tels que très faible, faible, moyen, élevé, très élevé) ou des valeurs

numériques comprises entre 0 et 1 pour exprimer le degré de préférence ou d'importance. FAHP peut être appliqué dans divers domaines, tels que l'ingénierie, la gestion de projet, les études environnementales et les sciences sociales, où la prise de décision implique l'incertitude, l'ambiguïté et l'imprécision. La combinaison de la méthode FAHP avec l'approche MEDALUS et SIG est très utile pour étudier la dégradation des terres et la désertification. Cette combinaison met en évidence la complexité de ce processus et permet une analyse multicritère des stratégies d'aménagement du territoire (Figure 07).

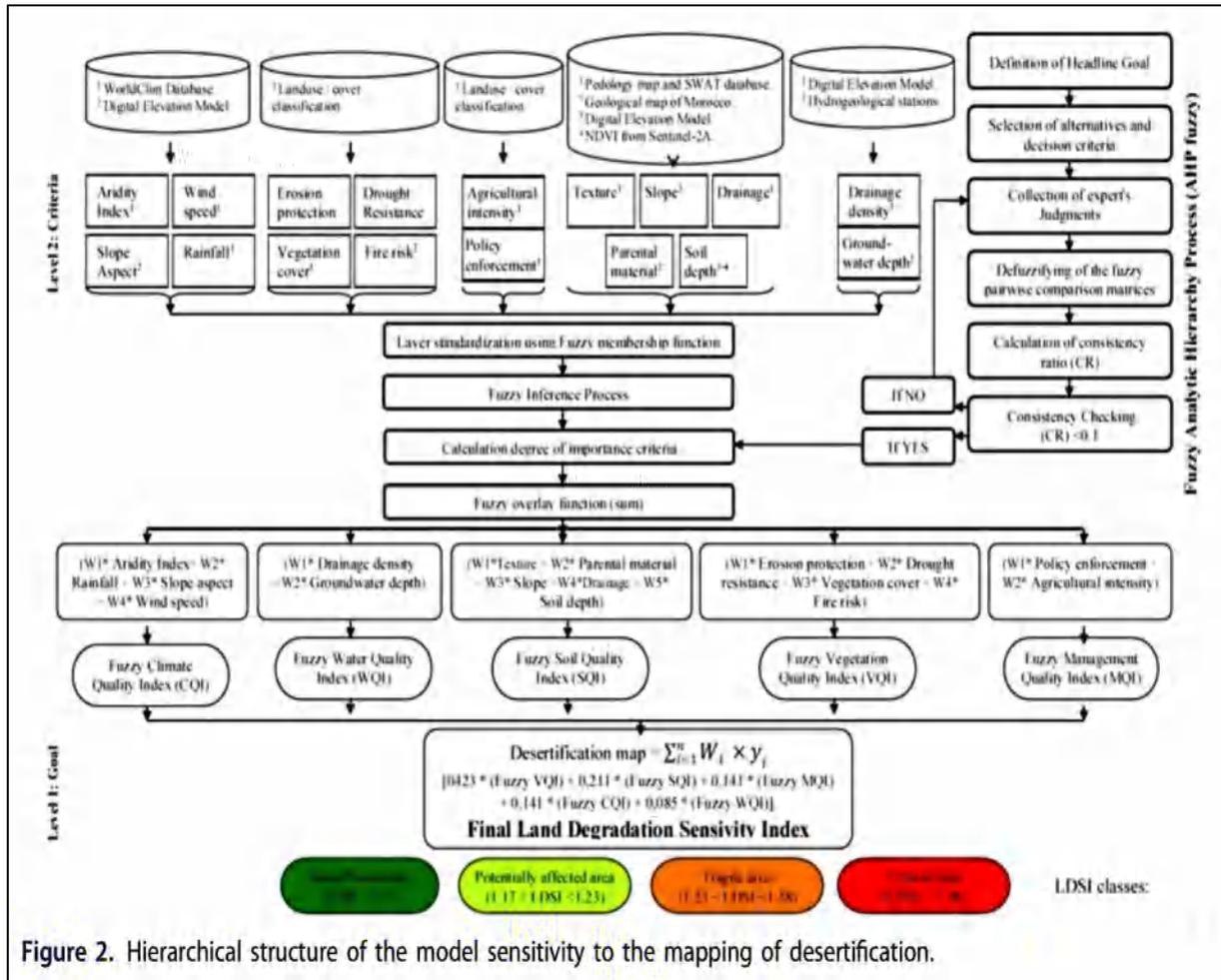


Figure 07 : Modèle FAHP-MEDALUS (Kacem *et al.*, 2021)

### c. Algorithme de l'arbre statistique rapide, impartial et efficace (QUEST)

L'algorithme QUEST (en anglais : Quick, Unbiased, Efficient Statistical Tree) est une méthode d'apprentissage automatique proposée par Loh et Shih en 1997, utilisée pour la construction d'arbres de décision dans le domaine de l'exploration de données et de la classification supervisée. Il s'agit d'une approche non paramétrique, basée sur une stratégie de partitionnement de l'espace de données en sous-régions homogènes.

L'objectif principal de l'algorithme QUEST est de créer un arbre de décision efficace en termes de profondeur et de complexité, tout en évitant les biais et en maintenant une précision raisonnable dans la classification des données (Figure 08). L'avantage de l'algorithme QUEST réside dans son efficacité et sa capacité à construire des arbres de décision relativement petits tout en étant moins susceptibles de produire des biais que certaines autres approches.

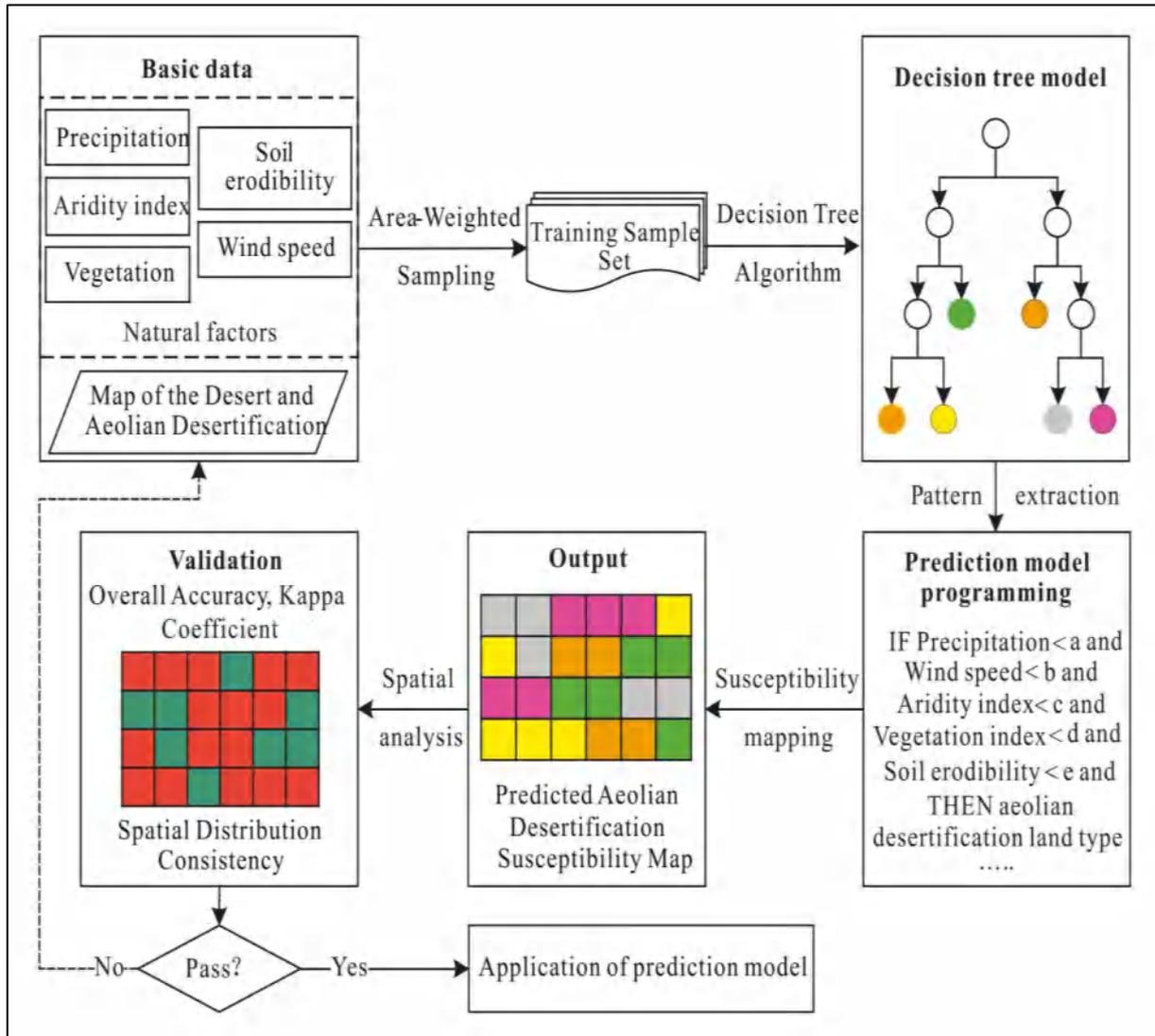


Figure 08 : Modèle de l'algorithme QUEST (Yaojie *et al.*, 2019)

#### d. Méthode sociologique

La méthode sociologique a été utilisée pour évaluer l'impact de la désertification dans diverses régions du monde. Par exemple, en Islande, la première étude nationale sur la dégradation des sols a été complétée par des sondages d'opinion. Les résultats des enquêtes ont révélé que la plupart des Islandais considéraient l'érosion des sols comme un problème environnemental sérieux. Ces constatations ont servi de fondement à la mise en place d'un nouveau programme de conservation

des sols. La méthode sociologique a été appliquée avec succès aux processus de désertification dans le domaine de la recherche en sciences sociales et environnementales (Figure 09). Cette approche vise à comprendre les aspects sociaux, économiques et culturels qui contribuent à la désertification, ainsi que les impacts de ce phénomène sur les communautés locales et les sociétés à l'aide de la méthode d'enquête sociologique (Sanzheev *et al.*, 2020).

L'approche sociologique de la désertification est essentielle pour une compréhension holistique de ce phénomène complexe, car elle intègre les aspects humains et sociaux aux côtés des facteurs environnementaux. Elle permet également de développer des politiques et des mesures de lutte contre la désertification qui sont plus en phase avec les réalités des communautés locales, contribuant ainsi à des approches plus durables et efficaces pour la gestion des terres touchées par la désertification.

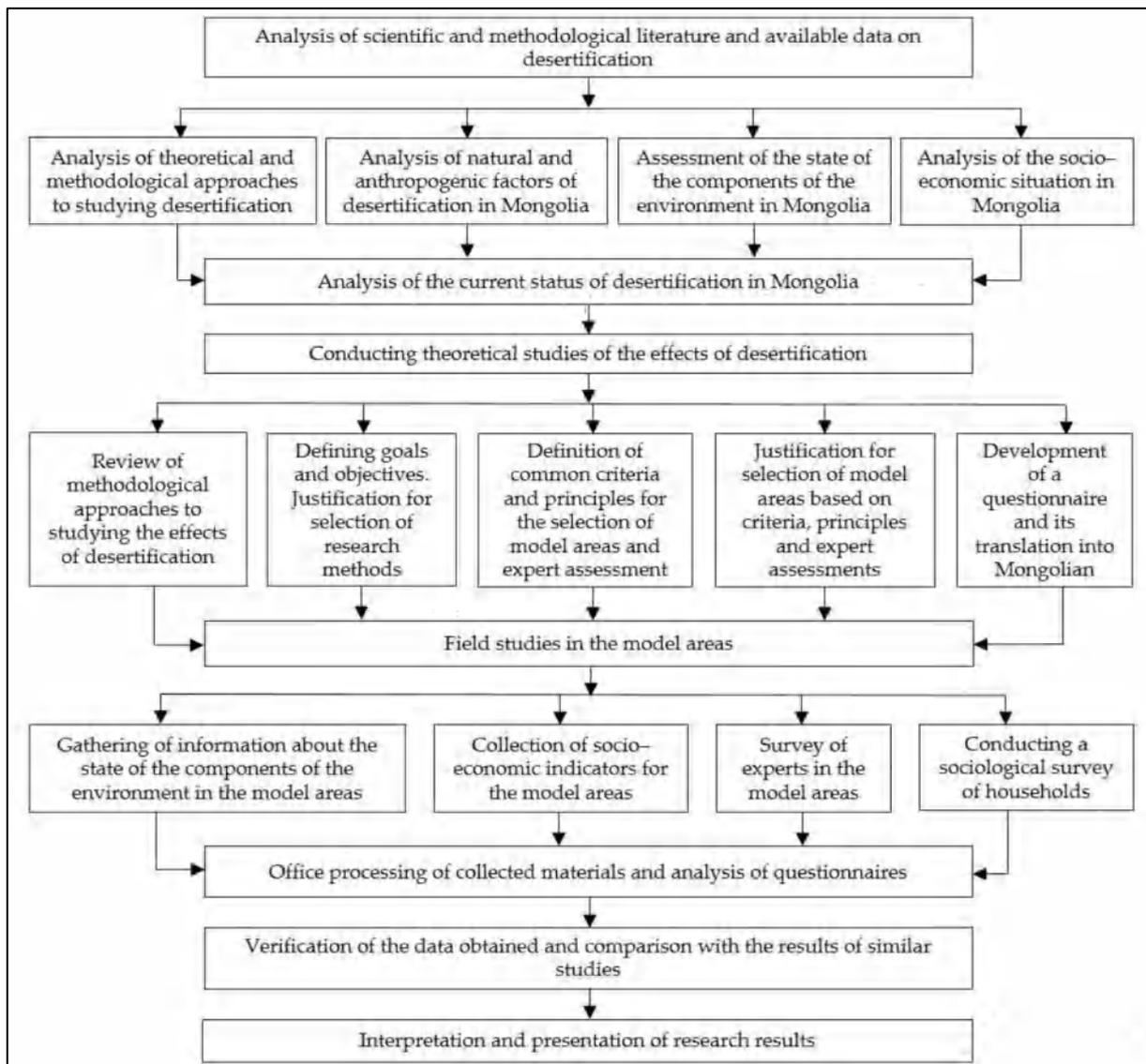


Figure 09 : Méthode sociologique (Sanzheev *et al.*, 2020)

**e. Modèle de changement du centre de gravité (CGC)**

Le modèle de changement du centre de gravité (en anglais : Centre Gravity Change « CGC ») est un outil utilisé pour évaluer l'ampleur et la direction du changement dans la répartition spatiale d'une variable au fil du temps.

Le concept du CGC repose sur l'idée que si une variable (dans ce cas, des indicateurs liés à la dégradation des terres et à la désertification) se déplace vers une certaine direction sur une période donnée, alors cela peut indiquer un changement significatif dans cette variable. Dans le contexte de l'évaluation de la désertification, les indicateurs utilisés peuvent inclure des données sur la végétation, la qualité des sols, les précipitations, les températures, l'utilisation des terres, etc.

Le modèle CGC est appliqué dans le cadre de la théorie du centre de gravité de la répartition de la population afin de décrire la localisation spatiale et l'évolution du centre de gravité de la population (Na *et al.*, 2019). Ces dernières années, le concept du centre de gravité de la population en géographie de la population a été appliqué pour étudier le déplacement du centre de gravité des terres désertifiées soumises à l'érosion éolienne, ainsi que les variations spatio-temporelles de la désertification (Sun *et al.*, 2006).

**f. Algorithme Auto-encodeur variationnel (VAE)**

L'algorithme VAE (en anglais : Variational Autoencoder) est un type de modèle d'intelligence artificielle (IA) qui relève de la catégorie des modèles génératifs. Les VAE sont principalement utilisés dans les tâches d'apprentissage non supervisé, et ils sont particulièrement bien adaptés aux tâches impliquant la génération de données, la compression de données et l'apprentissage de représentation.

Le but principal d'un VAE est d'apprendre une représentation compacte et significative (espace latent) des données d'entrée, telles que des images, du texte ou d'autres types de données. Ceci est réalisé grâce à un processus en deux étapes : l'encodeur et le décodeur (Figure 10).

Il est à noter que l'algorithme VAE prend pour base le formalisme de l'apprentissage profond (Deep Learning), lui conférant ainsi l'avantage de proposer une approximation non linéaire plus précise. Ce qui en fait un outil approprié pour résoudre des problèmes complexes de reconnaissance, tels que la distinction entre les cas de désertification (Zerrouki *et al.*, 2021).

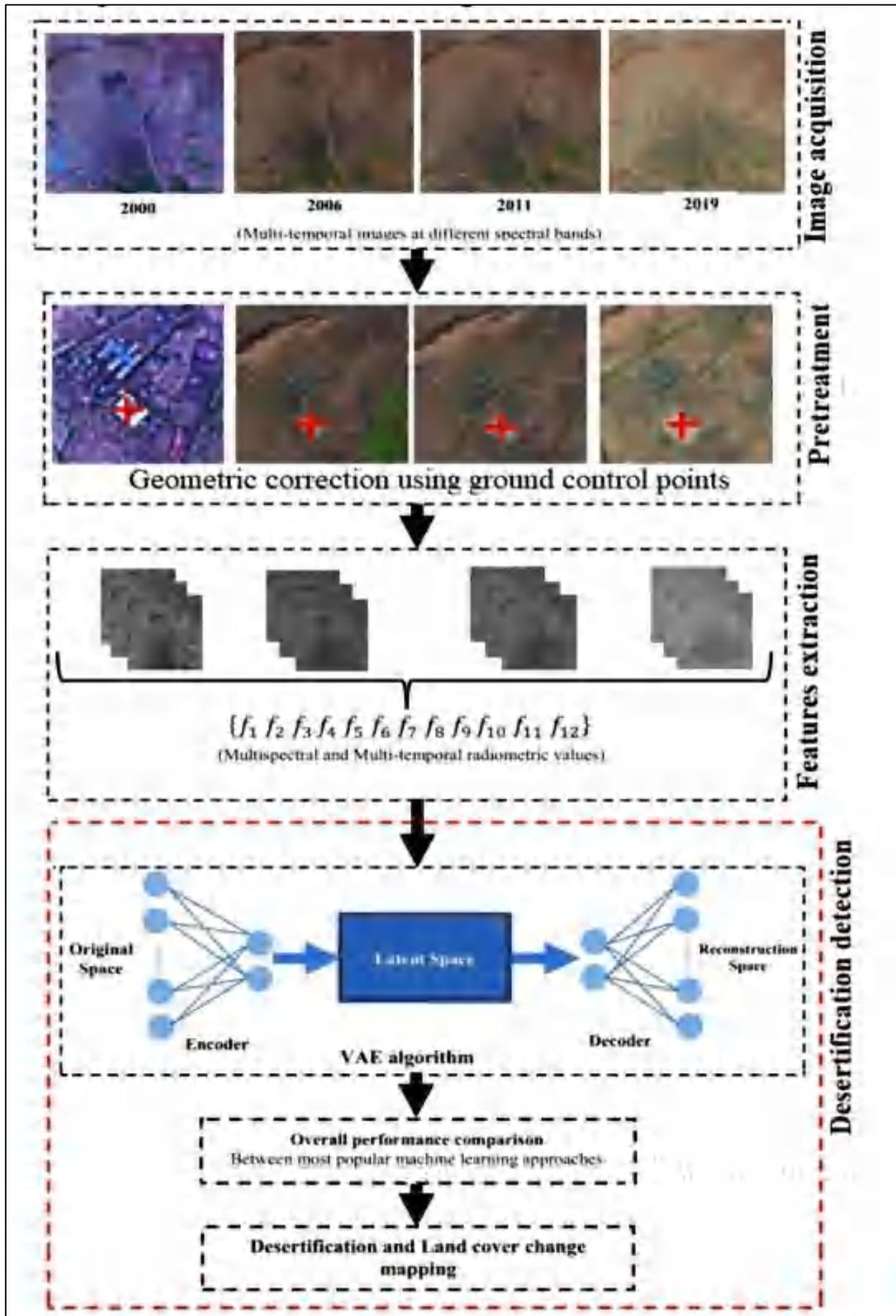
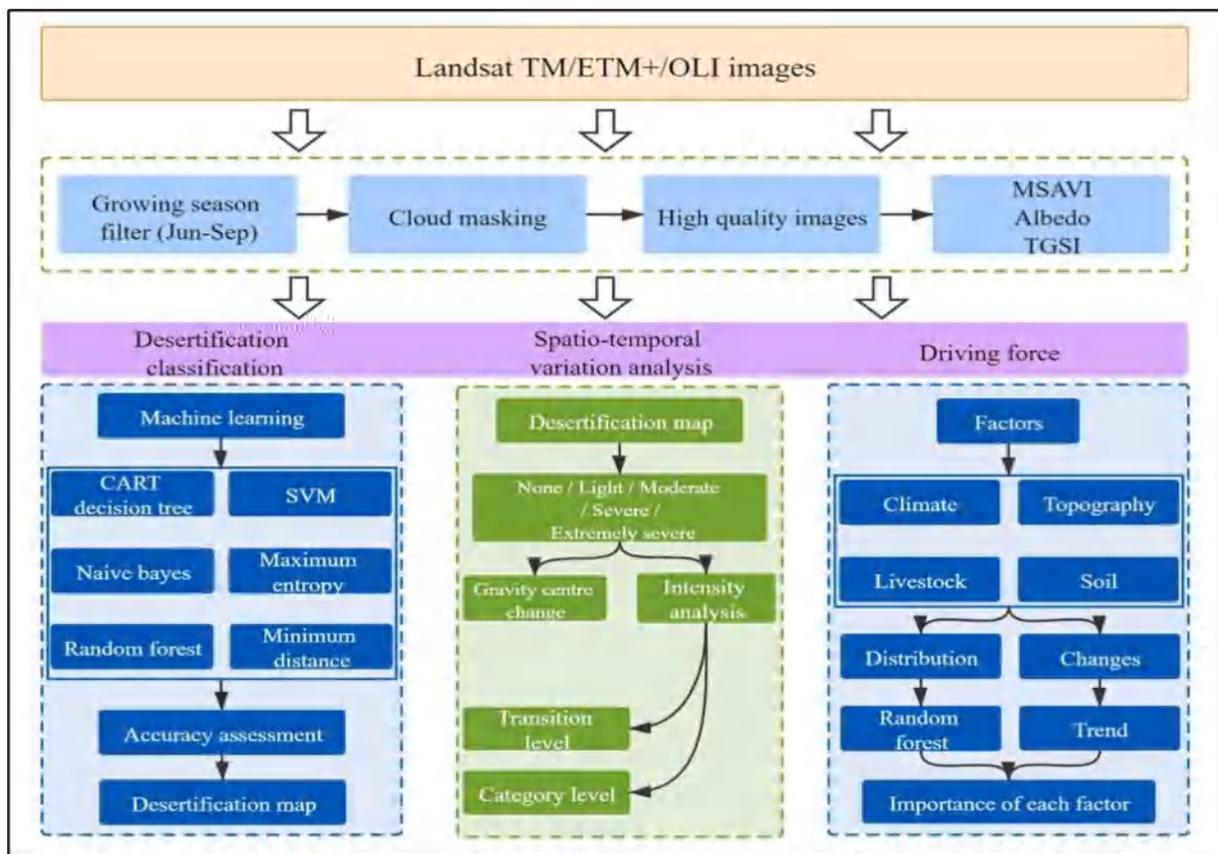


Figure 10 : Modèle de l'algorithme Auto-encodeur variationnel (Zerrouki *et al.*, 2021)

**g. Classification par l'apprentissage automatique (Machine Learning)**

La classification par l'apprentissage automatique est une méthode d'analyse de données qui consiste à entraîner un modèle informatique pour catégoriser les données en différentes classes prédéfinies. Cette méthode est largement utilisée dans divers domaines tels que la reconnaissance vocale, la vision par ordinateur, la bio-informatique et la médecine, où la catégorisation précise des données est essentielle pour la prise de décision et l'automatisation des tâches. Les méthodes couramment utilisées pour la classification comprennent les machines à vecteurs de support, les réseaux de neurones profonds, les forêts aléatoires, les k-plus proches voisins et bien d'autres. Pour évaluer de manière exhaustive les performances de chaque méthode d'apprentissage automatique dans la surveillance de la désertification, on utilise la matrice de confusion et le coefficient kappa comme méthodes pour évaluer la précision du modèle (Figure 11).



**Figure 11 :** Méthode de classification par l'apprentissage automatique (Meng *et al.*, 2021)

**h. Analyse géospatiale par Google Earth Engine (GEE)**

Google Earth Engine (GEE) est une plateforme d'analyse géospatiale basée sur le cloud qui permet de surveiller les DTDS. Cette plateforme fournit des informations précieuses sur l'évolution des processus de désertification à différentes échelles spatiales et temporelles. GEE peut être utilisé

pour l'analyse d'images satellite et la cartographie des changements dans les zones touchées par la désertification, ce qui permet une surveillance proactive de la désertification et la mise en place de mesures d'atténuation ciblées (Figure 12 ; Figure13). En combinant les technologies de pointe avec des données satellitaires à haute résolution, Google Earth Engine (GEE) ouvre de nouvelles opportunités pour une gestion durable des terres dans les zones sujettes à la DTDS.

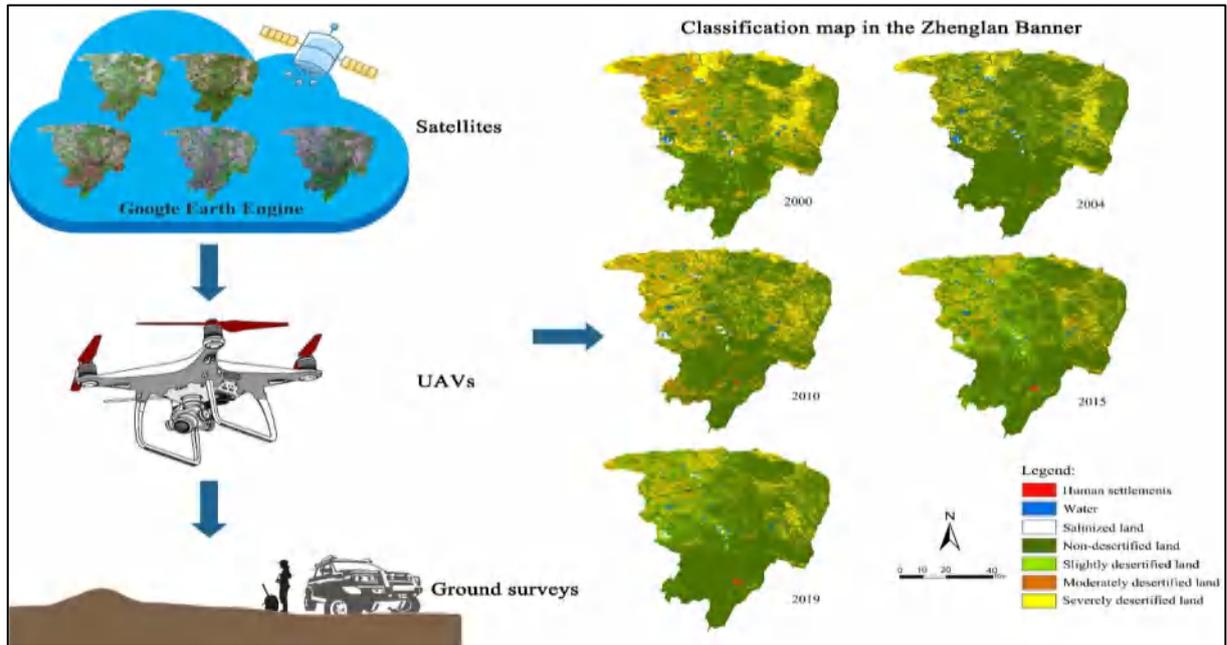


Figure 12 : Evaluation de la désertification à l'aide de Google Earth Engine (Chen *et al.*, 2021)

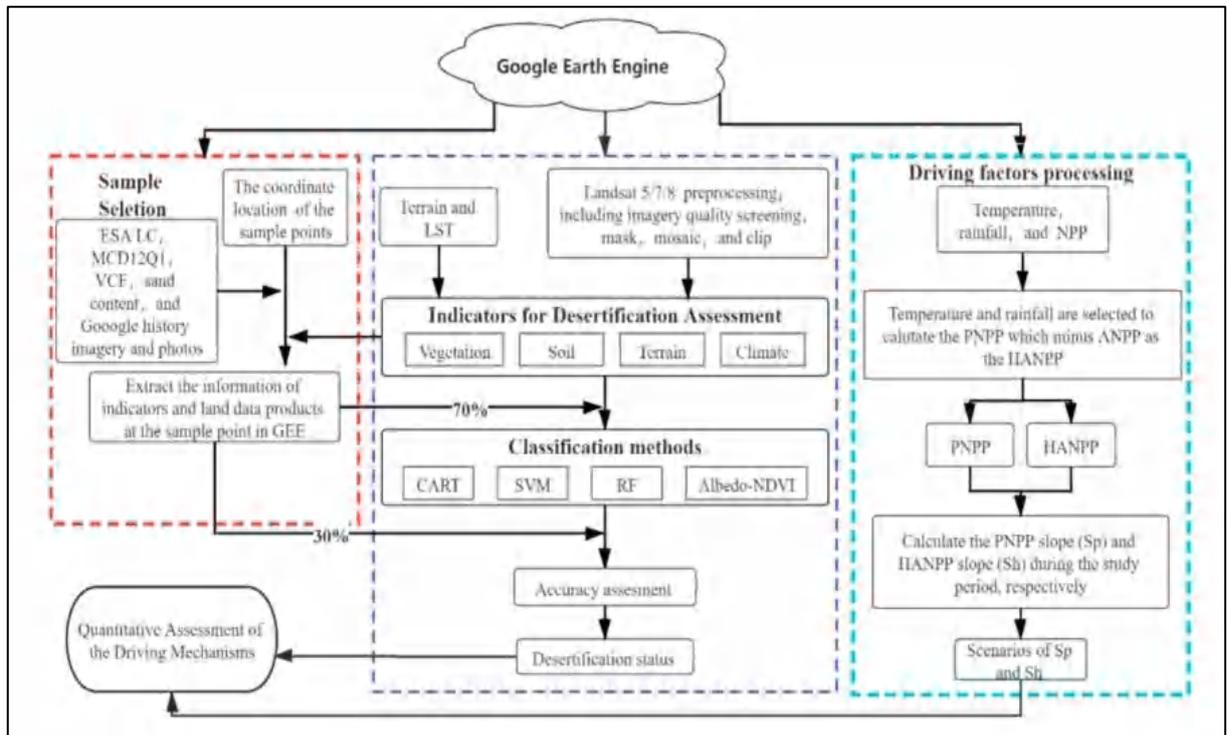
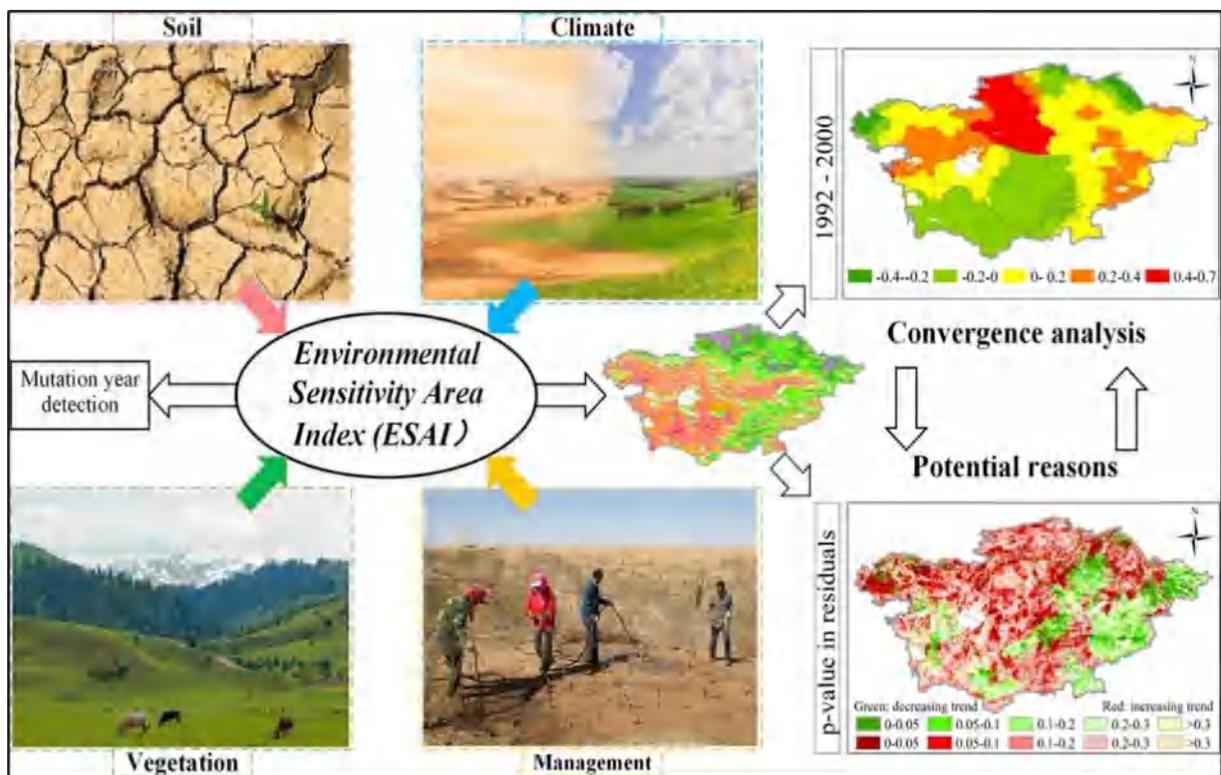


Figure 13 : Analyse géospatiale à l'aide de Google Earth Engine (Fan *et al.*, 2020)

**i. Approche MEDALUS-ESA**

MEDALUS (en anglais : MEditerranean Desertification And Land USE) est un programme de recherche et d'action collaboratif qui a été lancé dans les années 1990, pour étudier et lutter contre la désertification dans les régions méditerranéennes. Le modèle MEDALUS original, actuellement appelé zones environnementalement sensibles (ESA), a été développé par Kosmas *et al.* (1999). Il est largement utilisé pour quantifier les zones environnementalement sensibles à la désertification, car il produit des résultats précis et fiables.

MEDALUS-ESA est essentiellement basé sur la combinaison de plusieurs paramètres biophysiques et anthropiques pour créer quatre indicateurs de qualité : l'indicateur de qualité du sol, l'indicateur de qualité de climat, l'indicateur de qualité de la végétation et l'indicateur de qualité de la gestion humaine des territoires (Figure 14). L'indicateur de qualité du sol englobe les paramètres suivants : texture du sol, drainage du sol, matériau parental du sol, fragments de roche et profondeur du sol. L'indicateur de qualité de climat inclut entre autres l'orientation de pentes, le vent, les précipitations et la température. L'indicateur de qualité de la végétation contient entre autres les risques d'incendie, le couvert végétal, la résistance à la sécheresse et la protection contre l'érosion. L'indicateur de qualité de la gestion humaine des territoires inclut entre autres l'intensité d'utilisation des terres, les politiques de gestion et l'intensité du pâturage (Figure 15).



**Figure 14 :** Modèle MEDALUS-ESA (Jiang *et al.*, 2019)

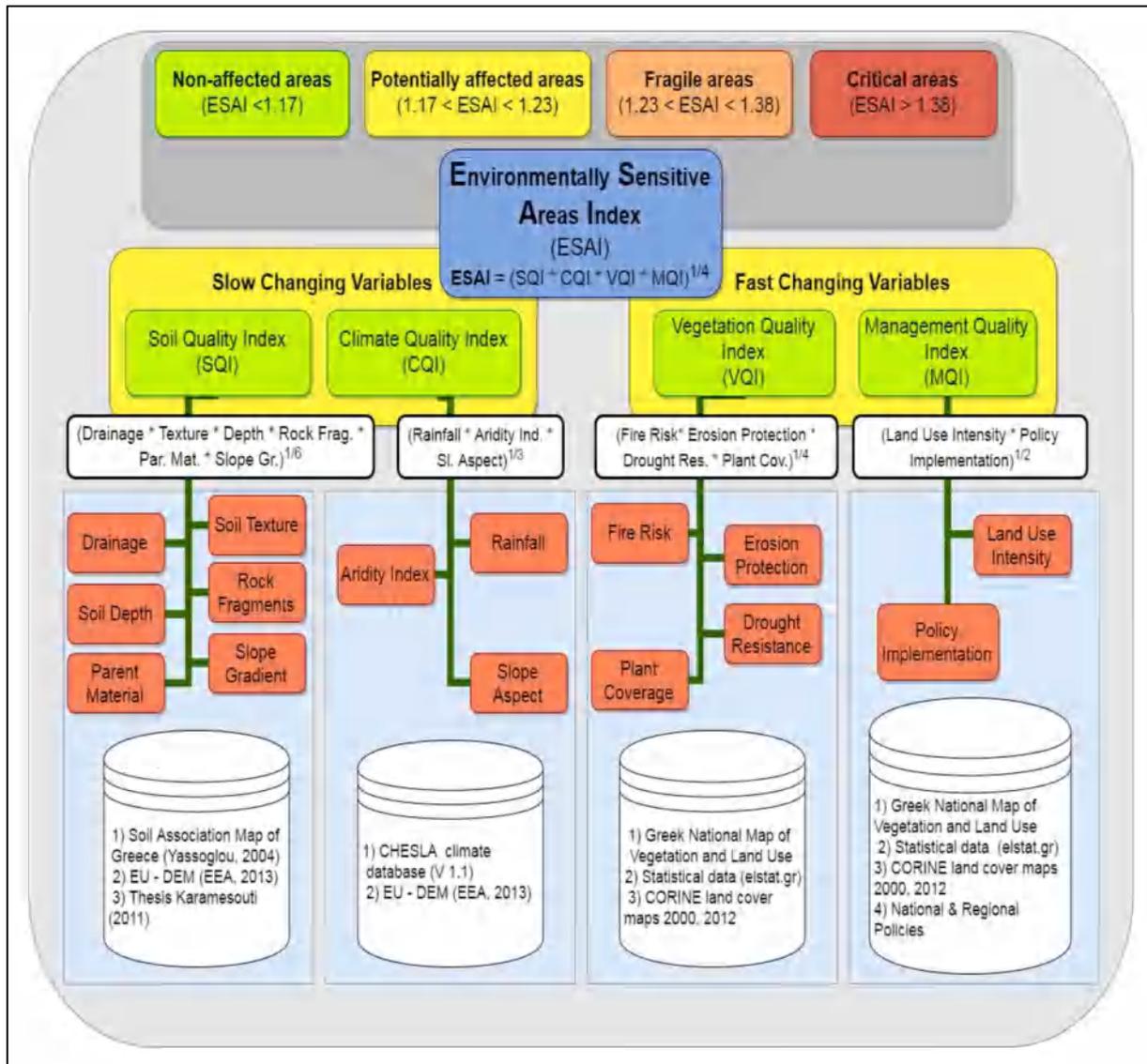


Figure 15 : Approche méthodologique ESAI (Karamesouti *et al.*, 2018)

## Conclusion

Ce chapitre aborde les préoccupations majeures liées aux phénomènes de DTDS en Algérie. Depuis l'indépendance, les institutions algériennes se sont engagées dans divers projets de lutte contre la désertification, tels que la restauration du barrage vert et la formulation de plans d'action nationaux. Cette démarche requiert l'utilisation de méthodes variées et intégrées. Les indicateurs biophysiques, incluant la couverture végétale, la qualité des sols et les changements dans l'utilisation des terres, jouent un rôle crucial dans l'évaluation de l'évolution de la DTDS. Les techniques de télédétection, en particulier l'exploitation des images satellites, permettent de surveiller ces indicateurs à grande échelle et sur une longue période. Parallèlement, les indicateurs

sociaux et économiques, tels que la croissance démographique, les mouvements migratoires, les pratiques agricoles, le pastoralisme et la gestion des terres, sont indispensables pour comprendre les origines et les impacts de la désertification du point de vue humain. En résumé, ce chapitre a traité d'une manière exhaustive les aspects épistémologiques et bibliographiques de la désertification, fournissant ainsi une base d'informations pour une compréhension approfondie du sujet de recherche.

---

*Chapitre II*

*Matériels et méthodes*

---

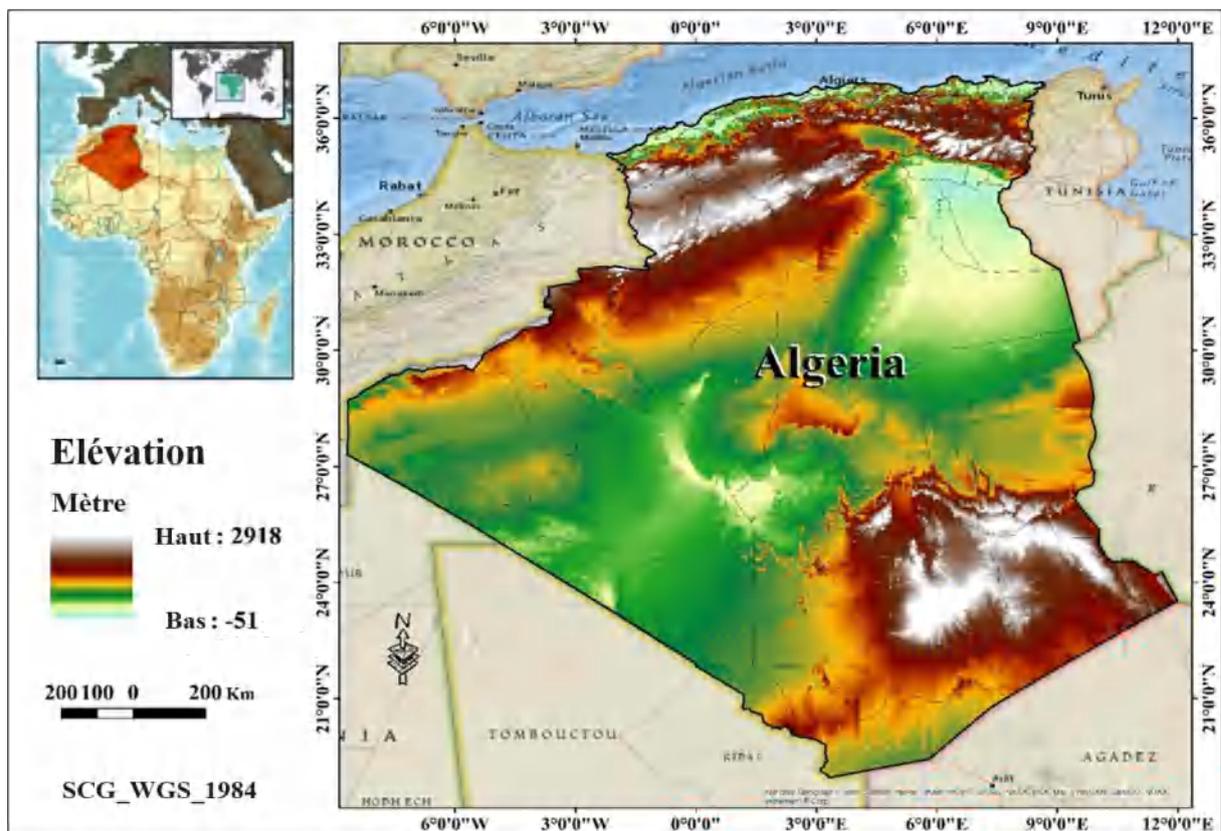
## Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons la zone d'étude, ainsi que la méthodologie adoptée pour la réalisation de notre recherche. L'Algérie constitue le cadre spatial de notre étude, et nous mettrons en lumière ses caractéristiques géographiques, géologiques, et climatiques les plus pertinentes. Le cœur de notre démarche scientifique réside dans la méthodologie appliquée, englobant les procédures, les outils statistiques, ainsi que les techniques analytiques utilisées pour traiter les données et atteindre les objectifs de notre recherche.

### 1. Présentation des caractéristiques de l'Algérie

#### 1.1. Localisation

L'Algérie est le plus grand pays d'Afrique, couvrant une superficie de 2 381 741 km<sup>2</sup> et bénéficiant d'un littoral étendu sur plus de 1200 kilomètres. Géographiquement, elle se situe entre les latitudes 18°58' à 37°6' Nord et les longitudes 8°40' Ouest à 12° Est (Carte 02). Administrativement, elle est subdivisée en 58 wilayas.



Carte 02 : Localisation et élévation de l'Algérie

L'Algérie occupe une position géographique cruciale, en se situant à la jonction de l'Afrique du Nord et de l'Afrique subsaharienne. Elle partage une frontière terrestre de plus de 6 385 km avec

la Tunisie au Nord-Est, la Libye à l'Est, le Niger au Sud-Est, le Mali au Sud-Ouest, la Mauritanie et le Sahara occidental à l'Ouest, et enfin le Maroc au Nord-Ouest. Cette localisation géographique stratégique en tant que carrefour entre l'Afrique, le Moyen-Orient et l'Europe exerce une influence significative sur son histoire, sa culture et son économie.

De plus, en raison de sa situation géopolitique importante en Afrique du Nord, l'Algérie joue un rôle essentiel dans la stabilisation de la région. Son littoral méditerranéen favorise les échanges commerciaux et les relations avec les pays européens. La présence d'un accès au Sahara lui confère des richesses naturelles, notamment dans le domaine des ressources énergétiques telles que le pétrole et le gaz naturel, lesquelles jouent un rôle significatif dans l'économie nationale.

## **1.2. Reliefs**

L'Algérie se trouve au contact de deux grands domaines géographiques, la zone méditerranéenne et le Sahara. Ses altitudes varient du Nord au Sud et de l'Est à l'Ouest, s'étalant de -51 m (Chott Melghir) à El Oued à 2918 m (Tahat) dans le massif du Hoggar à Tamanrasset (Carte 02). En Algérie, les reliefs se subdivisent en quatre grandes unités : le Littoral Méditerranéen, le Tell au Nord, les Hauts Plateaux et l'Atlas saharien au centre, et le désert du Sahara au Sud (Carte 03).

En effet, le Littoral Méditerranéen se caractérise par une combinaison de plaines côtières, de falaises, de montagnes et de baies. Au Nord, les montagnes de l'Atlas Tellien s'étendent jusqu'à la mer Méditerranée, formant des reliefs accidentés et des panoramas spectaculaires. En direction de l'Est, le paysage devient plus doux, avec des plaines côtières fertiles propices à l'agriculture.

Le Tell désigne une zone située entre le Littoral au Nord et les Hauts Plateaux au Sud, composé principalement de plaines côtières, de collines et des montagnes de l'Atlas Tellien. Il s'agit d'une des régions les plus densément peuplées et les plus fertiles d'Algérie. Sa végétation se caractérise essentiellement par des forêts de chênes verts, de chênes-lièges et de pins d'Alep.

Les Hauts Plateaux représentent une vaste région située au Nord du pays, positionnée entre le Tell au Nord et le Sahara au Sud. Cette région se distingue par son relief relativement plat, s'étendant sur une largeur d'environ 200 km avec une altitude moyenne de 800 à 1 200 mètres (Carte 02). Elle occupe une grande partie de l'Algérie centrale et de l'Est, caractérisée par de vastes plaines, des plateaux et des collines. Bien que la végétation y soit généralement plus abondante par rapport au Sahara, elle demeure relativement aride. On y trouve divers écosystèmes tels que des steppes, des prairies, des maquis, et des forêts denses dans certaines zones plus favorables. En outre, cette

région revêt une importance agricole notable pour l'Algérie, où sont cultivées diverses cultures telles que des céréales, des légumes et des oliviers.

L'Atlas Saharien, comme son nom l'indique, constitue une partie de la chaîne de montagnes de l'Atlas qui s'étend dans la région saharienne de l'Algérie. Située au Sud des Hauts Plateaux, cette chaîne montagneuse est entièrement immergée dans la zone désertique du Sahara. Les montagnes les plus élevées de cette région dépassent souvent les 2 000 m d'altitude (Carte 02). Ces montagnes exercent une influence notable sur le climat, générant des conditions différentes de celles du désert environnant. Celles-ci se caractérisent par des températures plus fraîches et des précipitations plus abondantes.

Le Sahara est situé au Sud de l'Atlas Saharien, couvrant ainsi la plus grande partie du territoire algérien et se classant parmi les déserts les plus vastes et les plus chauds du monde. Ce paysage extraordinaire se caractérise par un climat excessivement aride, des horizons uniformément dépourvus de végétation avec des dunes de sable (ergs) et des plateaux rocheux (hamadas), ainsi que des majestueux reliefs au Sud tels que le Hoggar, dont son altitude atteint 2918 m. Par ailleurs, les profondeurs de ce désert renferment d'importantes ressources naturelles, notamment des gisements de pétrole et de gaz naturel.



Carte 03 : Reliefs d'Algérie (Encyclopædia Universalis, France)

### **1.3. Géologie**

L'Algérie possède une géologie riche et complexe résultant de son passé géologique varié et de sa position géographique stratégique (Carte 04). Cette exposition mettra en évidence les principales caractéristiques géologiques du pays, en mettant particulièrement l'accent sur ses formations rocheuses, ses ressources minérales et son patrimoine géologique.

Le territoire algérien est constitué de roches provenant de différentes époques géologiques, s'étalant du Précambrien à l'ère Cénozoïque. Ces roches, qu'elles soient magmatiques, métamorphiques ou sédimentaires, sont des témoins des processus géologiques anciens tels que la tectonique des plaques, l'érosion, et la formation de chaînes de montagnes.

La chaîne de montagnes de l'Atlas est une composante majeure de la géologie de l'Algérie. Elle s'étend le long de la côte et est principalement constituée de roches sédimentaires et volcaniques. Cette chaîne montagneuse résulte de l'interaction entre les plaques tectoniques africaine et eurasiatique, engendrant des plissements et des failles au fil du temps.

L'Algérie renferme plusieurs bassins sédimentaires riches en ressources minérales et énergétiques. Parmi eux, les bassins du Sahara, notamment le bassin de Berkine et le bassin de Reggane, revêtent une importance capitale en tant que zones de production pétrolière et gazière. Ces bassins ont pris forme au fil de l'histoire géologique du pays par l'accumulation de sédiments au sein des dépressions géologiques.

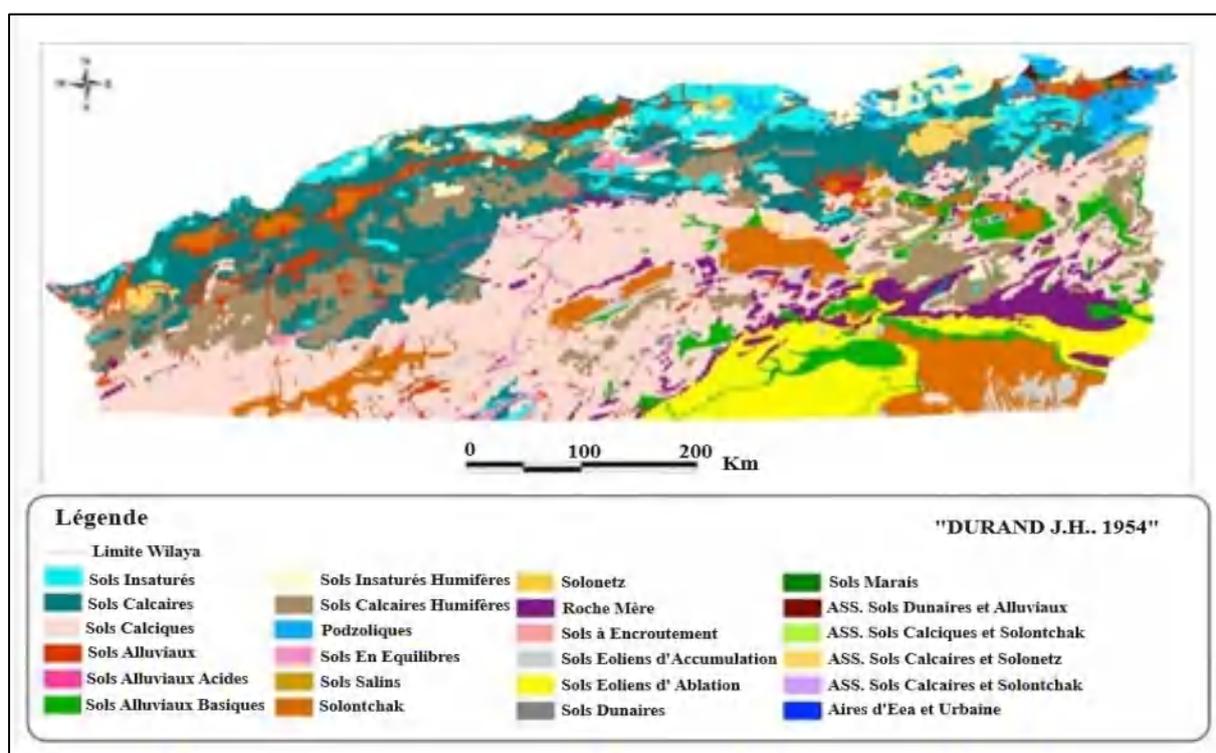
L'Algérie possède d'importantes ressources minérales, comprenant du fer, du zinc, du plomb, du phosphate, du cuivre et du charbon. Certaines régions du pays, comme les montagnes du Hoggar, sont riches en minéraux précieux et en métaux non ferreux, attirant l'attention de l'industrie minière.

En raison de sa géologie variée et de ses formations géologiques uniques, l'Algérie abrite un riche patrimoine géologique. Le parc national de Tassili n'Ajjer, inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO, est célèbre pour ses paysages désertiques impressionnants et ses peintures rupestres qui remontent à plusieurs milliers d'années.

La géologie de l'Algérie est un sujet d'étude fascinant, témoignant d'une histoire géologique complexe et d'une diversité de formations rocheuses. Cette richesse géologique a des implications importantes pour l'économie du pays, grâce à ses ressources minérales et à ses gisements de pétrole et de gaz. De plus, elle enrichit notre compréhension de l'histoire de l'évolution de la terre et contribue à la préservation de la biodiversité de manière significative.



La steppe algérienne se caractérise par la présence de sols des régions arides à semi-arides, souvent associés à une faible pluviométrie. Ces sols peuvent présenter une diversité de caractéristiques, allant du sable au gravier, en passant par l'argile. Dans cette région, l'agriculture dépend principalement de l'irrigation pour assurer des conditions de croissance propices. Il est également pertinent de souligner que certaines parties de la steppe peuvent être sujettes à des problèmes de salinité des sols, résultant de l'accumulation de sels (INSID, 2008). Le Sahara algérien se distingue principalement par la présence de sols désertiques, comprenant majoritairement des dunes de sable, des zones caillouteuses et des terrains gravillonnés. Ces sols se caractérisent généralement par une faible teneur en matière organique et en éléments nutritifs essentiels. Par ailleurs, dans d'autres régions désertiques, la salinité des sols peut poser problème en raison de l'évaporation rapide de l'eau (Berkal, 2006).



Carte 05 : Types du sol du Nord de l'Algérie (Durand,1954)

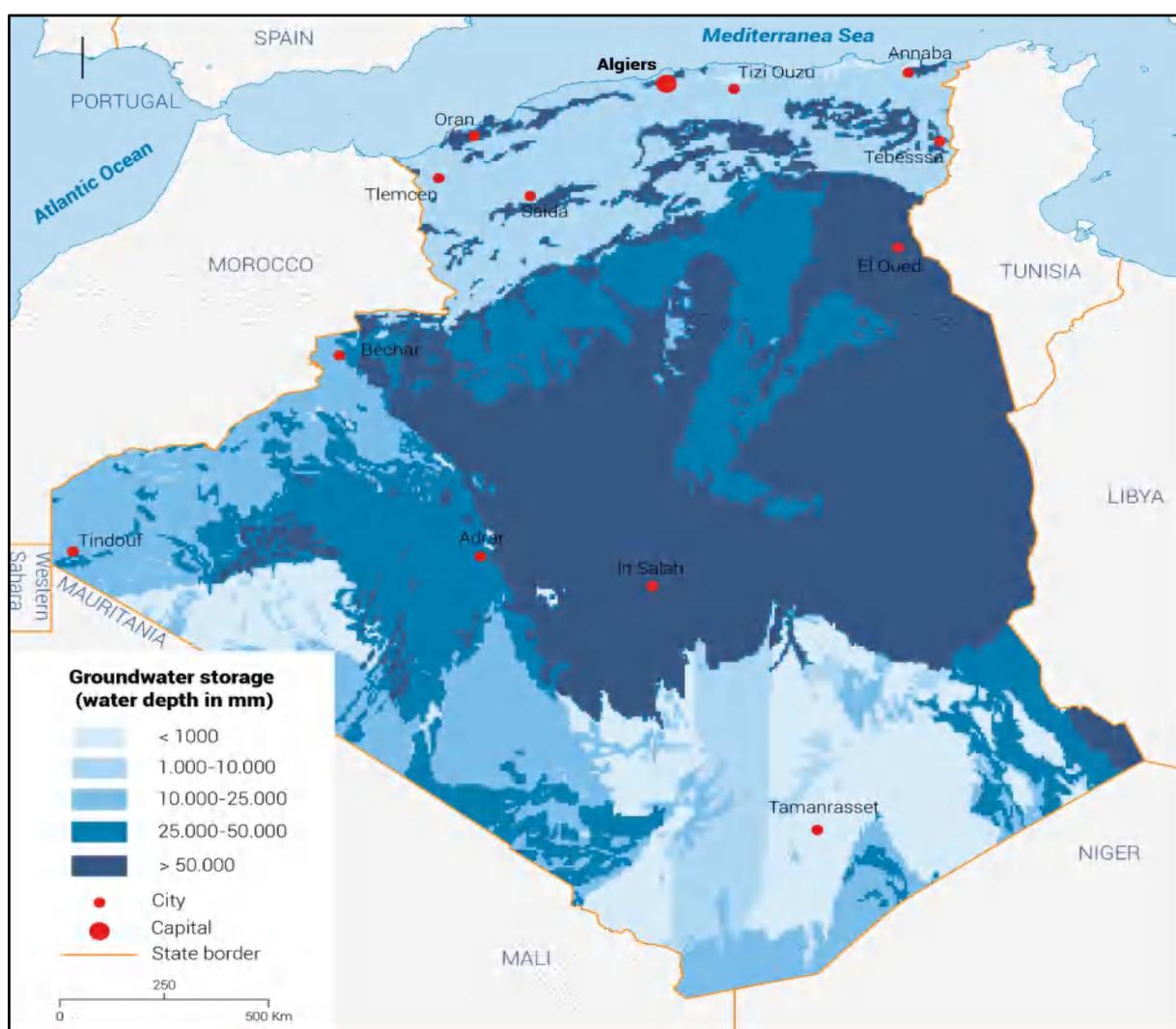
### 1.5. Ressources en eau

En Algérie, les ressources en eau se divisent en deux catégories : les ressources superficielles et les ressources souterraines. Le pays possède plusieurs oueds importants, tels que l'oued Chélif, l'oued Rhumel, l'oued Soummam, et d'autres cours d'eau, descendant de montagnes de l'Atlas Tellien vers la mer Méditerranéenne. Ces cours d'eau jouent un rôle important dans l'irrigation, l'approvisionnement en eau potable et la production hydroélectrique (Hamiche *et al.*, 2015).

En ce qui concerne les lacs, l'Algérie possède plusieurs lacs naturels. Parmi les plus importants, on trouve le lac d'Oubeïra, le lac de Mellah, le lac de Tonga, Chott el Hodna, Chott Melghir, et le lac de Fetzara. Ces lacs jouent un rôle essentiel dans le stockage de l'eau et la régulation des débits des cours d'eau (Carte 07).

L'Algérie a construit plusieurs barrages et réservoirs pour stocker l'eau pendant les périodes de pluie et libérer des réserves d'eau pendant les périodes de sécheresse, répondant ainsi aux besoins en eau dans différentes régions du pays. Parmi les barrages plus importants, citons le barrage de Beni Haroun, le barrage de Ghrib, et le barrage de Koudiat Acerdoune (Kettab, 2001).

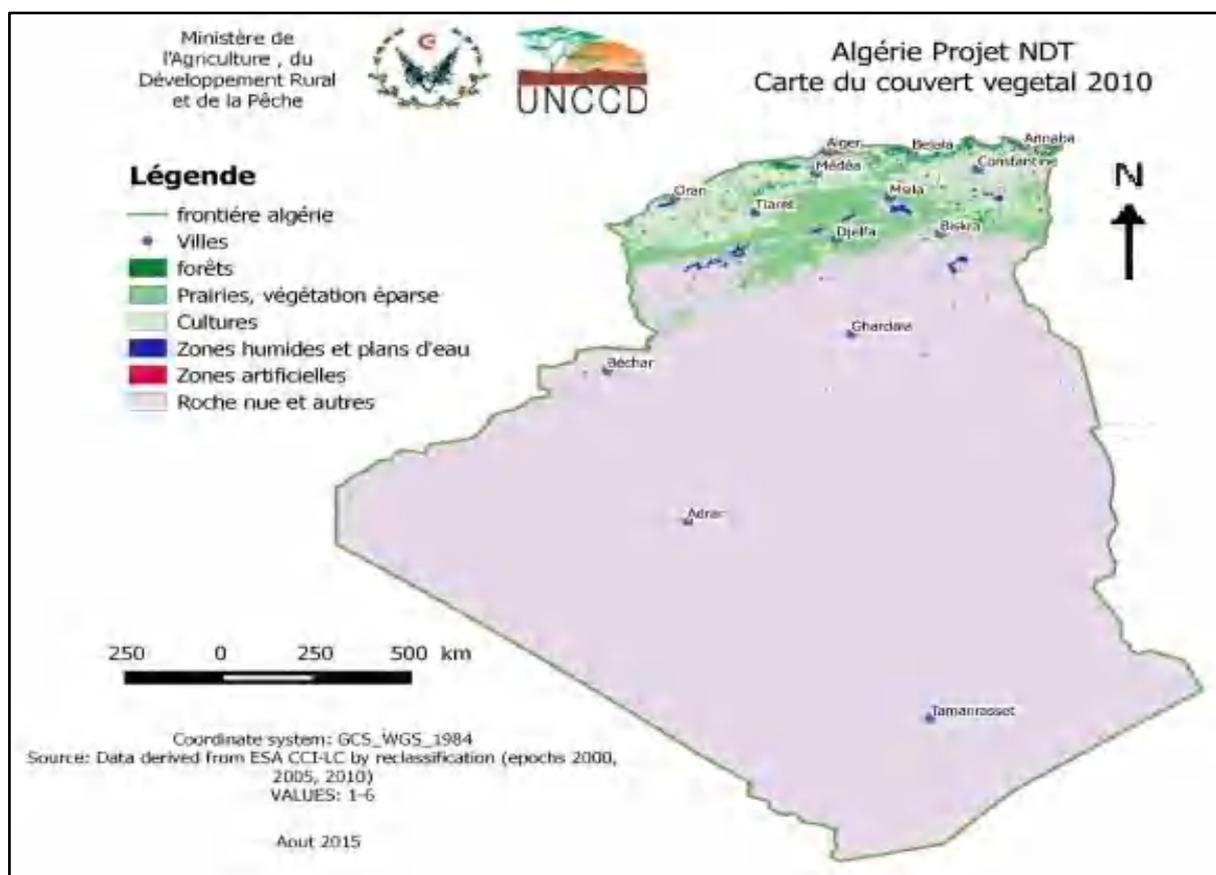
Les aquifères représentent un rôle significatif dans les ressources en eau de l'Algérie (Carte 06). Le pays possède plusieurs grands bassins aquifères, tels que le bassin du Sahara, fournissant une source importante d'eau pour l'irrigation, l'approvisionnement en eau potable, et les besoins industriels.



Carte 06 : Aquifères d'Algérie (Moulahoum et Chaoui, 2019)

## 1.6. Couvert végétal

En Algérie, le couvert végétal se caractérise par une grande diversité, influencée par la géographie variée et les différents climats (Carte 07). Le pays abrite une large gamme d'écosystèmes, allant des régions côtières méditerranéennes aux montagnes de l'Atlas, en passant par les Hauts Plateaux et les vastes étendues du Sahara. Dans le nord de l'Algérie, notamment dans les montagnes de l'Atlas Tellien, on observe des forêts méditerranéennes denses, composées d'essences telles que le chêne vert, le pin d'Alep, le cèdre de l'Atlas, le genévrier et l'olivier sauvage. Ces forêts jouent un rôle crucial dans la conservation de la biodiversité et la préservation de l'eau dans cette région, bénéficiant de précipitations plus abondantes. Les régions côtières du Nord et du Nord-Ouest de l'Algérie sont caractérisées par des maquis et des garrigues, avec une variété de plantes adaptées aux climats méditerranéens, notamment le thym, le romarin, le lentisque et le ciste. Les Hauts Plateaux du centre de l'Algérie se distinguent par des steppes et des prairies herbeuses, utilisées pour le pâturage du bétail et la culture de céréales. Dans le Sud de l'Algérie, notamment dans le Sahara, les oasis abritent des palmiers dattiers et d'autres plantes résistantes au climat désertique, prospérant grâce aux eaux souterraines. Ces oasis représentent des points de vie essentiels pour les communautés locales et la faune sauvage.



Carte 07 : Couvert végétal et plans d'eau d'Algérie au cours de l'année 2010 (MADRP, 2010)

## 1.7. Climat

Couvrant une superficie de 2 381 000 km<sup>2</sup>, l'Algérie se caractérise par son relief, sa morphologie et son climat, nécessitant une approche géoclimatique pour subdiviser son territoire en trois grands ensembles : le Tellien et le Littoral, les Hauts Plateaux et la Steppe, ainsi que le Saharien (Tableau 02). Cette classification permet une comparaison entre ces trois groupes, en prenant en considération des paramètres climatiques tels que les précipitations, la température, l'humidité et l'évapotranspiration.

**Tableau 02 :** Trois ensembles géoclimatiques d'Algérie (MADRP, 2015)

Ensembles	Précipitations (mm)	Température (°C)	Humidité (%)	Evapotranspiration (mm)
<b>Tellien et Littoral</b>	400 à 1000	Min 2 / Max 30 Moy 17,5	Moy : 60 à 70	Min 30/40 Max 200/240
<b>Hauts Plateaux et Steppe</b>	150 à 350	Min -2 / Max 38 Moy 19	Moy 15	Min 45 / Max 250
<b>Saharien</b>	< 100	Min -5 / Max 50 Moy 19	< 3	Moy 1500

En utilisant la même approche géoclimatique, le territoire algérien est également subdivisé en cinq étages bioclimatiques (Carte 08).

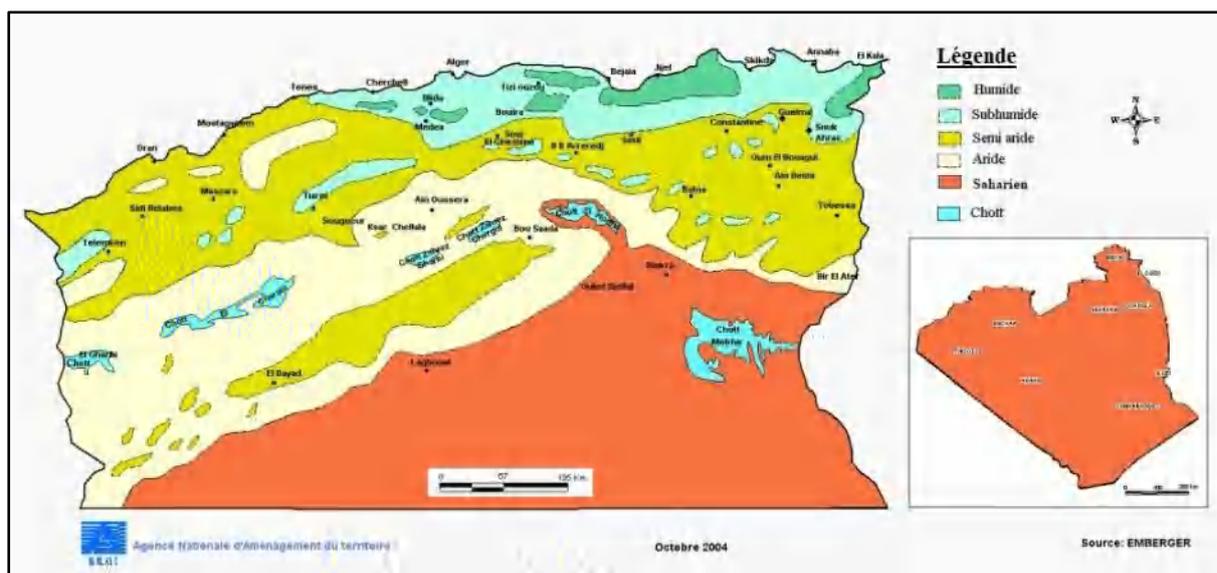
**1. Étage humide :** Situé dans la région côtière et les régions montagneuses basses. Cet étage présente un climat méditerranéen, caractérisé des étés chauds et secs ainsi que des hivers doux et humides. On y trouve des forêts de chênes verts, des maquis et des garrigues.

**2. Étage subhumide :** Présent dans les régions montagneuses de moyenne altitude, notamment dans les zones de l'Atlas Tellien. Cet étage affiche un climat plus humide que dans l'étage méditerranéen, avec des précipitations plus importantes. On y trouve des forêts et des prairies.

**3. Étage semi-aride :** Couvrant une grande partie du Nord du Sahara. Cet étage se caractérise par un climat semi-aride, avec des précipitations moins fréquentes et des températures plus élevées que dans les étages précédents. On y trouve des steppes et des espaces semi-désertiques.

**4. Étage aride :** Présent dans les régions centrales et septentrionales du Sahara. Cet étage offre un climat aride, avec des températures très élevées en été et des précipitations rares. On y trouve principalement des déserts de pierres et des dunes de sable.

**5. Étage Saharien :** Correspondant aux régions du Sud du Sahara, notamment dans le grand erg occidental et oriental. Cet étage se caractérise par un climat désertique, avec des températures extrêmement élevées et des précipitations presque inexistantes. On y trouve des dunes de sable.



Carte 08 : Etages bioclimatiques d'Algérie (ANAT, 2004)

### 1.8. Population

Selon les résultats du cinquième recensement général de la population et de l'habitat en 2008, réalisé par l'Office National des Statistiques (ONS), la répartition spatiale de la population montre une concentration significative dans le Nord du pays, en particulier le long de la "bande littorale" qui s'étend sur le long de la mer Méditerranéenne sur une largeur de 50 à 100 km d'Est en Ouest. Au sein de cette étroite bande côtière, couvrant une superficie de 45 000 km<sup>2</sup>, représentant 1,9 % du territoire, réside plus de 36 % de la population algérienne, avec une densité moyenne de 274 habitants par km<sup>2</sup>. Cette zone abrite les terres agricoles les plus fertiles, ainsi que les infrastructures de transport, de communication et toutes les commodités essentielles au développement industriel.

Au 1<sup>er</sup> juillet 2020, la population résidente en Algérie est estimée à 44,3 millions personnes. L'accroissement naturel enregistré durant l'année a atteint 756.000 personnes, avec un taux d'accroissement naturel de 1,71 % (Tableau 03). La densité moyenne de population en Algérie était de 18,40 habitants au km<sup>2</sup> en 2020, avec une répartition très inégale, la majorité étant concentrée sur les côtes du Nord du pays. La répartition par sexe montre une légère prédominance de la population masculine, représentant 50,7 % de la population totale.

Tableau 03 : Evolution de la population en Algérie (ONS)

Année	1966	1970	1980	1990	2000	2008	2010	2020
Population (En Millions)	12.1	13.31	18.67	25.02	30.88	34.57	35.98	44.3

Par ailleurs, l'examen de la répartition de la population par âge et par sexe jusqu'au 1er juillet 2020, comme présenté dans le (Tableau 04), révèle que la part de la population de moins de 5 ans est de 11,5 %, tandis que la tranche d'âge de 5 à 9 ans constitue 10,5 % de l'ensemble. À cette date, la proportion de la population de moins de 15 ans atteignait 30,6 %. En ce qui concerne la catégorie d'âge active qui va de 15 à 59 ans, elle est estimée à 60,0 %, tandis que les personnes âgées de plus de 60 ans représentent 9,8 % de la population totale du pays.

**Tableau 04** : Répartition de la population en Algérie par âge et par sexe (ONS, 2020)

<b>Groupe d'âge (an)</b>	<b>Masculin</b>	<b>Feminin</b>	<b>Ensemble</b>
<b>00</b>	508 855	482 630	991 485
<b>01-04</b>	2 103 283	1 988 074	4 091 358
<b>05-09</b>	2 397 013	2 265 462	4 662 475
<b>10-14</b>	1 964 755	1 850 873	3 815 628
<b>15-19</b>	1 537 048	1 464 295	3 001 343
<b>20-24</b>	1 584 492	1 521 178	3 105 670
<b>25-29</b>	1 800 194	1 738 379	3 538 574
<b>30-34</b>	1 907 586	1 875 623	3 783 209
<b>35-39</b>	1 827 208	1 798 877	3 626 085
<b>40-44</b>	1 513 343	1 489 252	3 002 595
<b>45-49</b>	1 226 496	1 231 728	2 458 223
<b>50-54</b>	1 052 714	1 066 518	2 119 232
<b>55-59</b>	860 211	868 946	1 729 157
<b>60-64</b>	687 137	689 879	1 377 016
<b>65-69</b>	546 301	536 395	1 082 696
<b>70-74</b>	353 266	361 187	714 453
<b>75-79</b>	239 848	259 955	499 803
<b>80-84</b>	171 933	190 501	362 434
<b>85 &amp; +</b>	137 783	145 126	282 909
<b>Total</b>	<b>22 419 468</b>	<b>21 824 877</b>	<b>44 244 344</b>

### **1.9. Utilisation des terres**

En Algérie, l'utilisation des terres est le résultat d'une interaction complexe entre plusieurs facteurs, tels que la situation géographique, la géologie, le relief, les caractéristiques climatiques, démographiques et socio-économiques, comme mentionnés précédemment. Cette utilisation des terres est nécessaire pour comprendre les dynamiques agricoles, les processus d'urbanisation, la préservation de l'environnement, ainsi que les défis qui influent sur la gestion des ressources naturelles du pays à l'échelle nationale.

Dans le nord de l'Algérie, la diversité dans l'utilisation des terres est influencée par divers facteurs tels que la qualité des sols, le climat méditerranéen, l'expansion rapide des zones urbaines, la préservation de la biodiversité et le développement industriel. L'agriculture, en tant qu'élément central dans l'utilisation des terres, englobe une gamme de cultures telles que la vigne, les légumes, les agrumes, les céréales, les arbres fruitiers et les oliviers, qu'elles soient cultivées dans les conditions irriguées ou dépendent des précipitations naturelles. En parallèle, les régions septentrionales connaissent une expansion urbaine significative, conduisant à la conversion des terres en zones urbaines et industrielles afin de répondre aux besoins en logement, industrie et commerce. De plus, le secteur touristique exerce une influence majeure sur l'utilisation des terres et les infrastructures, en particulier le long des zones côtières, en raison de leur beauté naturelle, de leurs montagnes, de leurs parcs nationaux, de leurs plages et de leur riche patrimoine culturel. Il est tout aussi crucial de prendre en considération les activités dédiées à la préservation de la nature, des écosystèmes fragiles, ainsi que de la faune et de la flore, et leur impact sur la manière dont les terres sont exploitées.

L'utilisation des terres dans les régions des Hauts Plateaux et des Steppes d'Algérie est principalement déterminée par les conditions climatiques. Ces zones se caractérisent par un climat aride et semi-aride, avec des étés chauds et des hivers froids. Ces conditions climatiques exercent un impact significatif sur la croissance des plantes, ainsi que sur la vie humaine et animale. Dans ces régions, l'agriculture repose principalement sur des cultures céréalières adaptées à ces conditions spécifiques, telles que le blé, l'orge et les légumineuses. Parallèlement, l'élevage, notamment des moutons et des chèvres, revêt une importance cruciale, car une grande partie du cheptel national, à raison de plus de 20 millions de têtes est concentrée dans ces zones (Tableau 05). Cela s'explique par la présence de vastes étendues de terres comprenant différentes espèces végétales, comme l'Alpha et le Chih, qui servent de pâturage pour le bétail. Il est à noter que certaines zones des Hauts Plateaux de l'Est, notamment la wilaya de Tébessa, sont également riches

en ressources minérales, telles que le phosphate et divers minéraux, ce qui entraîne leur utilisation à des fins minières.

**Tableau 05** : Nombre de cheptels dans les Hauts Plateaux et les steppes d'Algérie (MADR, 2015)

Wilayas	Espèces					Total
	Bovine	Ovine	Caprine	Chevaline	Cameline	
<b>Laghouat</b>	21 620	2 023 720	249 010	4 485	1 957	<b>2 300 792</b>
<b>O.E.Bouaghi</b>	62 022	691 617	111 863	709	0	<b>866 211</b>
<b>Batna</b>	84 073	1 368 224	368 064	909	0	<b>1 821 270</b>
<b>Tébessa</b>	13 500	870 000	190 800	334	590	<b>1 075 224</b>
<b>Tiaret</b>	71 561	2 324 343	191 253	5 611	190	<b>2 592 958</b>
<b>Djelfa</b>	35 250	3 364 460	405 400	970	6 240	<b>3 812 320</b>
<b>Sétif</b>	161 909	513 017	77 997	1 266	0	<b>754 189</b>
<b>Saida</b>	25 498	886 605	66 420	1 819	0	<b>980 342</b>
<b>M'sila</b>	29 000	1 630 000	140 000	900	1 620	<b>1 801 520</b>
<b>El-Bayadh</b>	28 538	1 997 141	200 171	1 616	12 823	<b>2 240 289</b>
<b>B.B.Arreridj</b>	44 838	427 850	67 495	1 016	0	<b>541 199</b>
<b>Tissemsilt</b>	19 300	248 000	55 000	380	0	<b>322 680</b>
<b>Khenchela</b>	23 330	400 340	69 397	430	0	<b>493 497</b>
<b>Souk-Ahras</b>	104 384	400 400	130 500	333	0	<b>635 617</b>
<b>Total</b>	<b>724 823</b>	<b>17 145 717</b>	<b>2 323 370</b>	<b>20 778</b>	<b>23 420</b>	<b>20 238 108</b>

L'utilisation des terres dans les régions désertiques d'Algérie se caractérise par un mode de vie pastoral nomade. Ces régions abritent des tribus nomades, principalement composées de Touaregs et d'Arabes, parcourent les vastes zones désertiques avec leurs troupeaux de chameaux, de moutons et de chèvres pour aller chercher les zones du pâturage et les points d'eau. En parallèle, l'exploitation minière revêt une grande importance sur le plan économique pour l'État algérien. En effet, certaines zones désertiques renferment d'importants gisements minéraux, notamment des ressources pétrolières et gazières, constituant ainsi une source majeure de revenus pour le pays. Par ailleurs, l'agriculture est pratiquée dans les oasis, bénéficiant d'une irrigation possible issue des eaux souterraines. Ces oasis produisent diverses récoltes, notamment des dattes, des fruits, des légumes et des céréales. Il est également pertinent de souligner les efforts considérables entrepris par l'État et les investisseurs pour la réhabilitation de vastes zones de terres désertiques arides, notamment dans la wilaya d'El Oued. De plus, certaines zones désertiques sont devenues des destinations touristiques appréciées en raison de leur beauté naturelle, de leurs formations géologiques uniques, d'excursions à dos de chameau et des activités de randonnée qu'elles proposent.

## **2. Méthodologie**

Depuis la fin du XXe siècle, diverses méthodes ont été développées pour suivre et évaluer la dégradation des terres et la désertification (Bezerra *et al.*, 2020 ; Chen *et al.*, 2021 ; Han *et al.*, 2021 ; Türkeş *et al.*, 2020). La méthodologie des zones environnementalement sensibles (ESA), initialement développée dans le cadre du projet MEDALUS - MEditerranean Desertification And Land Use -, est largement utilisée à l'échelle mondiale afin d'évaluer les zones potentiellement exposées au risque de dégradation des terres et de désertification (DTDS) (Kosmas *et al.*, 1999). En effet, cette méthode couramment désignée sous le nom de méthode MEDALUS-ESA a démontré son efficacité, en fournissant des résultats précis et crédibles dans de nombreux pays, avec une application notable en Chine (Xu *et al.*, 2019 ; Zhang et McBean, 2016), en Inde (Rajbanshi et Das, 2021), au Brésil (Vieira *et al.*, 2021, 2015), en Mongolie (Lee *et al.*, 2019), en Grèce (Karamesouti *et al.*, 2018), en Turquie (Uzuner et Dengiz, 2020), en Italie (Basso *et al.*, 2012 ; Egidi *et al.*, 2021 ; Ferrara *et al.*, 2020, 2012 ; Ladisa *et al.*, 2012 ; Salvati *et al.*, 2016), en Espagne (Contador *et al.*, 2009), en Tunisie (Bedoui, 2020 ; Benjalleb *et al.*, 2021), au Maroc (Kouba *et al.*, 2018 ; Ouachoua et Al Karkouri, 2020) et en Égypte (Gad, 2020 ; Abuzaid et Abdelatif, 2022).

La méthode originale de MEDALUS-ESA se limite seulement à l'utilisation de quatre indices pour évaluer la sensibilité des terres à la désertification. Ces principaux indices de qualité comprennent le sol, le climat, la végétation et le management, sont calculés en utilisant le même poids pour toutes les variables ou les paramètres. De plus, cette méthode offre la possibilité d'intégrer de nouveaux indices, tels que l'indice de qualité topogéologique, qui prend en compte des paramètres liés au relief et aux caractéristiques géologiques. Cette incorporation éventuelle pourrait être envisagée pour évaluer la vulnérabilité des terres à la dégradation et à la désertification, selon les suggestions de (Prävãlie *et al.*, 2020 ; Shao *et al.*, 2023).

### **2.1. Modélisation de l'indice de sensibilité à la désertification en Algérie**

Dans notre étude, nous avons utilisé la méthode de MEDALUS-ESA ainsi que l'analyse factorielle (AF) pour élaborer l'indice de sensibilité des terres à la désertification (DSI) (Figure 16). Dans une première étape, les paramètres quantitatifs ont été calibrés en suivant la méthode des ruptures naturelles (Jenks, 1977) ou en se basant sur des études antérieures (Tableaux 08-11). Ensuite, chaque classe de paramètres, qu'il s'agisse de paramètres qualitatifs ou quantitatifs, a été évaluée avec un score de 1 à 2. Un score de 1 représente une faible sensibilité à la désertification, tandis qu'un score de 2 indique une sensibilité élevée à la désertification (Tableaux 08-11).

Dans une seconde étape, une analyse factorielle (AF) a été réalisée pour déterminer les poids des paramètres qui serviront au calcul de chaque indice de qualité. En effet, une pondération a été attribuée à chaque paramètre en se basant sur la contribution estimée de ce paramètre. Cette mesure peut être interprétée comme la proportion de la variation du paramètre expliquée par le modèle FA. Une valeur élevée suggère que le paramètre contribue considérablement à expliquer le phénomène étudié (Aljandali, 2017). Par la suite, l'indice de qualité a été généré en appliquant l'approche de la somme pondérée dans un environnement SIG. Enfin, les cinq indices de qualité ont été pondérés en fonction de l'analyse factorielle, et l'indice DSI a été produit à l'aide de la formule de somme pondérée :

$$DSI = (TQI \times w1) + (SQI \times w2) + (CQI \times w3) + (VQI \times w4) + (MQI \times w5)$$

Où TQI, SQI, COI, VQI et MQI représentent respectivement les indices de qualité Topogéologique, du Sol, du Climat, de la Végétation et du Management. Les coefficients (poids), notés w1, w2, w3, w4 et w5, sont assignés à chaque indice de qualité, obtenus par le biais de l'analyse factorielle.

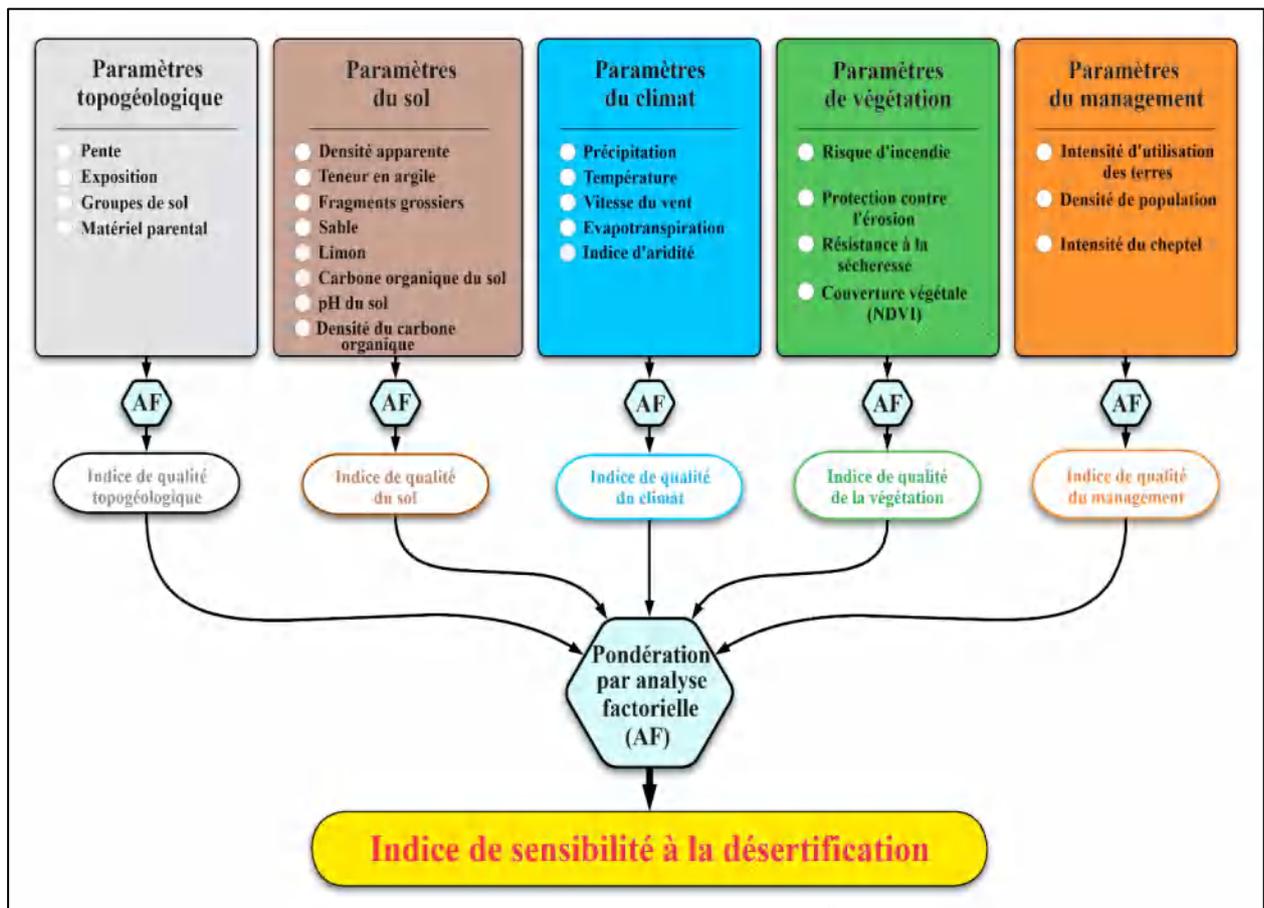


Figure 16 : Méthodologie appliquée pour définir les zones environnementalement sensibles à la désertification en Algérie

L'indice de sensibilité à la désertification (DSI) final a été classé en utilisant les seuils originaux, proposés dans la méthodologie originale de MEDALUS-ESA (Tableau 06). Cette méthodologie définit quatre classes principales et huit sous-classes pour évaluer la sensibilité des terres à la désertification (Kosmas *et al.*, 1999). Ce classement exclut les zones entièrement désertifiées ou irrémédiablement altérées et ne pouvant être restaurées. Il est réalisé en identifiant tous les pixels classés C3 entre 2000 et 2020, dont l'état a été vérifié et validé par différentes cartes, images aériennes et satellites.

**Tableau 06 :** Classes et scores de l'indice de sensibilité à la désertification (DSI)

Classes	Sous-classes	Scores	Description (Selon Salvati and Bajocco, 2011)
Non-affecté	NA	< 1.17	Aucune zone sensible/très peu sensible à la dégradation des terres
Potentiel	P	1.17 - 1.22	Zones peu sensibles à la dégradation des terres et à la désertification
Fragile	F1	1.23 - 1.26	Zones moyennement sensibles à la dégradation des terres et à la désertification
	F2	1.27 - 1.32	
	F3	1.33 - 1.37	
Critique	C1	1.38 - 1.41	Zones hautement et très hautement sensibles à la dégradation des terres et à la désertification
	C2	1.42 - 1.53	
	C3	> 1.53	

Tous les indices et paramètres ont été analysés sur la base des données raster, avec une résolution spatiale de taille de cellule de 250 mètres, à l'aide du logiciel d'ArcGIS 10.8 (Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA). L'analyse factorielle a été réalisée en appliquant la méthode d'extraction des composants principaux et de la rotation Varimax, à la fois dans le logiciel R 4.0.3 (R Foundation for Statistical Computing, Vienne, Autriche), et ainsi que dans le logiciel SPSS (version 26.0), deux logiciels statistiques pour Windows, et Microsoft Excel.

## 2.2. Paramètres et indices de qualité

Les paramètres et les indices de qualité ont été choisis après une recherche bibliographique approfondie dans la littérature scientifique, en se basant sur les travaux les plus importants liés à l'évaluation, au suivi, et à la cartographie des zones environnementalement sensibles à la dégradation et à la désertification (Abuzaid et Abdelatif, 2022 ; Aliero *et al.*, 2021 ; Egidi *et al.*, 2021 ; Jiang *et al.*, 2019 ; Kosmas *et al.*, 2014, 1999 ; Právělie *et al.*, 2020). Ces études ont identifié ou suggéré divers paramètres pour évaluer la sensibilité des terres à la désertification. Nous avons sélectionné les plus pertinents, soit 24 paramètres, qui ont démontré leur efficacité dans ces études et que nous avons pu recueillir (Tableau 07).

**Tableau 07** : Caractéristiques des paramètres et leurs sources de données

Indices	Paramètres	Résolution Spatiale	Type	Sources de données
Topogéologique	Pente	250 m	Statique	<a href="https://earthexplorer.usgs.gov">https://earthexplorer.usgs.gov</a>
	Exposition			
	Groupes de sol			
	Matériel parental	500 m		<a href="https://soilgrids.org">https://soilgrids.org</a>
Sol	Densité apparente	250 m	Statique	<a href="https://soilgrids.org">https://soilgrids.org</a>
	Teneur en argile			
	Fragments grossiers			
	Sable			
	Limon			
	Carbone organique du sol			
	pH du sol			
	Densité du carbone organique			
Climat	Précipitation	4000 m	2000 2010 2020	<a href="https://www.climatologylab.org">https://www.climatologylab.org</a>
	Température (LST)	1000 m		<a href="https://lpdaac.usgs.gov/products/mod11a2v006">https://lpdaac.usgs.gov/products/mod11a2v006</a>
	Évapotranspiration	500 m		<a href="https://lpdaac.usgs.gov/products/mod16a2v006">https://lpdaac.usgs.gov/products/mod16a2v006</a>
	Vitesse du vent	4000 m		<a href="https://www.climatologylab.org">https://www.climatologylab.org</a>
	Indice d'aridité	4000 m		
Végétation	Risque d'incendie	300 m	2000 2010 2020	<a href="http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download.php">http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download.php</a>
	Protection contre l'érosion			
	Résistance à la sécheresse			
	Couverture végétale (NDVI)	250 m		<a href="https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v006">https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v006</a>
Management	Intensité d'utilisation des terres	300 m	2000 2010 2020	<a href="http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download.php">http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download.php</a>
	Densité de population	Vecteur		Élaboration personnelle basée sur les données de l'Office National des Statistiques.
	Intensité du cheptel			Élaboration personnelle basée sur les données du Ministre de l'Agriculture.

Afin de mettre en œuvre cette méthodologie, des catégories associées à chaque paramètre ont été définies et pondérées avec des valeurs de score spécifiques. Ces scores varient de un (1) à deux (2), le premier reflétant une faible sensibilité des terres à la désertification, tandis que le deuxième

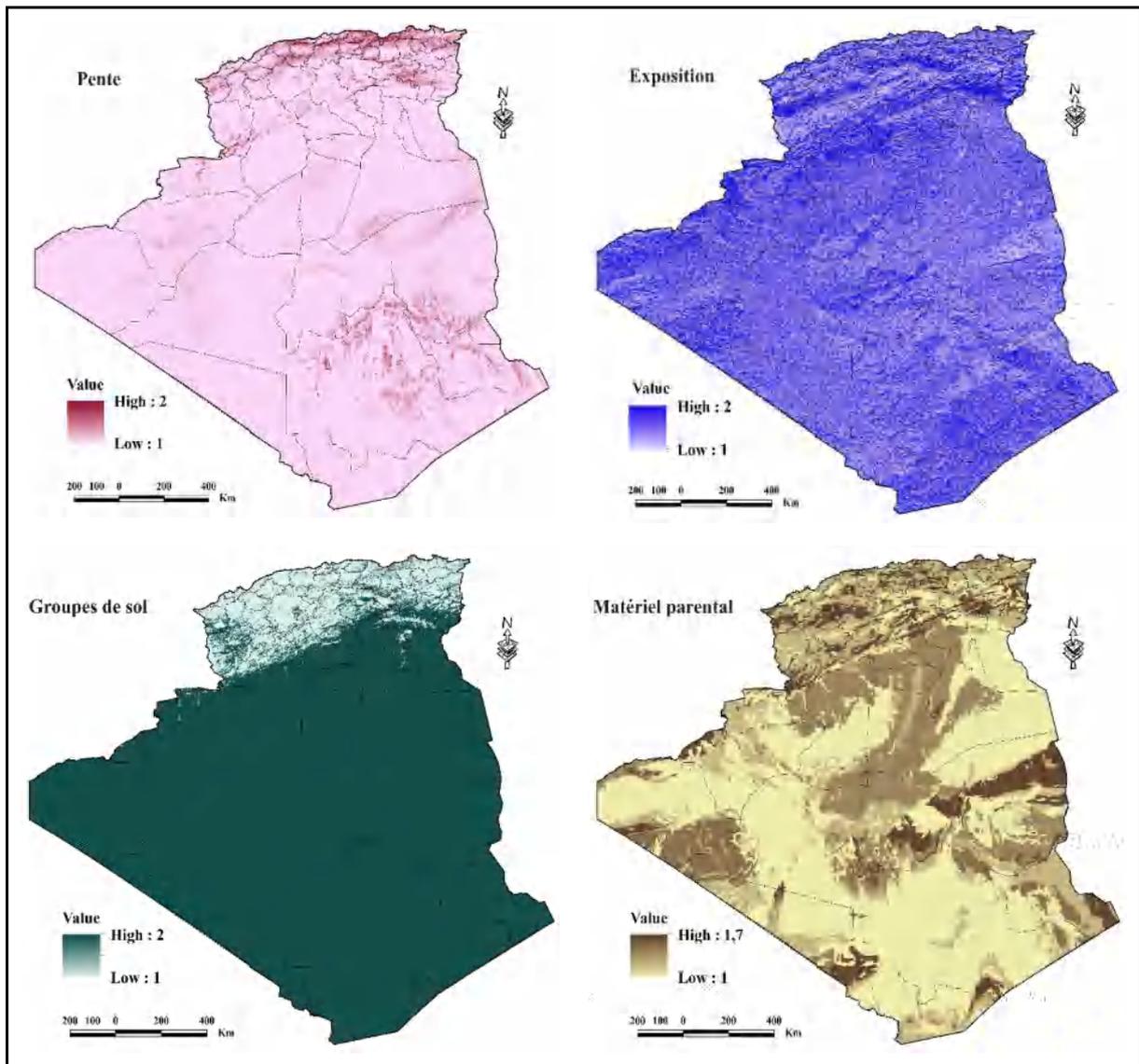
indique une forte sensibilité des terres à ce phénomène. Ces catégories et scores serviront de base pour le calcul des cinq indices de qualité, que nous expliquerons plus en détail par la suite.

### 2.2.1. Indice de qualité topogéologique (TQI)

Nous avons intégré l'indice de qualité topogéologique (TQI), qui tient compte des caractéristiques topogéologiques ayant un impact direct ou indirect sur la sensibilité des terres au processus de dégradation (Prävălie *et al.*, 2020 ; Shao *et al.*, 2023). Cet indice a été calculé à partir du traitement de quatre paramètres pertinents, dont deux paramètres topographiques (pente et exposition) dérivés du modèle numérique de terrain téléchargé depuis le site de l'USGS, et deux paramètres géologiques (groupes de sol et matériel parental) extraits de la base de données de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (Tableau 07). Bien que cet indice soit rarement mesuré ou cartographié (Tableau 08), il a été considéré comme constant pendant la période étudiée (Carte 09), car il présente généralement une évolution lente (Salvati et Zitti, 2007).

**Tableau 08 :** Classes et scores déterminés pour les paramètres utilisés dans l'obtention de l'indice de qualité topogéologique (TQI), d'après (Ferrara *et al.*, 2020 ; Prävălie *et al.*, 2020). À noter que les abréviations suivantes sont employées : SU (Unconsolidated Sediments) ; SS (Siliciclastic Sedimentary rocks); PB (Basic Plutonic rocks); WB (Water Bodies); EV (Evaporites); VB (Basic Volcanic rocks); SM (Mixed Sedimentary rocks); VI (Intermediate Volcanic rocks); MT (Metamorphic rocks); PA (Acid Plutonic rocks); SC (Carbonate Sedimentary rocks)

<b>Pente (%)</b>		<b>Groupes de sol</b>	
Classe	Score	Type	Score
< 3	1.0	Eau, Glaciers, Chernozems	1.0
3 < 6	1.1	Kastanozems	1.1
6 < 12	1.2	Acrisols, Ferralsols, Gleysols, Podzols, Régosols	1.3
12 < 18	1.3	Lixisols	1.5
18 < 24	1.4	Calcisols	1.6
24 < 30	1.5	Arénosols	1.7
30 < 36	1.7	Gypsisols, Leptosols, Solonchaks, Solonetz	2.0
>= 36	2.0		
		<b>Matériel parental</b>	
		Type	Score
		SU	1.0
		SS, PB, WB, EV, VB	1.2
		SM	1.4
		VI, MT	1.5
		PA	1.6
		SC	1.7
<b>Exposition</b>			
Type	Score		
N, NE, NW, W, flat	1.0		
S, SE, SW, E	2.0		



Carte 09 : Paramètres utilisés pour l'obtention de l'indice de qualité topogéologique (TQI)

### 2.2.2. Indice de qualité du sol (SQI)

L'indice de qualité du sol (SQI) évalue la capacité d'un sol à soutenir la végétation naturelle, à stocker l'eau et à résister à l'érosion (Salvati et Bajocco, 2011).

Le SQI repose sur huit paramètres extraits de la base de données de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (Tableau 07) : cinq paramètres physiques (densité apparente, teneur en argile, fragments grossiers, sable et limon), deux paramètres chimiques (carbone organique du sol, pH du sol) et un paramètre dérivé (densité du carbone organique) (Aliero *et al.*, 2021) (Tableau 09). Étant donné que les variations de la qualité du sol sont généralement minimales à grande échelle, cet indice a été considéré comme constant dans le temps (Jiang *et al.*, 2019 ; Salvati *et al.*, 2013 ; Tombolini *et al.*, 2016) (Carte 10).

**Tableau 09 :** Classes et scores des paramètres utilisés dans le calcul de l'indice de qualité du sol (SQI), d'après (Aliero *et al.*, 2021). Pour les paramètres marqués d'un astérisque (\*), la méthode des ruptures naturelles a été utilisée (Jenks, 1977)

<b>Teneur en argile (g/kg) *</b>		<b>Fragments grossiers (cm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup>) *</b>	
Classe	Score	Classe	Score
< 199	2.00	< 151	1.00
199 - 238	1.75	151 - 230	1.25
238 - 273	1.50	230 - 297	1.50
273 - 311	1.25	297 - 374	1.75
> 311	1.00	> 374	2.00

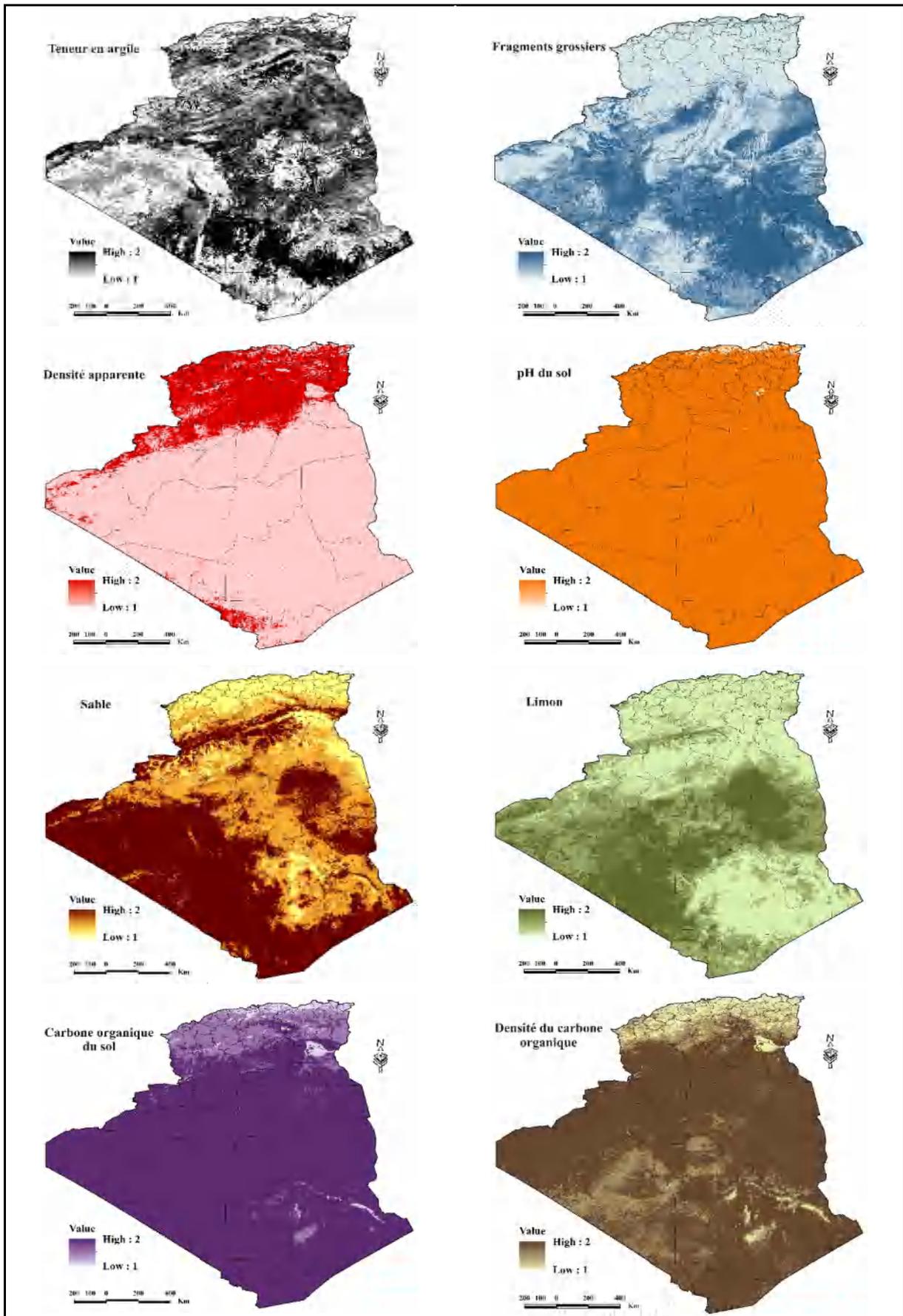
<b>Densité apparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>		<b>pH du sol (x10)</b>	
Classe	Score	Classe	Score
< 150	1.00	< 65	1.00
150 - 160	1.50	65 - 70	1.50
> 160	2.00	> 70	2.00

<b>Sable (g/kg) *</b>		<b>Limon (g/kg) *</b>	
Classe	Score	Classe	Score
< 182	1.00	< 106	2.00
182 - 403	1.25	106 - 235	1.75
403 - 472	1.50	235 - 282	1.50
472 - 531	1.75	282 - 333	1.25
> 531	2.00	> 333	1.00

<b>Carbone organique du sol (dg/kg) *</b>		<b>Densité du carbone organique (g/dm<sup>3</sup>) *</b>	
Classe	Score	Classe	Score
< 28	2.00	< 63	2.00
28 - 49	1.75	63 - 75	1.75
49 - 94	1.50	75 - 91	1.50
94 - 186	1.25	91 - 132	1.25
> 186	1.00	> 132	1.00



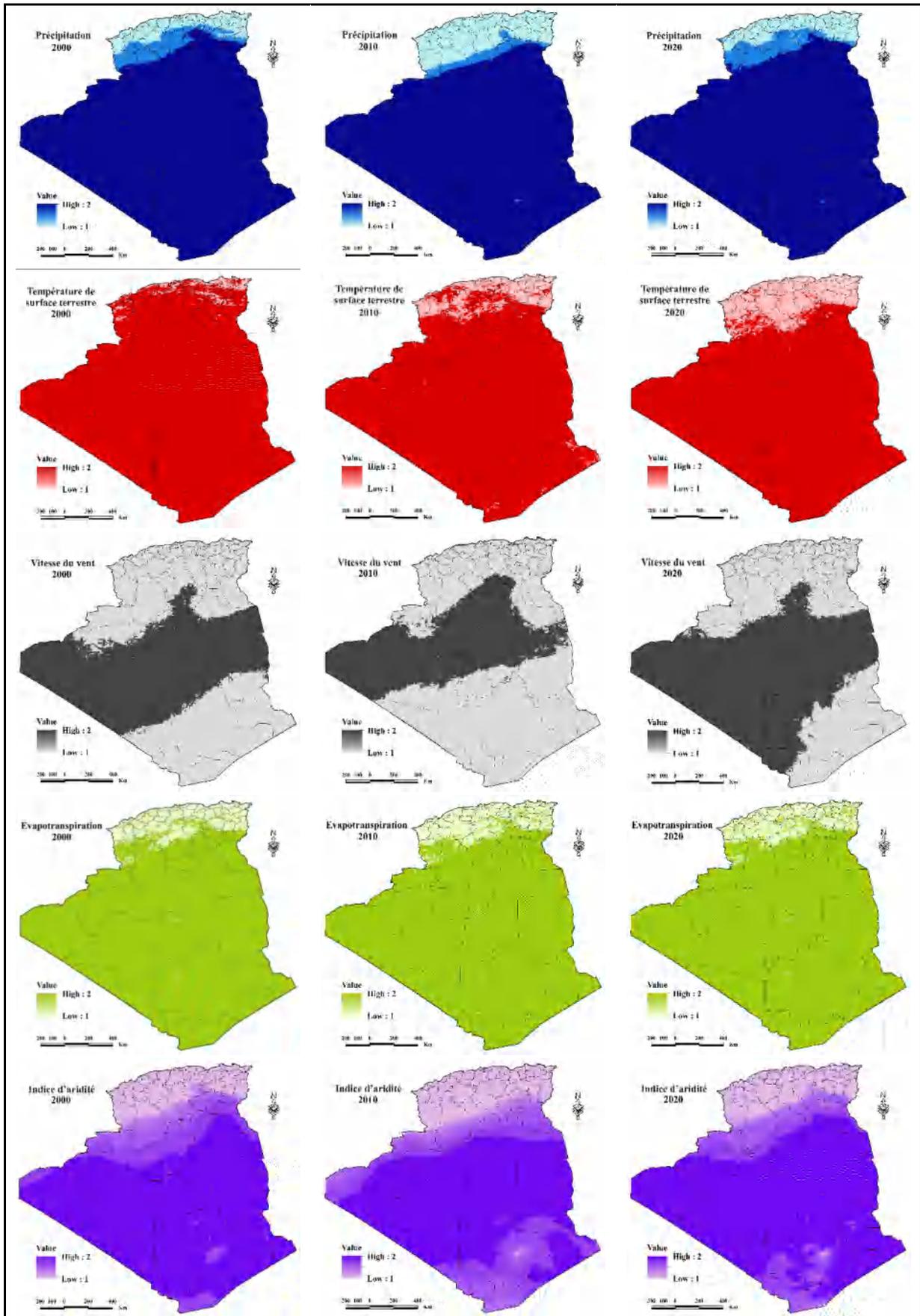
Carte 10 : Paramètres utilisés pour l'obtention de l'indice de qualité du sol (SQI)

### 2.2.3. Indice de qualité du climat (CQI)

L'indice de qualité du climat (CQI) présente une variabilité temporelle et spatiale significative. Il intègre cinq paramètres extraits de la base de données du site web de l'USGS et du Terra Climate, avec une résolution spatiale variant de 500 mètres à 4000 mètres (Tableau 07). En plus des paramètres de précipitations et d'aridité utilisés dans la méthode originale MEDALUS-ESA, nous avons inclus la Température de Surface Terrestre (LST), la vitesse du vent et l'évapotranspiration (Tableau 10). Ces paramètres supplémentaires ont été introduits afin d'améliorer la précision de l'estimation de la vulnérabilité des terres à la désertification (Carte 11).

**Tableau 10** : Classes et scores des paramètres utilisés dans le calcul de l'indice de qualité du climat (CQI) (d'après (Aliero *et al.*, 2021 ; Ferrara *et al.*, 2020 ; Prāvālie *et al.*, 2017)). La méthode des ruptures naturelles de (Jenks, 1977) a été employée spécifiquement pour les paramètres marqués d'un astérisque (\*)

<b>Précipitation (mm/yr) *</b>		<b>Température de surface terrestre (°C/yr) *</b>	
Classe	Score	Classe	Score
< 50	2.00	< 36	1.00
50 - 150	1.75	36 - 42	1.30
150 - 250	1.50	42 - 48	1.60
250 - 350	1.25	> 48	2.00
> 350	1.00		
<b>Vitesse du vent (m/s/yr)</b>		<b>Indice d'aridité (P/ETp/yr)</b>	
Classe	Score	Classe	Score
< 4.2	1.00	< 0.03	2.00
4.2 - 5.2	1.50	0.03 - 0.10	1.75
> 5.2	2.00	0.10 - 0.20	1.55
		0.20 - 0.35	1.45
		0.35 - 0.50	1.35
<b>Evapotranspiration (mm/yr)</b>		0.50 - 0.65	1.25
Classe	Score	0.65 - 0.75	1.15
< 1500	1.00	0.75 - 1.00	1.05
1500 - 2000	1.50	> 1.00	1.00
> 2000	2.00		



Carte 11 : Paramètres utilisés pour l'obtention du CQI dans les années 2000, 2010 et 2020

#### **2.2.4. Indice de qualité de la végétation (VQI)**

L'indice de qualité de la végétation (VQI) joue un rôle important dans les processus qui conduisent à la dégradation des terres et à la désertification (Jiang *et al.*, 2019).

Le VQI a été calculé en utilisant quatre paramètres standard du modèle MEDALUS-ESA, à savoir le risque d'incendie, la résistance à la sécheresse, la protection contre l'érosion et l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), qui a servi d'approximation de la couverture végétale (Tableau 11, Carte 12).

Les trois premiers paramètres proviennent des cartes d'occupation du sol élaborées dans le cadre du projet Land Cover, dirigé par l'Agence Spatiale Européenne (ESA) dans le contexte de l'Initiative sur le Changement Climatique (ICC).

Quant au NDVI, il a été extrait des produits terrestres MODIS (Didan *et al.*, 2015). Les valeurs moyennes de ce paramètre ont été calculées sur une période de 16 jours pendant toute la saison de croissance de mars à mai (Han *et al.*, 2020 ; Na *et al.*, 2019).

#### **2.2.5. Indice de qualité du management (MQI)**

L'impact croissant de la pression humaine et d'une gestion inefficace des terres, lié aux dynamiques démographiques et aux modifications d'utilisation des terres, accroît la dégradation des terres et intensifie le risque de désertification (Egidi *et al.*, 2021). Afin de quantifier l'ampleur de l'influence humaine sur la gestion des terres, nous avons utilisé l'indice de qualité de management (MQI). Celui-ci a été calculé en prenant en compte l'intensité d'utilisation des terres, la densité de population, et l'intensité de l'élevage (Tableau 11, Carte 13).

L'intensité d'utilisation des terres a été déduite des cartes d'occupation des sols issues du projet Land Cover, réalisée dans le cadre de l'Initiative sur le Changement Climatique (ICC) de l'Agence Spatiale Européenne (ESA).

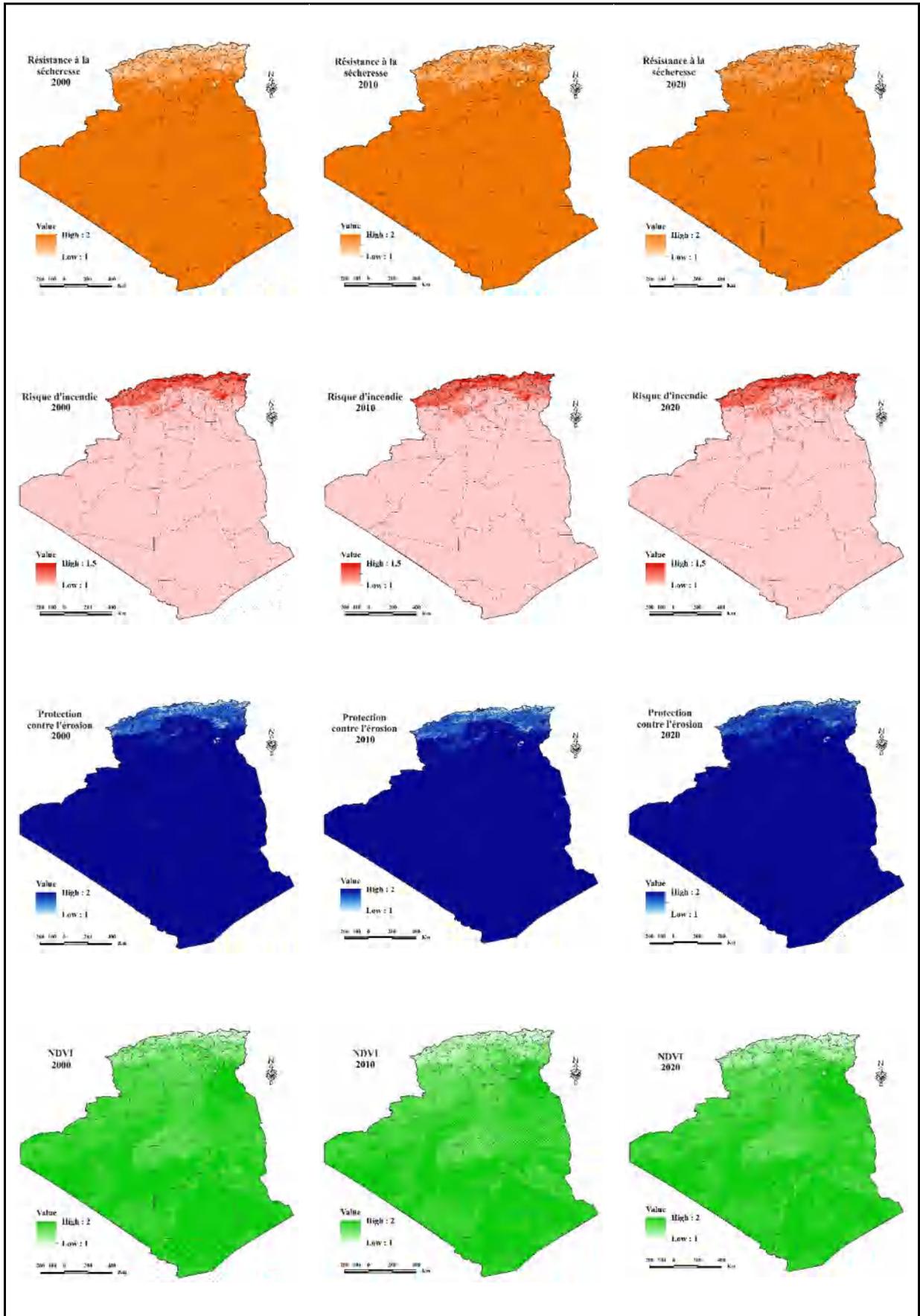
La densité de population a été calculée au niveau municipal pour les années 2000, 2010 et 2020, en se basant sur les recensements nationaux de la population et des logements réalisés par l'Office National des Statistiques (ONS).

En ce qui concerne la densité du bétail, elle a été calculée à partir des données du Ministère de l'agriculture, impliquant la conversion de tous les types de bétail en un nombre équivalent d'ovins (Hammouda *et al.*, 2013).

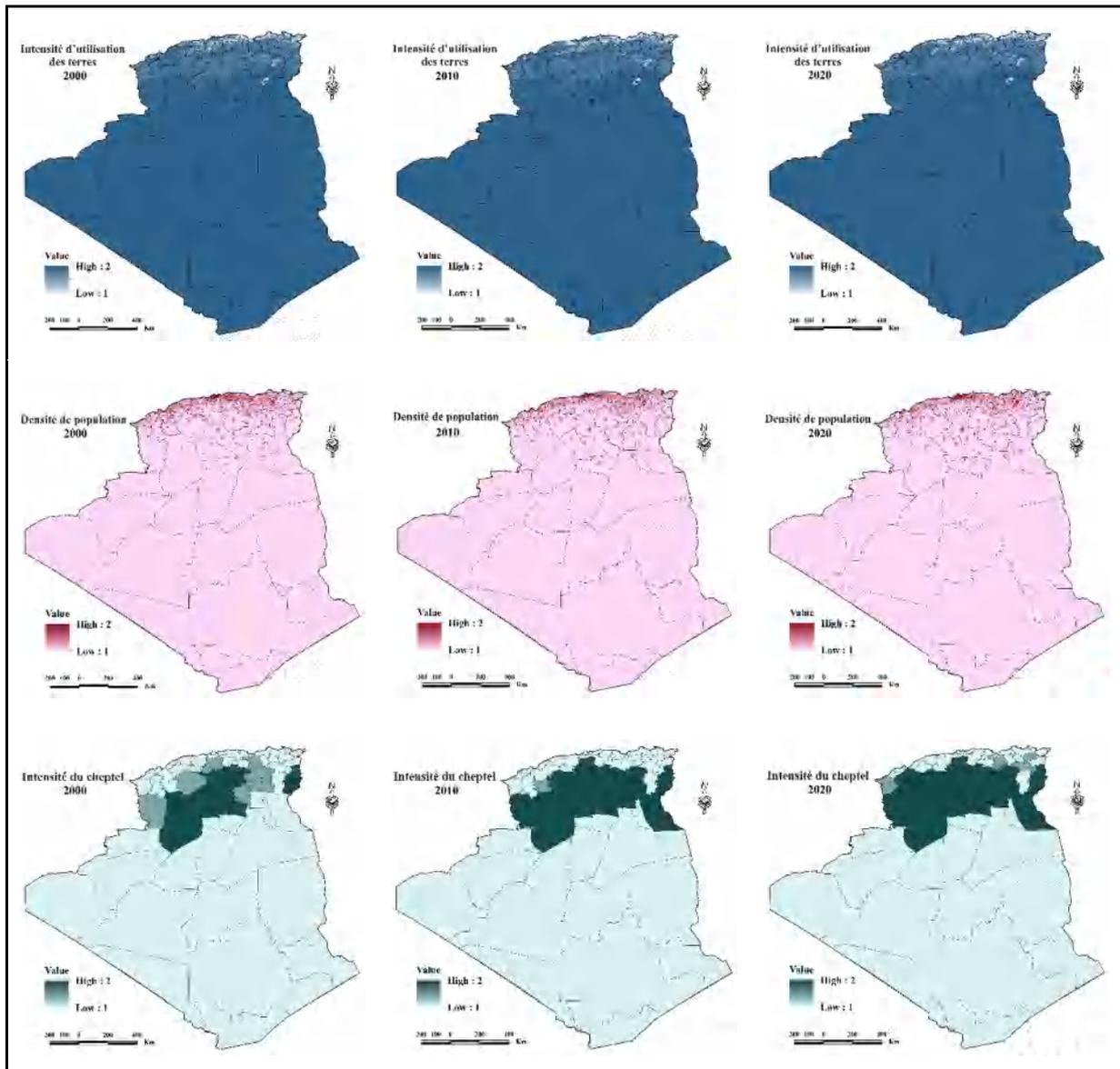
**Tableau 11** : Classes et scores des paramètres utilisés dans le calcul des indices de qualité de la végétation (VQI) et du mangement (MQI) (d’après (Aliero *et al.*, 2021 ; Ferrara *et al.*, 2020)). La méthode des ruptures naturelles de (Jenks, 1977) a été employée spécifiquement pour les paramètres marqués d’un astérisque (\*)

Couverture terrestre - Utilisation des terres		Résistance à la sécheresse	Risque d'incendie	Protection contre l'érosion	Intensité d'utilisation des terres
Code	Type	Scores			
10	Terres cultivées, pluviales	1.30	1.30	1.40	1.60
11	Couverture herbacée	1.50	1.20	1.40	1.50
12	Couvert d'arbres ou d'arbustes	1.30	1.20	1.50	1.30
20	Terres cultivées irriguées ou post-inondations	1.20	1.20	1.30	1.50
30	Terres cultivées en mosaïque (>50%) / végétation naturelle (<50%)	1.50	1.40	1.40	1.40
40	Mosaïque de végétation naturelle (>50%) / terres cultivées (<50%)	1.30	1.30	1.30	1.40
50	Couvert arboré, feuillu, persistant, fermé à ouvert (>15 %)	1.00	1.30	1.00	1.10
60	Couvert arboré, feuillu, feuillus, fermé à ouvert (>15 %)	1.10	1.40	1.10	1.20
61	Couvert arboré, feuillu, caduc, fermé (>40 %)	1.00	1.30	1.00	1.00
70	Couvert arboré, à feuilles en aiguilles, à feuilles persistantes, fermé à ouvert (>15 %)	1.10	1.50	1.10	1.10
100	Mosaïque d'arbres et d'arbustes (>50%) / couverture herbacée (<50%)	1.20	1.40	1.20	1.20
110	Couverture herbacée mosaïque (>50%) / arbre et arbuste (<50%)	1.30	1.40	1.30	1.40
120	Arbustes	1.30	1.30	1.30	1.50
122	Arbustes à feuilles caduques	1.40	1.40	1.60	1.40
130	Prairie	1.60	1.30	1.40	1.40
150	Végétation clairsemée (arbre, arbuste, couvert herbacé) (<15%)	1.50	1.20	1.40	1.60
153	Couverture herbacée clairsemée (<15%)	1.40	1.10	1.50	1.50
170	Couvert arboré, eau inondée et salée	1.00	1.10	1.20	1.20
180	Couverture arbustive ou herbacée, inondée, eau douce/salée/saumâtre	1.10	1.10	1.20	1.30
190	Urbain	2.00	1.00	2.00	2.00
200	Zones nues	2.00	1.00	2.00	2.00
201	Zones nues consolidées	2.00	1.00	2.00	2.00
202	Zones nues non consolidées	2.00	1.00	2.00	2.00
210	Eau	1.00	1.00	1.00	1.00

NDVI *		Densité de population (hab/km <sup>2</sup> ) *		Intensité du cheptel (Nbr d'ovins) *	
Classe	Score	Classe	Score	Classe	Score
< 1000	2.00	< 18	1.00	< 60000	1.00
1000 - 1400	1.80	18 - 64	1.10	60000 - 90000	1.10
1400 - 1800	1.60	64 - 135	1.20	90000 - 160000	1.20
1800 - 2200	1.40	135 - 243	1.30	160000 - 200000	1.30
2200 - 2600	1.20	243 - 401	1.40	200000 - 240000	1.40
> 2600	1.00	401 - 631	1.50	240000 - 300000	1.50
		631 - 983	1.60	300000 - 450000	1.60
		983 - 1485	1.70	450000 - 600000	1.70
		1485 - 2343	1.80	600000 - 800000	1.80
		2343 - 4992	1.90	800000 - 1700000	1.90
		> 4992	2.00	> 1700000	2.00



Carte 12 : Paramètres utilisés pour l'obtention du VQI dans les années 2000, 2010 et 2020



Carte 13 : Paramètres utilisés pour l'obtention du MQI dans les années 2000, 2010 et 2020

### 2.3. Prédiction des tendances futures de la désertification

Les paramètres et les indices de qualité utilisés pour prédire les tendances futures de la désertification sont presque identiques à ceux précédemment utilisés (Tableau 06). Nous avons appuyé notre analyse sur les mêmes paramètres et indices considérés comme constants dans le temps, tels que l'indice de qualité topogéologique (Carte 09) et l'indice de qualité de sol (Carte 10). Cependant, certains paramètres et données, impossibles à obtenir ou à prédire pour l'avenir, reposent sur les données de l'année 2020. C'est particulièrement le cas pour les paramètres nécessaires au calcul de l'indice de qualité de la végétation (Carte 12). En ce qui concerne l'indice de qualité du climat et l'indice de management, ils ont été calculés en se basant sur les paramètres prédits pour l'avenir ainsi que sur deux paramètres de l'année 2020 (Tableau 12).

**Tableau 12** : Propriétés des paramètres de prédiction et leurs sources de données

Indices	Paramètres	Résolution Spatiale	Type	Sources de données	
Topogéologique	Pente	250 m	Statique	<a href="https://earthexplorer.usgs.gov">https://earthexplorer.usgs.gov</a>	
	Exposition				
	Groupes de sol				
	Matériel parental	500 m		<a href="https://soilgrids.org">https://soilgrids.org</a>	
Sol	Densité apparente	250 m	Statique	<a href="https://soilgrids.org">https://soilgrids.org</a>	
	Teneur en argile				
	Fragments grossiers				
	Sable				
	Limon				
	Carbone organique du sol				
	pH du sol				
	Densité du carbone organique				
Climat	Précipitation	30 Sec (≈ 900 m)	(2041-2060)	<a href="https://www.worldclim.org/">https://www.worldclim.org/</a>	
	Température				
	Évapotranspiration		(2081-2100)	Calculé sur la base des données de précipitation et de température.	
	Indice d'aridité				
	Vitesse du vent	4000 m	2020	<a href="https://www.climatologylab.org">https://www.climatologylab.org</a>	
Végétation	Risque d'incendie	300 m	2020	<a href="http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download.php">http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download.php</a>	
	Protection contre l'érosion				
	Résistance à la sécheresse				
	Couverture végétale (NDVI)	250 m		<a href="https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v006">https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v006</a>	
Management	Intensité d'utilisation des terres	300 m	2020	<a href="http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download.php">http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download.php</a>	
	Densité de population	Vecteur	(2041-2060)	Élaboration personnelle basée sur les données de l'Office National des Statistiques.	
	Intensité du cheptel		(2081-2100)	Élaboration personnelle basée sur les données du Ministre de l'Agriculture.	

### **2.3.1. Indice de qualité du climat (CQI)**

L'indice de qualité du climat (CQI) combine cinq (05) paramètres. Les paramètres de précipitation et de température sont obtenus et calculés à partir de la base de données du site web WorldClim, avec une résolution spatiale de 30 secondes ( $\approx$  900 mètres). Par ailleurs, les paramètres d'évapotranspiration et d'indice d'aridité sont calculés à partir des deux premiers paramètres précédents. Enfin, le dernier paramètre, relatif à la vitesse du vent, est extrait des données recueillies au cours de l'année 2020 (Carte 11).

Afin d'anticiper l'indice de qualité du climat au future, nous avons choisi deux périodes temporelles : la première s'étend de 2041 à 2060, et la seconde de 2081 à 2100. Nous avons également utilisé le scénario de voie de concentration représentative (en anglais : Representative Concentration Pathway) modéré (RCP4.5), tel que préconisé par le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Le scénario RCP4.5 fait partie des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre utilisés dans les modèles climatiques pour anticiper les changements climatiques futurs. Son objectif est de maintenir les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre à un niveau modéré, tout en limitant l'augmentation de la température moyenne mondiale à moins de deux degrés Celsius par rapport aux niveaux préindustriels, conformément aux objectifs de l'accord de Paris sur le changement climatique. Cependant, il est crucial de noter que même dans ce scénario, des changements climatiques significatifs se produisent, entraînant des répercussions sur l'environnement, la société et l'économie.

Les données relatives aux conditions climatiques, telles que les précipitations, la température maximale et la température minimale, sont extraites du modèle climatique global MIROC6 (Model for Interdisciplinary Research On Climate version 6). Cette version améliorée de modèles climatiques précédents a été spécifiquement conçue pour simuler de manière précise les interactions complexes entre l'atmosphère, les océans, les glaces et d'autres composants du système climatique à l'échelle mondiale. Il est important de noter que le modèle climatique MIROC6 se distingue en tant que l'un des modèles les plus performants, particulièrement utilisé pour surveiller et évaluer le phénomène de désertification au niveau du monde. Ce modèle examine les variations climatiques passées, présentes et futures en utilisant diverses données climatiques, notamment les températures maximales et minimales, ainsi que les précipitations. Il est aussi intégré aux projections climatiques futures à une échelle réduite au sein du projet CMIP6. Cette initiative internationale rassemble des experts du climat du monde entier dans le but d'améliorer la compréhension des évolutions climatiques à venir. Il est à noter que le CMIP6 représente une

évolution du CMIP5, et ces projets sont coordonnés par le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Ci-après, une explication détaillée de la méthode d'extraction des paramètres, employée pour le calcul de l'indice du climat (CQI).

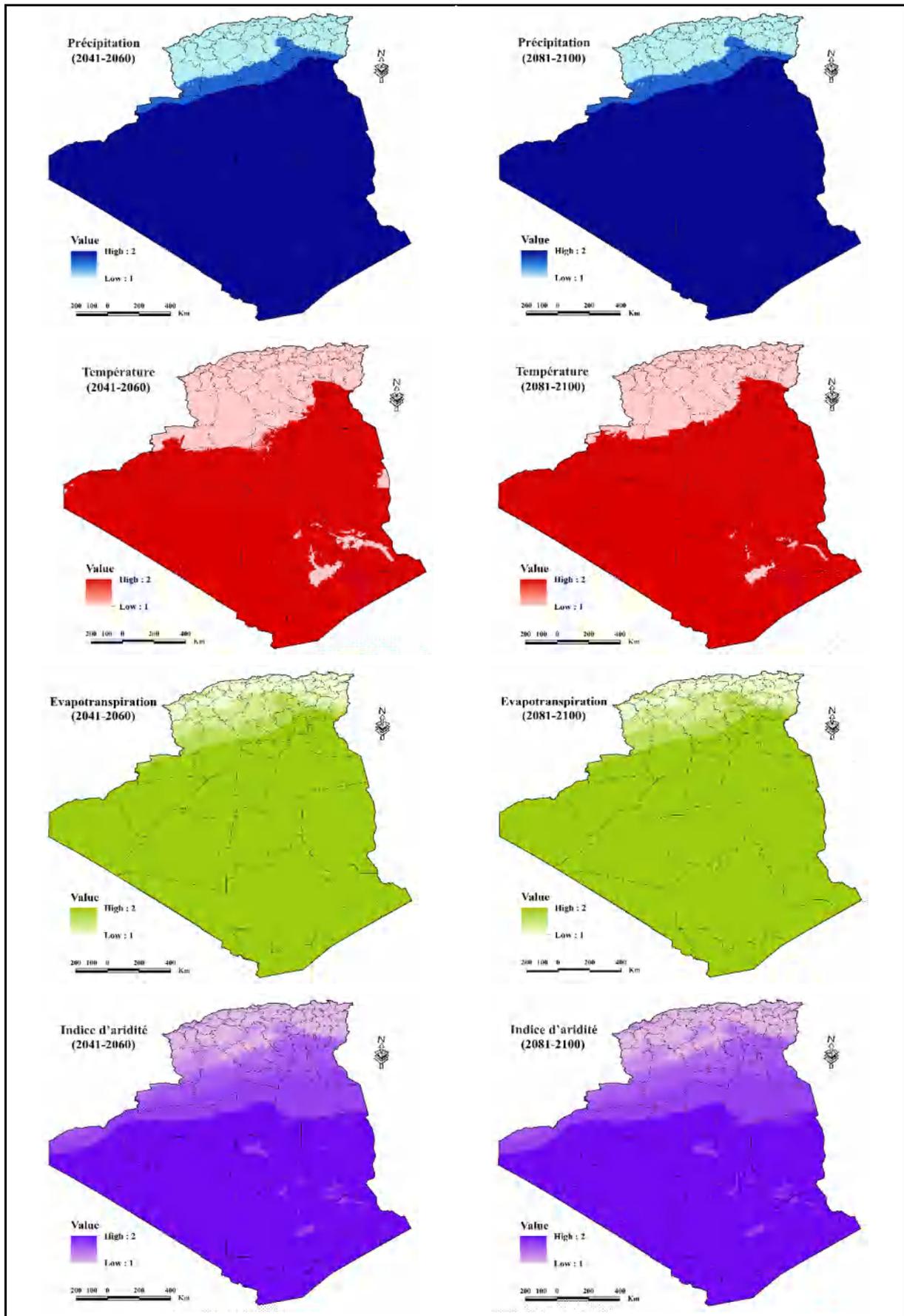
**Précipitation :** Elle représente la somme des précipitations mensuelles pendant les périodes (2041-2060) et (2081-2100), extraites de la base de données du site web WorldClim, avec une résolution spatiale de 30 secondes ( $\approx 900$  mètres).

**Température :** La température moyenne des deux périodes a été déterminée en calculant la moyenne des températures mensuelles respectives. Ces dernières ont également été obtenues à partir des données de température maximale et minimale mensuelles pour chaque période, téléchargées depuis le site WorldClim avec une résolution spatiale de 30 secondes.

**Indice d'Aridité (IA) :** Selon la convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification, le niveau d'aridité d'une région est déterminé par la quantité d'eau provenant des précipitations et la perte maximale d'eau par évapotranspiration potentielle. Cette mesure, appelée indice d'aridité (IA), est calculée selon la formule suivante :  $IA = P / ETP$ , où IA représente l'indice d'aridité, P correspond à la précipitation mensuelle (en mm), et ETP désigne l'évapotranspiration potentielle mensuelle (en mm/mois) (Silva et Azevedo, 2020).

**Evapotranspiration potentielle (ETP) :** Elle est calculée par la formule de Thornthwaite, permettant d'estimer l'ETP mensuelle en cm en fonction de la température mensuelle moyenne ( $^{\circ}C$ ). Cette estimation est exprimée par la relation  $ETP = c.t^{\alpha}$ , où les constantes  $c$  et  $\alpha$  sont spécifiques à une zone géographique et climatique considérées. La constante  $\alpha$  est déduite d'un indice thermique mensuel "i", déterminé par l'équation  $i = (t/5)^{1.514}$ . L'indice thermique annuel (I) résulte de la somme des 12 indices mensuels, et est linéairement corrélé à  $\alpha$  selon la formule proposée par Serra :  $\alpha = 0.016 I + 0.5$ . En conclusion, l'équation de Thornthwaite prend la forme suivante :  $ETP = 1.6 (10 t / I)^{\alpha}$  (Bouteldjaoui *et al.*, 2012).

**Evapotranspiration réelle (ETR) :** Elle est déterminée à l'aide de la formule de Turc, spécialement conçue pour la famille de courbes  $ETR = f(P, T)$ . Ces courbes sont élaborées à partir d'observations effectuées sur 254 bassins versants répartis dans divers climats du globe. La formule est exprimée comme suit :  $ETR = P [(0.9 + P^2 / L^2)]^{-0.5}$ , où P représente la pluviométrie moyenne annuelle (mm) et ETR est l'évapotranspiration réelle (mm/an). Le paramètre L, une fonction de la température moyenne annuelle (t en  $^{\circ}C$ ), est calculé selon l'équation :  $L = 300 + 25t + 0,05t^3$  (Anteur *et al.*, 2015).

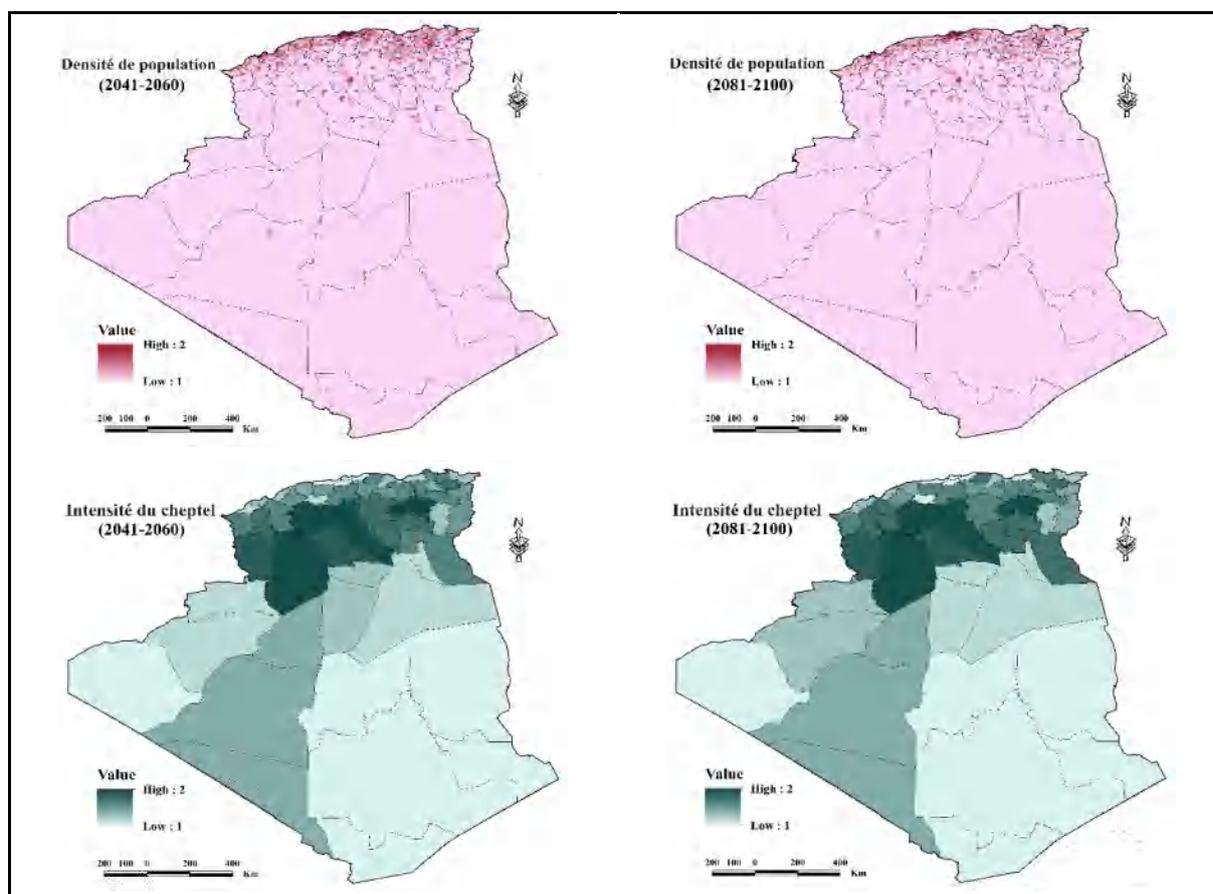


Carte 14 : Paramètres utilisés pour obtenir le CQI dans les périodes (2041-2060) et (2081-2100)

Pour mettre en œuvre cet indice, nous suivons la même approche que précédemment, où des catégories ont été attribuées à chaque paramètre et évaluées avec des valeurs de score spécifiques, variant de un (1) à deux (2). La valeur (1) indique une faible sensibilité des terres à la désertification (Tableau 09 et Carte 14).

### 2.3.1. Indice de qualité du management (MQI)

L'indice de qualité du management (MQI) se compose de trois (03) paramètres distincts. Tout d'abord, l'intensité d'utilisation des terres est dérivée des cartes d'utilisation des terres extraites du projet d'occupation des terres dans le cadre de l'initiative sur les changements climatiques (ICC). En raison du manque de données pour les projections futures, nous avons été obligés de recourir aux données de l'année 2020 (Carte 13). Deuxièmement, la densité de population a été calculée au niveau municipal pour les deux périodes (2041-2060) et (2081-2100) en se basant sur les données projetées des recensements nationaux de la population et des logements réalisés par l'Office National des Statistiques (ONS). Enfin, la densité du bétail a été calculée pour les mêmes périodes en se référant aux données projetées du Ministère de l'agriculture (Carte 15).



Carte 15 : Paramètres utilisés pour obtenir le MQI dans les périodes (2041-2060) et (2081-2100)

Le calcul de l'indice de sensibilité des terres à la désertification (DSI) pour les deux périodes temporelles (2041-2060) et (2081-2100), a reposé sur l'évaluation de cinq indices distincts. Ces indices comprenaient deux indices statiques (TQI et SQI), l'indice (VQI) de l'année 2020, ainsi que deux indices prédictifs (CQI et MQI). La méthode de calcul utilisée a été identique à celle employée précédemment (Figure 16).

### **Conclusion**

Le chapitre « Matériels et méthodes » revêt une importance primordiale pour garantir la précision et la transparence de nos recherches. Elle permet aux lecteurs de comprendre en détail les bases et les méthodes de notre étude. De plus, elle offre la possibilité de reproduire notre travail à l'avenir et facilite l'évaluation de la validité et de la crédibilité de nos résultats de recherche.

---

*Chapitre III*

*Résultats et discussions*

---

## Introduction

Dans le troisième chapitre, nous présenterons les principaux résultats obtenus, relatifs à l'évaluation, au suivi et à la prédiction de la sensibilité des terres à la désertification en Algérie. Cette partie sera également appuyée par des analyses et des explications des résultats des investigations. Notre approche consistera à superposer les résultats des études précédentes aux données empiriques actuelles.

## 1. Résultats

### 1.1. Poids des paramètres et des indices de qualité

En ce qui concerne la qualité des résultats de l'analyse factorielle (AF), il est à noter que l'indice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) a systématiquement dépassé le seuil de 0,60 dans tous les modèles d'analyse factorielle testés, reflétant ainsi la qualité des points d'échantillonnage utilisés. De plus, la valeur du test de sphéricité de Bartlett était nulle dans tous les cas, ce qui indique non seulement la signification statistique, mais également que les ensembles de données utilisés étaient appropriés pour l'analyse factorielle (AF). Par ailleurs, la variance cumulative expliquée dans l'ensemble des modèles a dépassé les 60 %, et le nombre de facteurs sélectionnés (c'est-à-dire les composants avec des valeurs propres supérieures à 1,0) dans les modèles d'analyse factorielle a varié de un (01) à trois (03) (Tableau 13).

**Tableau 13 :** Performances des modèles d'analyse factorielle (AF) utilisés pour calculer les poids des paramètres et des indices. /DQDOVHIDFWRULHOOHDPWPPLVHHQKUDJ, la méthode d'analyse en composantes principales (ACP)

Années	Test/paramètre statistique	AF <sub>TQI</sub>	AF <sub>SOI</sub>	AF <sub>CQI</sub>	AF <sub>VOI</sub>	AF <sub>MQI</sub>	AF <sub>DSI</sub>
<b>2000</b>	Indice de Kaiser-Meyer-Olkin	0.62	0.68	0.78	0.77	0.60	0.68
	Test de sphéricité de Bartlett	Sig	Sig	Sig	Sig	Sig	Sig
	Composants à valeurs propres > 1.0	2	3	1	1	1	1
	Variance expliquée cumulative (%)	64.46	65.60	66.64	91.11	66.58	60.48
<b>2010</b>	Indice de Kaiser-Meyer-Olkin	0.62	0.68	0.70	0.80	0.61	0.65
	Test de sphéricité de Bartlett	Sig	Sig	Sig	Sig	Sig	Sig
	Composants à valeurs propres > 1.0	2	3	1	1	1	1
	Variance expliquée cumulative (%)	64.46	65.60	61.44	92.38	67.33	66.14
<b>2020</b>	Indice de Kaiser-Meyer-Olkin	0.62	0.68	0.76	0.81	0.62	0.66
	Test de sphéricité de Bartlett	Sig	Sig	Sig	Sig	Sig	Sig
	Composants à valeurs propres > 1.0	2	3	1	1	1	2
	Variance expliquée cumulative (%)	64.46	65.60	65.21	91.88	68.64	72.71

Les communalités ainsi que les poids des paramètres obtenus par l'analyse factorielle (AF), sont utilisés dans le calcul des cinq indices de qualité suivants : l'indice de qualité topogéologique (TQI), l'indice de qualité du sol (SQI), l'indice de qualité du climat (CQI), l'indice de qualité de la végétation (VQI) et l'indice de qualité du management (MQI), au cours des trois périodes étudiées (2000, 2010 et 2020) (Tableau 14).

**Tableau 14** : Communalités et poids des paramètres utilisés pour calculer les cinq indices de qualité, issus de l'analyse factorielle (TQI, SQI, CQI, VQI, et MQI)

Indices	Paramètres	2000		2010		2020	
		Communalités	Poids (%)	Communalités	Poids (%)	Communalités	Poids (%)
<b>TQI</b>	Pente	0.641	29.41	0.641	29.41	0.641	29.41
	Exposition	0.089	4.08	0.089	4.08	0.089	4.08
	Groupes de sol	0.786	36.05	0.786	36.05	0.786	36.05
	Matériel parental	0.664	30.46	0.664	30.46	0.664	30.46
<b>SQI</b>	Densité apparente	0.735	14	0.735	14	0.735	14
	Teneur en argile	0.53	10.1	0.53	10.1	0.53	10.1
	Fragments grossiers	0.731	13.93	0.731	13.93	0.731	13.93
	Sable	0.614	11.69	0.614	11.69	0.614	11.69
	Limon	0.793	15.11	0.793	15.11	0.793	15.11
	Carbone organique du sol	0.73	13.91	0.73	13.91	0.73	13.91
	pH du sol	0.552	10.52	0.552	10.52	0.552	10.52
	Densité du carbone organique	0.564	10.74	0.564	10.74	0.564	10.74
<b>CQI</b>	Précipitation	0.847	25.42	0.901	29.32	0.861	26.4
	Température (LST)	0.704	21.13	0.5	16.27	0.567	17.38
	Évapotranspiration	0.685	20.56	0.717	23.33	0.682	20.91
	Vitesse du vent	0.231	6.93	0.159	5.18	0.281	8.61
		0.865	25.96	0.796	25.9	0.871	26.7
<b>VQI</b>	Risque d'incendie	0.94	25.79	0.938	25.38	0.949	25.82
	Protection contre l'érosion	0.968	26.56	0.975	26.39	0.97	26.4
	Résistance à la sécheresse	0.957	26.25	0.958	25.93	0.954	25.96
	Couverture végétale (NDVI)	0.78	21.4	0.824	22.3	0.802	21.82
<b>MQI</b>	Intensité d'utilisation des terres	0.815	48	0.805	46.8	0.786	44.68
	Densité de population	0.711	41.87	0.666	38.72	0.619	35.19
	Intensité du cheptel	0.172	10.13	0.249	14.48	0.354	20.13

Pour l'indice (TQI) statique, le matériel parental se distingue avec le poids le plus élevé, atteignant 36,05 %. Il est suivi par les groupes de sol (30,46 %), la pente (29,41 %) et l'exposition des pentes (4,08 %).

Les résultats de l'indice (SQI) statique révèlent une convergence des poids des paramètres. Le limon affiche le poids le plus élevé (15,11 %), tandis que l'argile présente le poids le plus faible (10,1 %). Les autres poids des paramètres se placent dans une fourchette intermédiaire entre ces deux valeurs, incluant ainsi la densité apparente (14 %), les fragments grossiers (13,93 %), le sable (11,69 %), le carbone organique du sol (13,91 %), le pH du sol (10,52 %) et la densité de carbone organique (10,74 %).

Les paramètres les plus importants pour l'indice (CQI) étaient l'indice d'aridité, les précipitations, la température de la surface terrestre (LST) et l'évapotranspiration. En 2010, l'indice d'aridité a été classé en deuxième position avec une pondération de 25,9 %, conservant toutefois les pondérations les plus élevées en 2000 et 2020, avec 25,96 % et 26,7 %, respectivement. Pour les précipitations, leur poids était de 29,32 % en 2010, comparativement à 20,42 % en 2000 et 26,4 % en 2020. En ce qui concerne le poids de LST, les pourcentages étaient de 21,13 %, 16,27 % et 17,38 % pour les années 2000, 2010 et 2020. Pour l'évapotranspiration, les pondérations étaient de 20,56 %, 23,33 % et 20,91 % sur les trois années en question.

Concernant l'indice (VQI), l'analyse factorielle a révélé l'ordre de poids des paramètres au cours des trois années étudiées. Les poids les plus élevés étaient attribués à la protection contre l'érosion, représentant respectivement 26,56 %, 26,39 % et 26,4 % en 2000, 2010 et 2020. Parallèlement, la résistance à la sécheresse occupait la deuxième position en termes de poids au cours des trois périodes, avec des pourcentages de 26,25 % en 2000, 25,93 % en 2010 et 25,96 % en 2020. De manière similaire, les pondérations attribuées au risque d'incendie (25,79 %, 25,38 % et 25,82 % en 2000, 2010 et 2020 respectivement) ainsi qu'au couvert végétal représenté par le NDVI (21,4 %, 22,3 % et 21,82 % en 2000, 2010 et 2020 respectivement), n'ont pas connu de changements significatifs.

Dans la même optique, l'indice (MQI) présentait un ordre similaire de pondération des paramètres tout au long des trois années étudiées. L'intensité d'utilisation des terres occupait la première place, avec des pondérations de 48 % en 2000, 46,8 % en 2010 et 44,68 % en 2020. Cependant, la densité de population était classée en deuxième position, avec des pourcentages respectifs de 41,87 %, 38,72 % et 35,19 % en 2000, 2010 et 2020. Au fil de ces trois années, l'intensité du cheptel affichait

les poids les plus faibles, représentant ainsi 10,13 % en 2000, 14,48 % en 2010 et 20,13 % en 2020.

Les communalités ainsi que les poids des indices utilisés pour calculer l'indice de sensibilité à la désertification (DSI) pour les années 2000, 2010 et 2020 sont présentés dans le (Tableau 15).

**Tableau 15 :** Communalités et poids des cinq indices de qualité utilisés pour le calcul de l'indice de sensibilité à la désertification (DSI), issus de l'analyse factorielle (TQI, SQI, CQI, VQI, et MQI)

Indices	2000		2010		2020	
	Communalités	Poids (%)	Communalités	Poids (%)	Communalités	Poids (%)
<b>TQI</b>	0.058	1.92	0.071	2.53	0.403	11.08
<b>SQI</b>	0.626	20.7	0.627	22.34	0.702	19.31
<b>CQI</b>	0.823	27.22	0.815	29.05	0.863	23.73
<b>VQI</b>	0.894	29.56	0.888	31.65	0.897	24.67
<b>MQI</b>	0.623	20.6	0.405	14.43	0.771	21.21

Pendant les années 2000 et 2010, les indices de qualité ont maintenu un ordre de pondération similaire. Le classement était dominé par l'indice (VQI), avec des pourcentages respectifs de 29,56 % et 31,65 %. En deuxième position, l'indice (CQI) affichait des pondérations de 27,22 % et 29,05 %. Le troisième rang était attribué à l'indice (SQI) avec des poids de 20,7 % et 22,34 %. L'indice (MQI) occupait la quatrième position avec des pondérations de 20,6 % et 14,43 %. Enfin, l'indice (TQI) se positionnait en cinquième place, avec des pourcentages de 1,92 % et 2,53 %.

2020, l'indice (VQI) a représenté le poids le plus élevé, soit 24,67 %. En second lieu, on trouve l'indice (CQI) avec 23,73 %. En troisième position, l'indice (MQI) a constitué 21,21 %, suivi par l'indice (SQI) à la quatrième place avec 19,31 %. Enfin, l'indice (TQI) a obtenu la plus faible pondération, soit 11,08 %.

### **1.2. Analyse spatiale des indices de qualité**

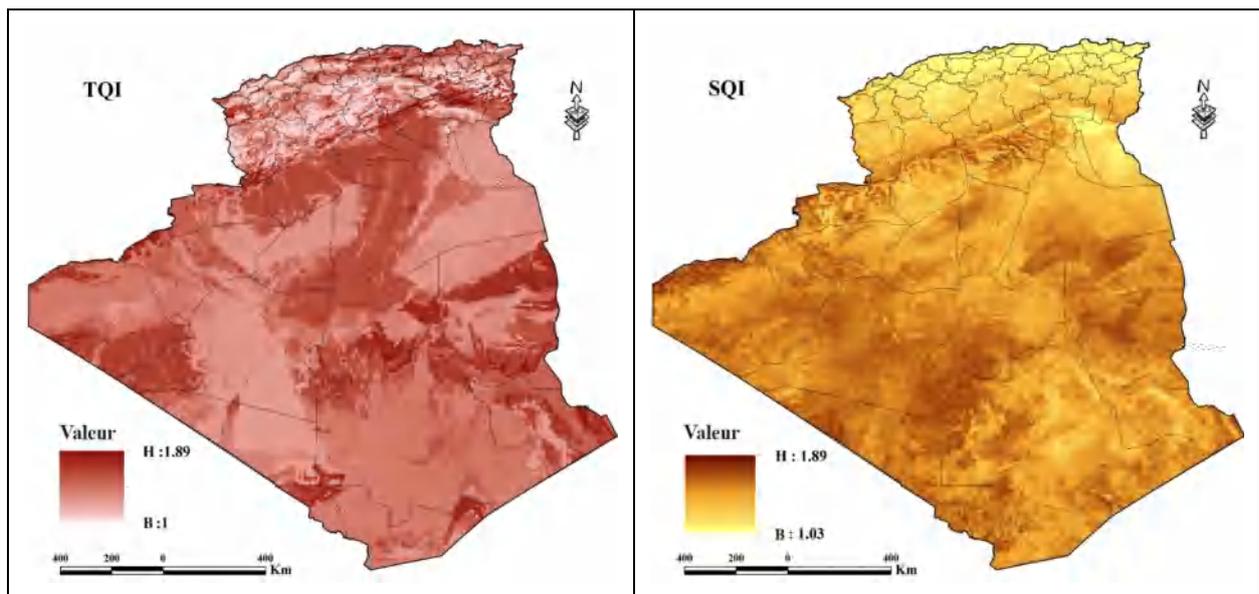
Au cours des trois années étudiées (2000, 2010 et 2020), les cinq indices de qualité ont révélé des changements spatio-temporels considérables (Cartes 16 - 19). Les différentes classes de qualité de l'indice (TQI) couvraient 21,83 % pour la qualité basse, 48,17 % pour la qualité moyenne, et 30 % pour la qualité élevée dans le territoire algérien (Tableau 16).

**Tableau 16** : Superficie des classes de qualité pour les indices (TQI) et (SQI). Les superficies sont exprimées en km<sup>2</sup> et en pourcentage (%) de la superficie totale

Indices	Classe	Qualité	Score	Sup (km <sup>2</sup> )	Sup (%)
TQI	1	Elevée	< 1.30	699499.07	30.00
	2	Moyenne	1.30 - 1.45	1123032.89	48.17
	3	Faible	> 1.45	509026.72	21.83
SQI	1	Elevée	< 1.13	2022.72	0.09
	2	Moyenne	1.13 - 1.45	248124.43	10.63
	3	Faible	> 1.45	2084639.30	89.28

La classe de qualité faible prédominait dans les régions du Nord-Est présaharien, au Sud des hautes Plateaux, ainsi qu'à l'Est et au Centre-Ouest du pays (Carte 16).

Concernant l'indice de qualité du sol (SQI), la classe de qualité faible s'étendait sur une large zone géographique, couvrant 89,28 % du territoire national, allant des hautes plaines du Nord à l'extrême-Sud de l'Algérie. La catégorie de qualité intermédiaire représentait 10,63 % des terres algériennes, caractérisant principalement le Nord du pays et certaines parties des hautes Plateaux (Tableau 16). En même temps, seulement 0,09 % de l'Algérie, situé précisément dans les zones côtières au Nord, était classé comme une classe de haute qualité du sol (Carte 16).



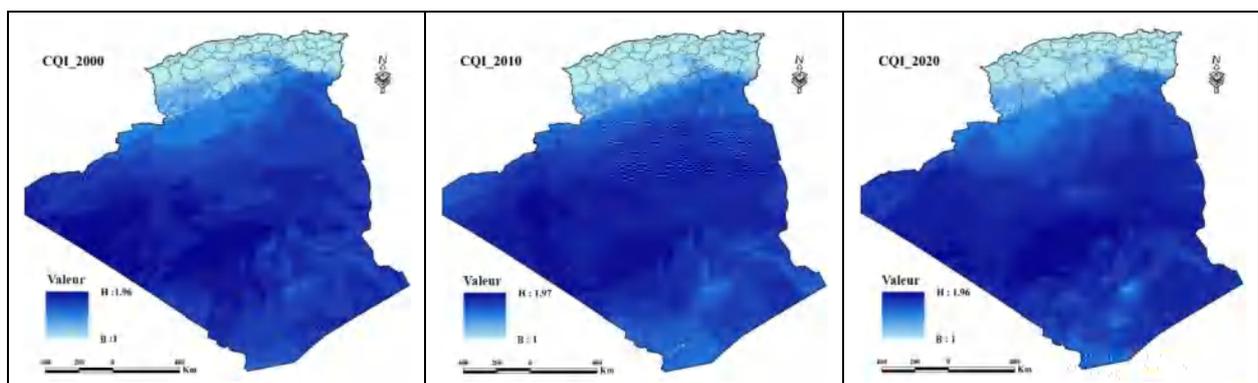
**Carte 16** : Représentation spatiale des TQI et SQI

Parmi les indices soumis à des variations temporelles, on peut citer l'indice (CQI). Au cours des années 2000, 2010 et 2020, la classe faible de cet indice couvrait respectivement 48,31 %, 46,93 % et 50,7 % du territoire algérien. La classe moyenne s'étendait sur 45,64 %, 44,82 % et 41,65 % de la superficie totale au cours de ces mêmes années. Quant à la classe de qualité élevée, elle occupait respectivement 6,05 %, 8,25 % et 7,65 % du pays (Tableau 17).

**Tableau 17 : S** indice (CQI). Les superficies sont exprimées en km<sup>2</sup> et en pourcentage (%) de la superficie totale

Indice	Classe	Qualité	Score	2000		2010		2020	
				Sup (km <sup>2</sup> )	Sup (%)	Sup (km <sup>2</sup> )	Sup (%)	Sup (km <sup>2</sup> )	Sup (%)
CQI	1	Elevée	< 1.15	141055.18	6.05	192575.81	8.25	178483.90	7.65
	2	Moyenne	1.15 - 1.81	1065438.94	45.64	1046038.56	44.82	972083.49	41.65
	3	Faible	> 1.81	1127730.81	48.31	1095192.35	46.93	1183393.00	50.70

indice (CQI) a révélé un gradient Nord-Sud au cours des trois périodes étudiées (2000, 2010 et 2020). Selon cette classification, le Nord de l'Algérie était caractérisé par une faible sensibilité, les Hauts Plateaux par une sensibilité moyenne, tandis que le pré-Sahara affichait une très forte sensibilité à la désertification (Carte 17).



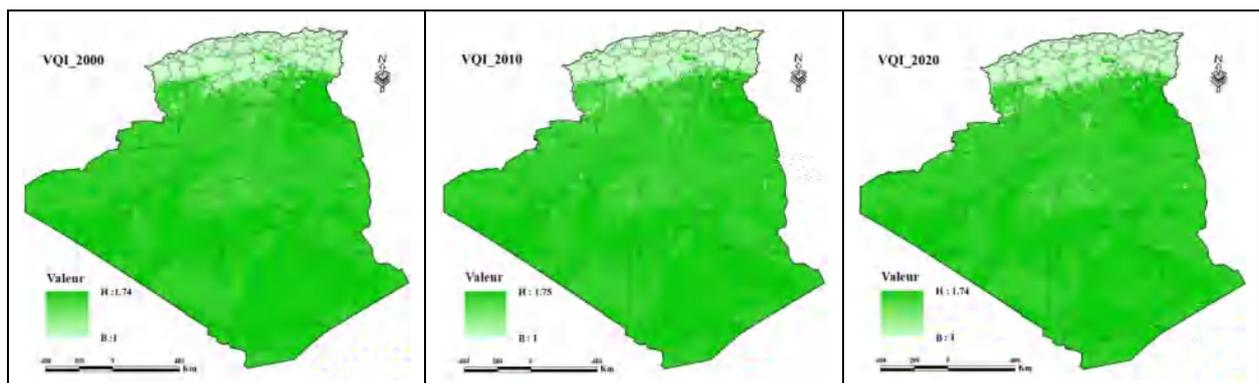
**Carte 17 :** Représentation spatiale du CQI dans les années 2000, 2010 et 2020

Au cours des années 2000, 2010 et 2020, la classe de qualité faible de l'indice (VQI) a occupé respectivement 93,91 %, 91,64 % et 93,10 % du territoire algérien (Tableau 6). Dans le même temps, la classe de qualité moyenne de cet indice a augmenté de 6,01 % en 2000 à 8,28 % en 2010, pour ensuite diminuer à 6,82 % en 2020. Cependant, la classe de qualité élevée est restée stable à seulement 0,08 % du territoire national depuis 2000 (Tableau 18).

**Tableau 18 :** Superficie des classes de indice (VQI). Les superficies sont exprimées en km<sup>2</sup> et en pourcentage (%) de la superficie totale

Indice	Classe	Qualité	Score	2000		2010		2020	
				Sup (km <sup>2</sup> )	Sup (%)	Sup (km <sup>2</sup> )	Sup (%)	Sup (km <sup>2</sup> )	Sup (%)
VQI	1	Elevée	< 1.13	1711.24	0.08	1727.32	0.08	1739.24	0.08
	2	Moyenne	1.13 - 1.38	140282.26	6.01	193308.51	8.28	159099.50	6.82
	3	Faible	> 1.38	2191160.66	93.91	2137928.76	91.64	2172743.28	93.10

L'évaluation de l'indice de qualité de la végétation (VQI) a révélé d'importantes zones de désertification ou de zones fortement sensibles à la désertification, toutes classées dans la catégorie de qualité la plus faible. La majorité de ces zones se situe dans le Sud des Hauts Plateaux et dans la région Saharienne (Carte 18).



**Carte 18 :** Représentation spatiale de VQI dans les années 2000, 2010 et 2020

En ce qui concerne l'influence anthropique, l'indice de qualité du management (MQI) a présenté différentes catégories au cours des trois années d'étude. En 2000, la classe de qualité la plus faible du MQI représentait 27,5 % de la superficie totale, diminuant à 10,9 % en 2010 et 9,2 % en 2020, et caractérisait principalement les Hauts Plateaux (Tableau 19). La classe de qualité moyenne du (MQI) couvrait respectivement 71,12 %, 89,78 % et 89,75 % de la superficie totale en 2000, 2010 et 2020. Quant à la classe de qualité élevée du (MQI), elle représentait un faible pourcentage, soit 1,23 %, 1,05 % et 1,01 % de la superficie totale en 2000, 2010 et 2020, principalement localisée dans les régions côtières (Carte 19).

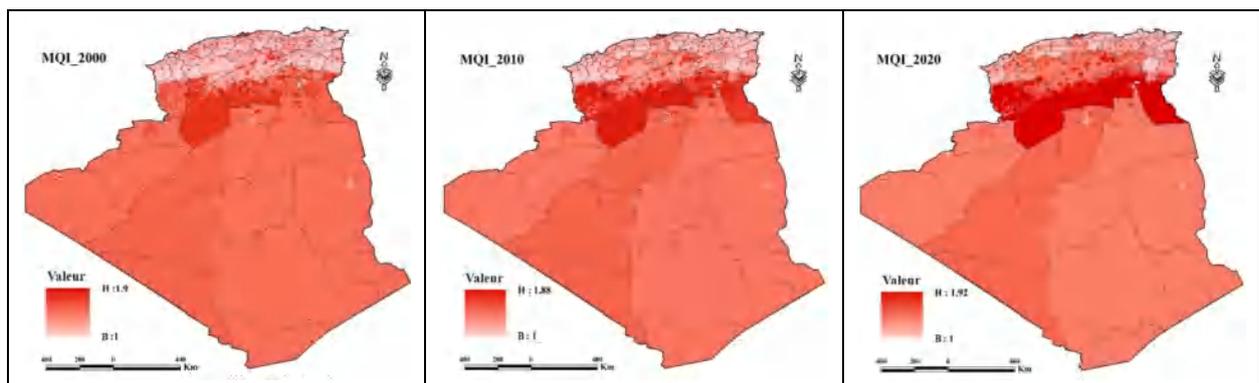
Dans l'ensemble, ces résultats mettent en lumière que les catégories de qualité les plus faibles et les plus importantes ont été observées dans les indices (VQI), (CQI) et (SQI).

**Tableau 19 : S**

indice (MQI). Les superficies sont exprimées

en km<sup>2</sup> et en pourcentage (%) de la superficie totale

Indice	Classe	Qualité	Score	2000		2010		2020	
				Sup (km <sup>2</sup> )	Sup (%)	Sup (km <sup>2</sup> )	Sup (%)	Sup (km <sup>2</sup> )	Sup (%)
MQI	1	Elevée	< 1.25	28605.05	1.23	24466.29	1.05	23465.98	1.01
	2	Moyenne	1.25 - 1.50	1660225.12	71.12	2095658.32	89.78	2095118.75	89.75
	3	Faible	> 1.50	645369.60	27.65	214075.17	9.17	215614.76	9.24



**Carte 19 :** Représentation spatiale du MQI dans les années 2000, 2010 et 2020

### 1.3. Analyse spatiale de l'indice de sensibilité à la désertification (DSI)

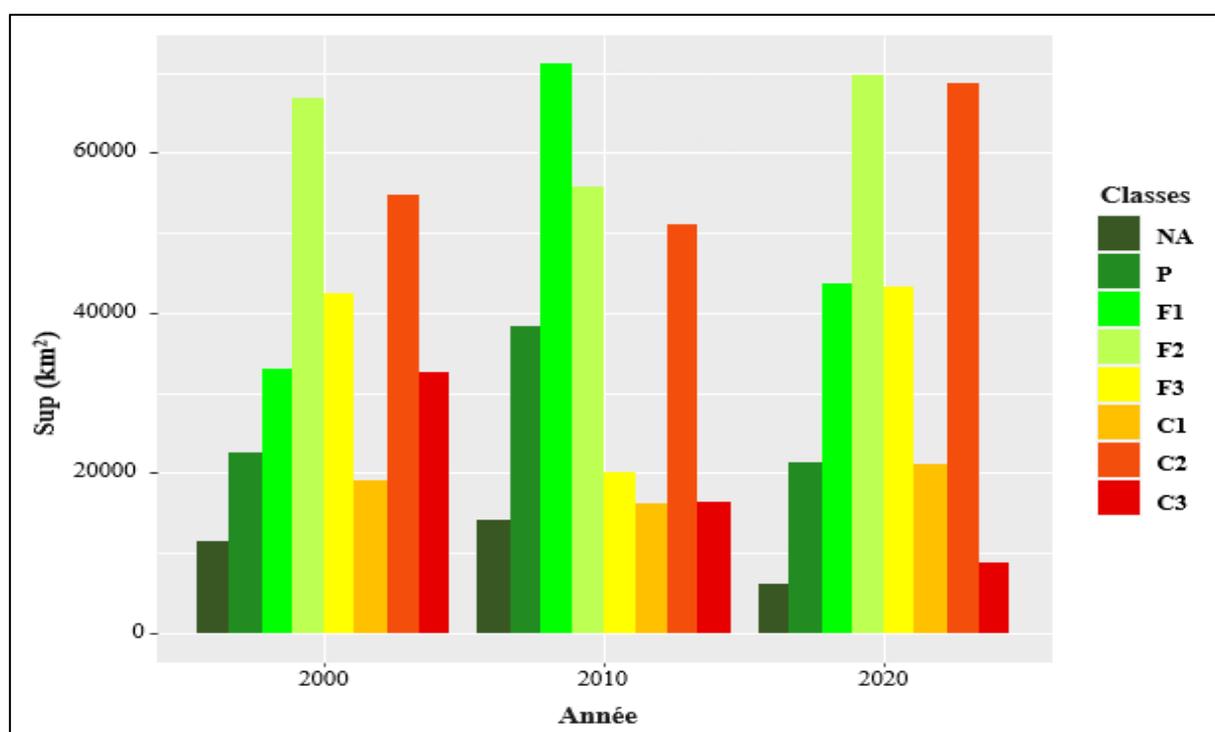
Contrairement à l'analyse spatiale des indices de qualité, qui couvraient l'ensemble du pays, les résultats finaux de l'indice (DSI), mettaient en évidence les modèles géographiques de sensibilité des terres à la désertification dans les régions non désertiques d'Algérie, couvrant ainsi environ 12 % de sa superficie totale.

Les classes de sensibilité critique à la désertification (C1, C2 et C3), affichant des scores supérieurs à 1,38, couvraient une superficie d'environ 106 000 km<sup>2</sup> en 2000, représentant ainsi 38 % des terres non désertiques de l'Algérie. En 2010, cette superficie était de 83 244 km<sup>2</sup>, couvrant 29 %, et en 2020, elle avait atteint 98 240 km<sup>2</sup>, représentant 35 % du pays (Tableau 20). Plus spécifiquement, le pré-Sahara et une grande partie des Hauts Plateaux ont été classés comme extrêmement vulnérables à la désertification au cours des années étudiées (Carte 20). Quant aux trois classes des terres fragiles (F1, F2 et F3) affichant des scores compris entre 1,23 et 1,37, elles représentaient la plus grande superficie de terres non désertiques en Algérie. En 2000, elles occupaient 142 340 km<sup>2</sup>, soit 50 % de la superficie totale ; en 2010, elle atteignait 146 874 km<sup>2</sup>, couvrant 52 %, et en 2020, elle s'élevait à 156 830 km<sup>2</sup>, représentant 55 % du territoire algérien (Tableau 20).

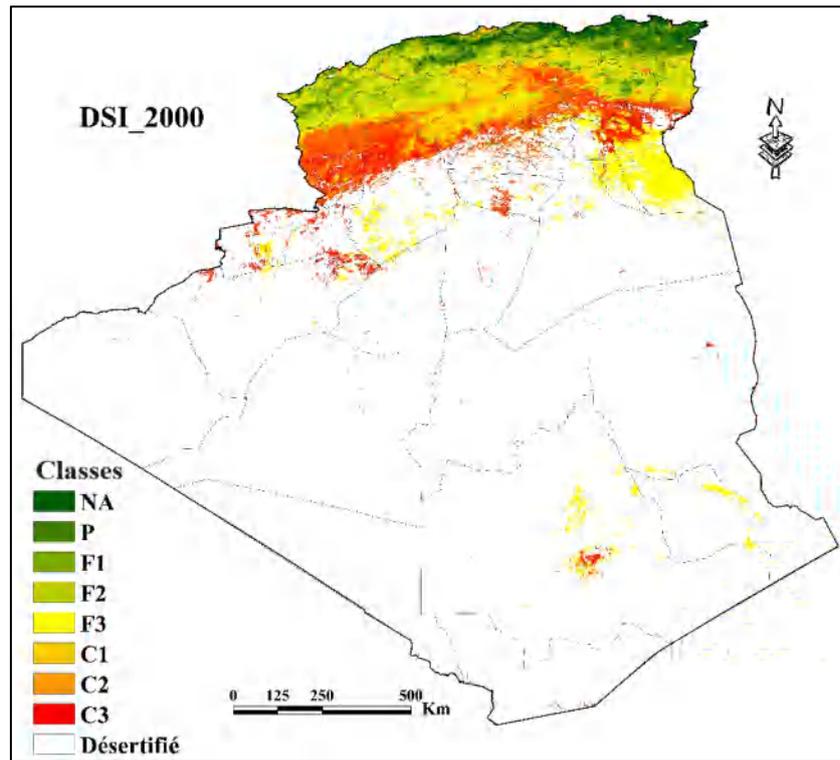
**Tableau 20 : S** indice (DSI). Les superficies sont exprimées en km<sup>2</sup> et en pourcentage (%) de la superficie totale. A noter que : NA (Non Affectées) ; P (Potentiellement affectées) ; F1, F2 et F3 (Fragiles - degrés 1, 2 et 3) ; C1, C2 et C3 (Critiques - degrés 1, 2 et 3)

Classes	2000		2010		2020	
	Sup (Km <sup>2</sup> )	Sup (%)	Sup (Km <sup>2</sup> )	Sup (%)	Sup (Km <sup>2</sup> )	Sup (%)
NA	11501,39	4,07	14059,58	4,98	6114,06	2,16
P	22707,03	8,04	38396,41	13,59	21404,87	7,57
F1	32994,34	11,68	71407,82	25,27	43711,85	15,47
F2	67000,10	23,71	55571,42	19,67	69908,95	24,74
F3	42345,56	14,99	19895,00	7,04	43211,53	15,29
C1	18813,99	6,66	15957,64	5,65	20763,59	7,35
C2	54844,86	19,41	51220,08	18,13	68896,29	24,38
C3	32344,01	11,45	16067,42	5,69	8573,57	3,03

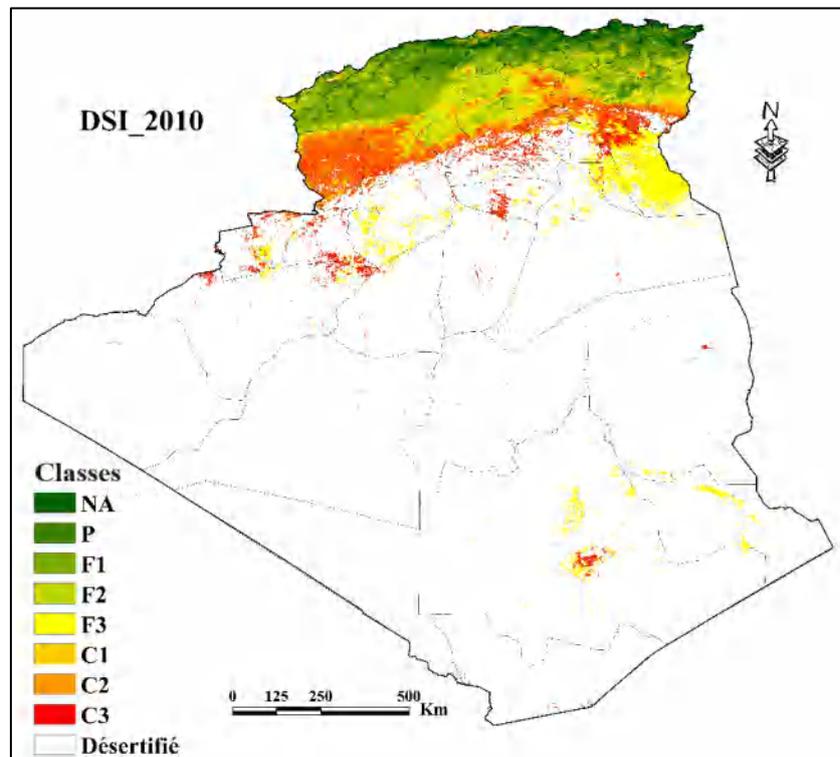
Les trois classes fragiles se trouvaient principalement sur les Hauts Plateaux et dans certaines oasis sahariennes (Carte 21). Les classes affichant un score inférieur à 1,23, caractérisées à la fois par des terres potentielles et non affectées, se limitaient à une étendue restreinte de terres non désertiques en Algérie (Carte 22). Ces régions couvraient environ 34 208 km<sup>2</sup> en 2000, 52 456 km<sup>2</sup> en 2010 et 27 518 km<sup>2</sup> en 2020, situées dans la partie Nord de l'Algérie (Tableau 20, Figure 17).



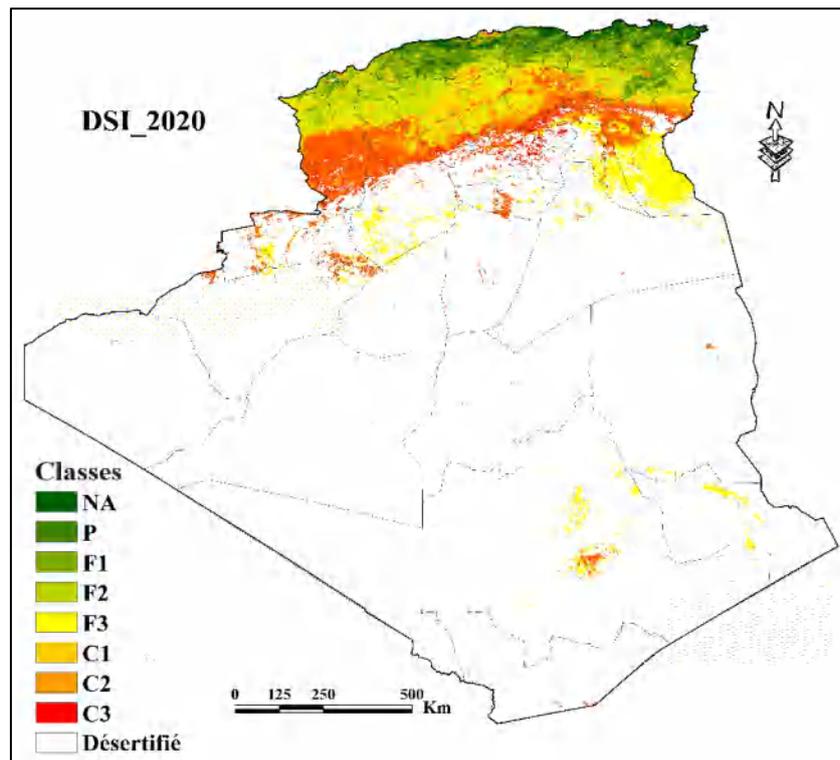
**Figure 17 :** Graphique des superficies en km<sup>2</sup> pour les classes de indice (DSI) dans les années 2000, 2010 et 2020



**Carte 20** : Modèle spatial de l'indice de sensibilité à la désertification (DSI) dans les terres non désertiques d'Algérie en 2000



**Carte 21** : Modèle spatial de l'indice de sensibilité à la désertification (DSI) dans les terres non désertiques d'Algérie en 2010



**Carte 22 :** Modèle spatial de l'indice de sensibilité à la désertification (DSI) dans les terres non désertiques d'Algérie en 2020

Par ailleurs, au cours des trois années étudiées (2000, 2010 et 2020), la corrélation indice (DSI) et les cinq indices de qualité (TQI, SQI, CQI, VQI et MQI) a révélé une tendance similaire (Tableau 21).

**Tableau 21 :** Matrice de corrélation, exprimée par les coefficients de Pearson entre l'indice (DSI) et les cinq indices de qualité pour les années 2000, 2010 et 2020

Indices	DSI		
	2000	2010	2020
TQI	0.189	0.210	0.296
SQI	0.776	0.767	0.769
CQI	0.963	0.968	0.944
VQI	0.939	0.937	0.936
MQI	0.704	0.514	0.301

L'indice (CQI) se positionne en tête, avec une corrélation fortement positive avec l'indice (DSI), enregistrant des coefficients de Pearson de 0,963 en 2000, 0,968 en 2010, et 0,944 en 2020. En

deuxième position, on retrouve l'indice de végétation (VQI) avec des coefficients de corrélation de 0,939 en 2000, 0,937 en 2010, et 0,936 en 2020.

À la troisième place, l'indice de sol (SQI) présente des coefficients de corrélation respectifs de 0,776 en 2000, 0,767 en 2010, et 0,769 en 2020. En quatrième position, l'indice de management (MQI) révèle des corrélations positives moyenne à fortes avec l'indice (DSI), enregistrant des valeurs de 0,704 en 2000, 0,514 en 2010, et 0,301 en 2020.

En dernière position, l'indice de qualité topogéologique (TQI) révèle une corrélation positive moyenne avec l'indice (DSI), affichant des valeurs respectives de 0,189 en 2000, 0,210 en 2010, et 0,296 en 2020. Il convient de noter que les résultats de l'analyse des corrélations sont cohérents avec ceux de l'analyse factorielle ; c'est-à-dire que les indices de qualité présentant des corrélations élevées avec l'indice (DSI) avaient les poids les plus élevés dans l'analyse factorielle, et vice versa.

#### 1.4. Analyse spatiale de l'évolution de la sensibilité à la désertification dans le temps

Dans l'ensemble, les résultats de l'étude indiquent qu'entre 2000 et 2020, 22 % des terres non désertiques sont restées inchangées, 27 % ont changé une fois, et 41 % ont connu deux changements (Figure 18).

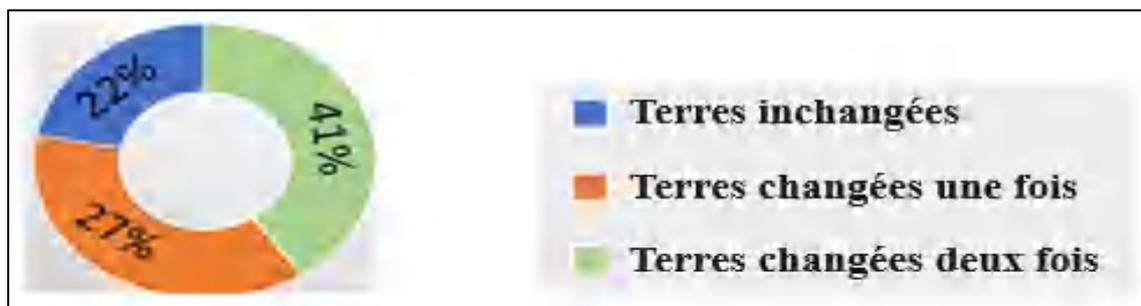
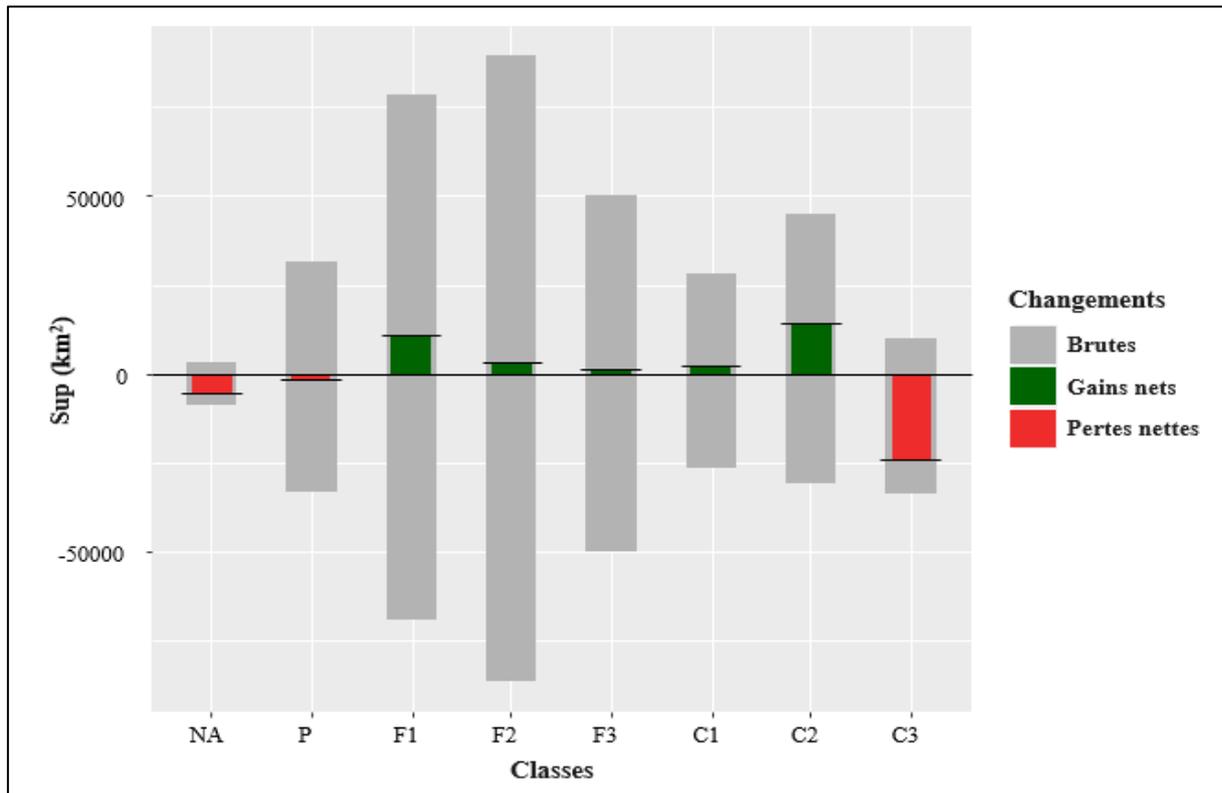


Figure 18 : Distribution en pourcentage du nombre de changements pour chaque zone dans les trois années étudiées

Par ailleurs, les trois classes de terres fragiles (F1, F2, F3) et deux des classes des terres critiques (C1, C2) ont augmenté en superficie entre 2000 et 2020, tandis que les terres non affectées (NA), potentiellement affectées (P) et hautement critiques (C3) correspondent au territoire perdu. Les classes (C2) et (C3) se distinguent par des gains nets les plus importants (15 000 km<sup>2</sup>) et des pertes nettes les plus significatives (25 000 km<sup>2</sup>). Ces évolutions, incluant les superficies, les variations brutes et nettes (gains nets et pertes nettes) pour chaque classe de sensibilité des terres à la désertification, sont détaillées dans la (Figure 19).



**Figure 19 :** Variations brutes et nettes (gains nets et pertes nettes) pour chaque classe de indice (DSI) entre 2000 et 2020

Pour approfondir l'analyse des changements de classes de désertification, il ressort que la période de 2000 à 2010 a été marquée par une prédominance de changements positifs. La transformation la plus significative s'est manifestée par la conversion de 42 200 km<sup>2</sup> de terres de la classe (F2) à la classe (F1), particulièrement observée dans les chaînes de montagnes de l'Atlas Tellien et dans la partie Nord- (Figure 20).

D'autres transitions positives dans les Hauts Plateaux et la partie nord du pays comprenaient la conversion de (F3) à (F2) (~27 500 km<sup>2</sup>), de (C3) à (C2) (~18 500 km<sup>2</sup>), de (C2) à (C1) (~11 500 km<sup>2</sup>), de (F3) à (F1) (~8 400 km<sup>2</sup>), et de (F1) à (P) (~13 500 km<sup>2</sup>) (Carte 23).

En revanche, les transitions observées entre 2010 et 2020 ont pris une direction opposée et se sont produites dans les mêmes régions, présentant toutefois des variations légères en termes de superficie et de disposition spatiale, à l'exception du changement positif des classes (C3) à (C2) (Figure 20).

Les changements négatifs entre 2010 et 2020 comprenaient les transitions suivantes : de (F1) à (F2) (~43 500 km<sup>2</sup>), de (F2) à (F3) (~27 000 km<sup>2</sup>), de (P) à (F1) (~21 000 km<sup>2</sup>) et de (C1) à (C2) (~9 000 km<sup>2</sup>) (Carte 24).

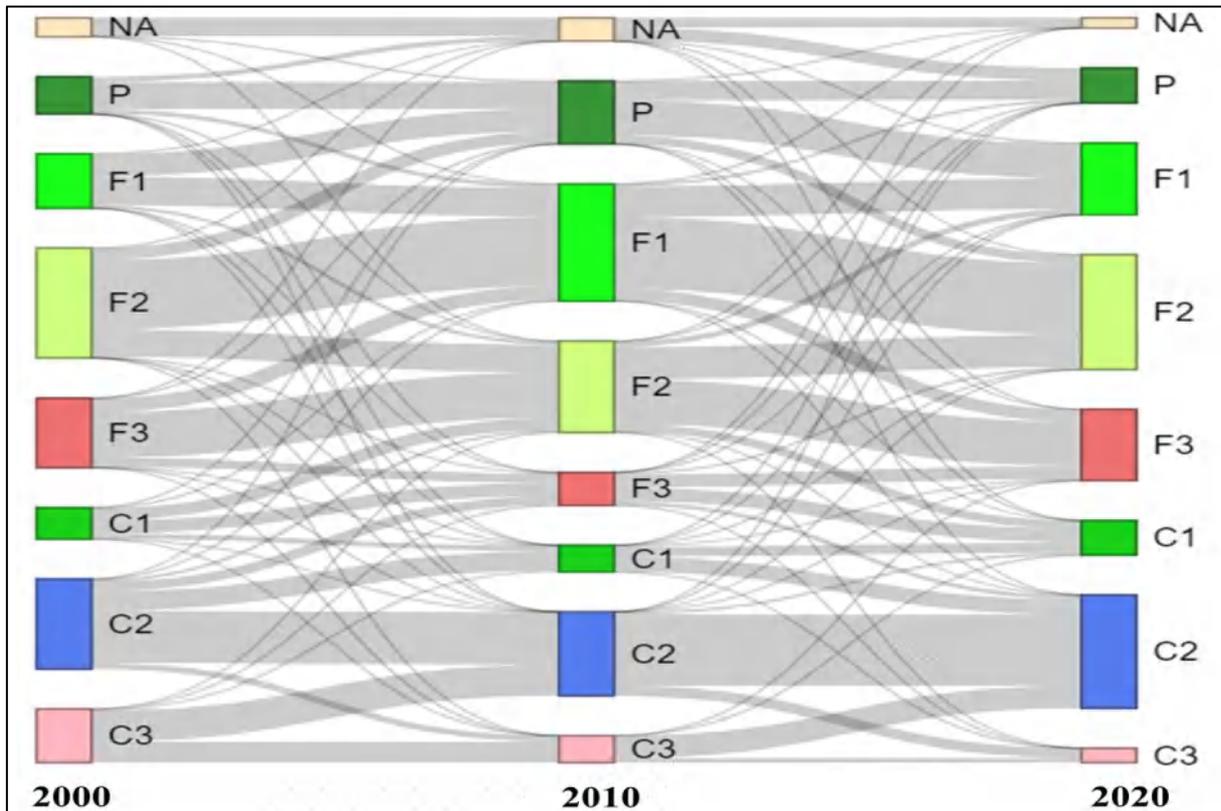
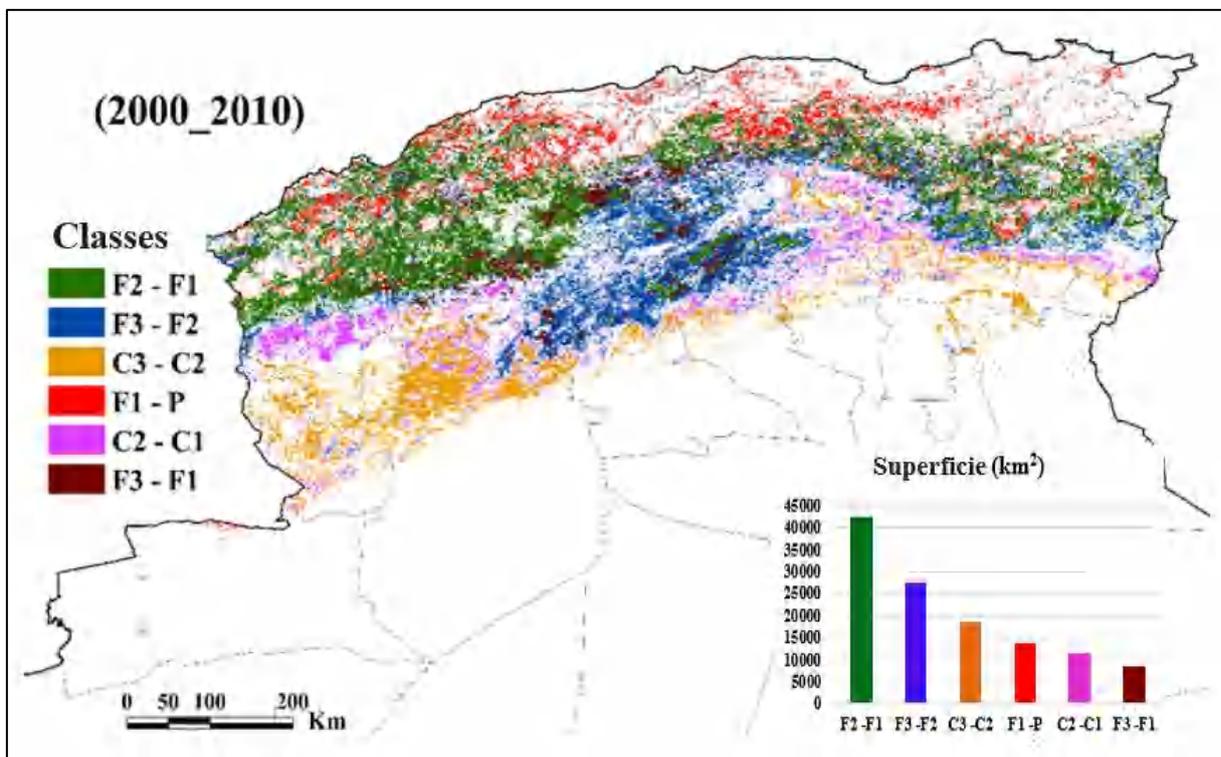
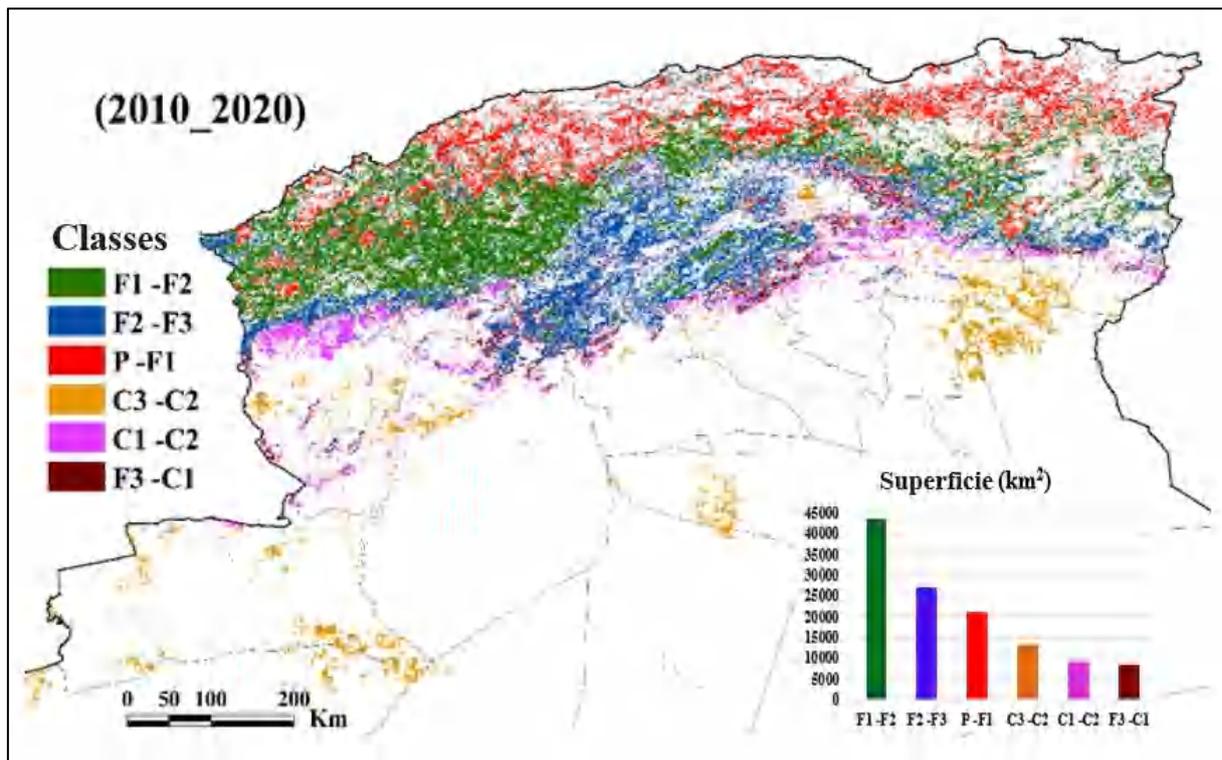


Figure 20 : Diagramme de Sankey illustrant l'évolution des classes de sensibilité des terres à la désertification de l'Algérie au fil des années 2000, 2010 et 2020



Carte 23 : Superficie et répartition spatiale des plus fortes variations de sensibilité des terres à la désertification entre 2000 et 2010 en Algérie

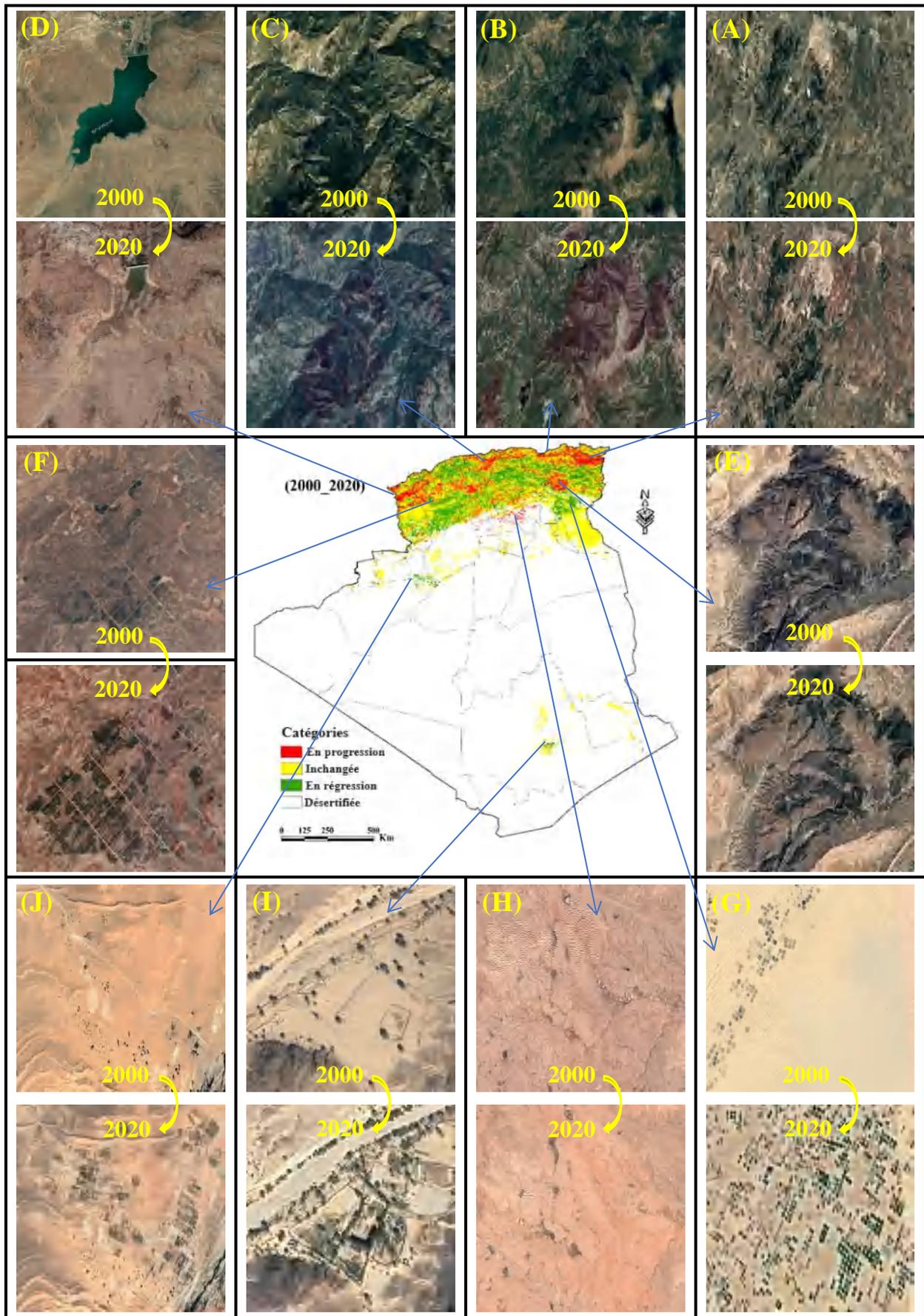


**Carte 24** : Superficie et répartition spatiale des plus fortes variations de sensibilité des terres à la désertification entre 2010 et 2020 en Algérie

En examinant de près (zoom) les changements locaux significatifs de la sensibilité des terres à la dégradation et à la désertification entre 2000 et 2020, il est apparu que la plupart des changements positifs, c'est-à-dire les zones avec une diminution de la sensibilité des terres à la désertification, étaient dus à la mise en place de nouvelles plantations et de terres cultivées (Carte 25F, G, I, J).

Par ailleurs, la sensibilité des terres à la dégradation et à la désertification a augmenté principalement dans les Hauts Plateaux, en raison de la dégradation des parcours. De plus, elle est notable dans les zones boisées des chaînes de montagnes de l'Atlas Tellien et sur la frange littorale. Ces évolutions sont principalement dues à la sécheresse, aux incendies de forêt et à l'expansion de l'urbanisation (Carte 25A, B, C, D, E, H).

Pour analyser les changements d'utilisation et d'occupation des terres entre 2000 et 2020, nous avons utilisé des images historiques de Google Earth Pro (Carte 25). Notre démarche visait à essayer d'inférer et de comprendre les variations de la sensibilité des terres à la dégradation et à la désertification au fil du temps.



Carte 25 : Zoom sur les changements locaux de la sensibilité à la désertification entre 2000 et 2020

### 1.5. Analyse spatiale de la prédiction des tendances futures

Les communalités et les poids des paramètres issus de l'analyse factorielle, utilisés pour calculer les cinq indices de qualité (TQI, SQI, CQI, VQI et MQI) au cours de deux périodes (2041-2060) et (2081-2100), sont présentés dans le (Tableau 22).

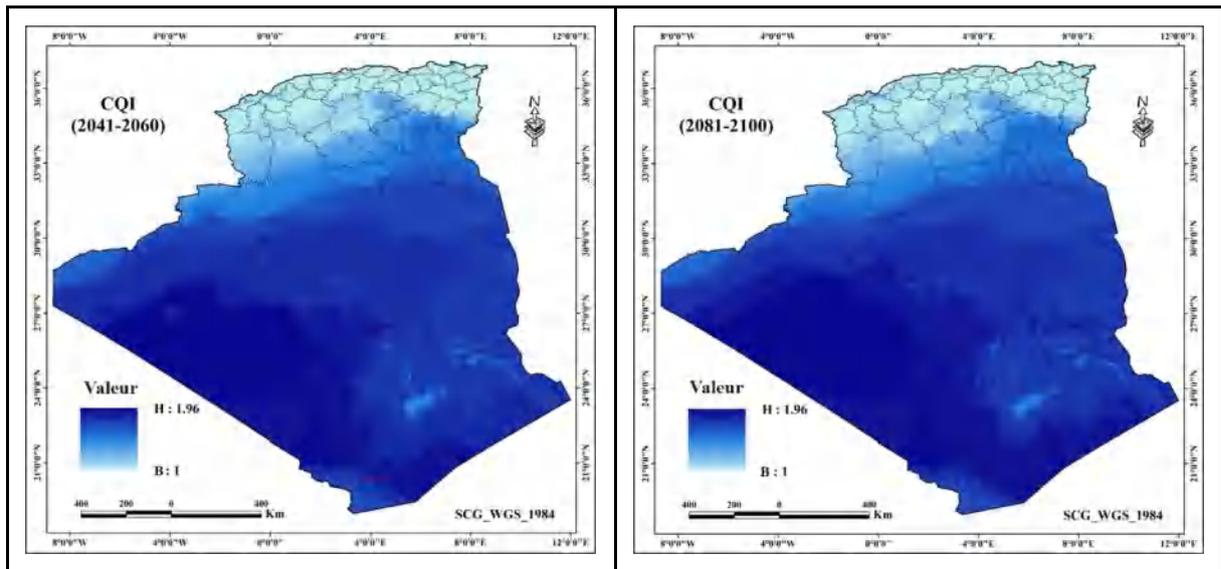
**Tableau 22** : Communalités et poids issus de l'analyse factorielle, des paramètres utilisés pour calculer les indices de qualité (CQI) et (MQI) pour les périodes (2041-2060) et (2081-2100)

Indices	Paramètres	(2041 – 2060)		(2081 – 2100)	
		Communalités	Poids (%)	Communalités	Poids (%)
<b>CQI</b>	Précipitation	0,899	23,73	0,898	23,65
	Température	0,813	21,46	0,827	21,76
	Evapotranspiration	0,882	23,28	0,882	23,22
	Vitesse du vent	0,296	7,80	0,291	7,66
	Ind aridité	0,900	23,74	0,900	23,71
<b>MQI</b>	Intensité d'utilisation des terres	0,776	41,35	0,751	41,09
	Densité de population	0,626	33,39	0,596	32,65
	Intensité du cheptel	0,474	25,26	0,480	26,27

Les résultats des indices de qualité TQI, SQI et VQI concordent avec ceux du (Tableau 14), y compris le (VQI) de l'année 2020.

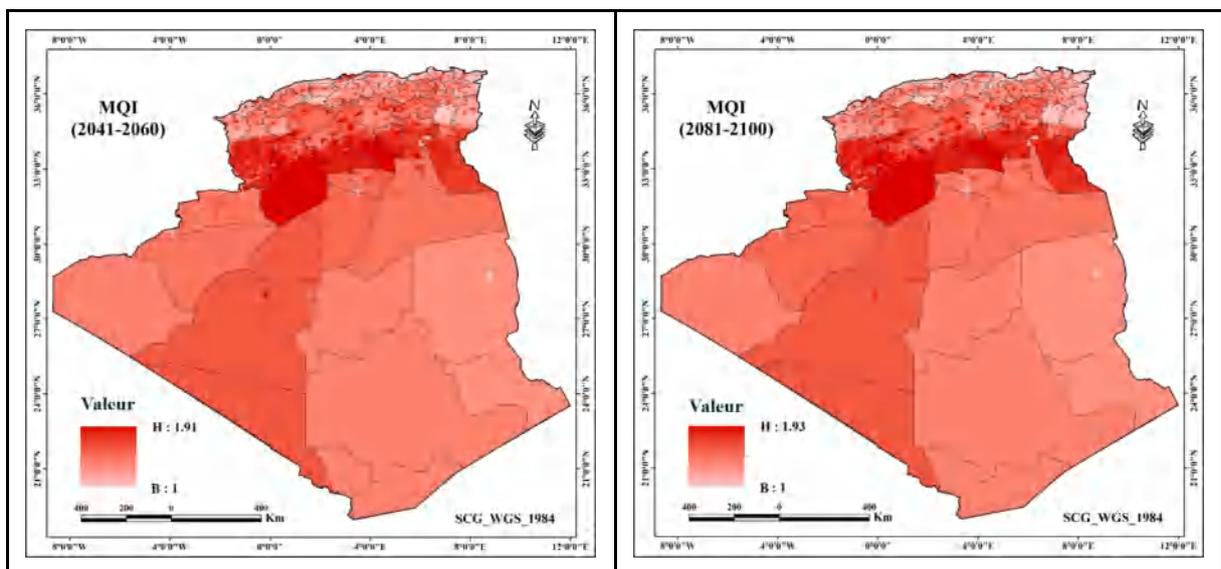
Concernant l'indice du climat (CQI) ; l'indice d'aridité a présenté le poids le plus élevé à raison de 23,74 % au cours de la période (2041-2060) et de 23,71 % pendant la période de (2081-2100). Ensuite, la précipitation a contribué significativement avec des pourcentages respectifs de 23,73 % et 23,65 % au cours de ces mêmes périodes. L'évapotranspiration a également joué un rôle important, représentant 23,28 % en (2041-2060) et 23,22 % en (2081-2100). En revanche, la température a affiché des poids de 21,46 % en (2041-2060) et 21,76 % en (2081-2100). En parallèle, la vitesse du vent a contribué avec des poids de 7,80 % et 7,66 % respectivement au cours des périodes mentionnées.

La cartographie et la représentation spatiale de l'indice (CQI) pour les périodes (2041-2060) et (2081-2100) indiquent que le Nord de l'Algérie est caractérisé par une faible vulnérabilité à la désertification, tandis que les Hauts Plateaux et les steppes présentent une sensibilité moyenne. En revanche, les régions pré-Sahariennes et le Sahara affichent une sensibilité très élevée à la désertification (Carte 26).



Carte 26 : Représentation spatiale du CQI durant les périodes (2041-2060) et (2081-2100)

L'indice (MQI) maintient une hiérarchie similaire dans la pondération des paramètres sur les deux périodes étudiées. L'intensité d'utilisation des terres occupe la première position, représentée par des pondérations de 41,35 % en (2041-2060) et 41,09 % en (2081-2100). Ensuite, la densité de population est classée en deuxième position, avec des pourcentages respectifs de 33,39 % et 32,65 % pour les périodes (2041-2060) et (2081-2100). Enfin, l'intensité de l'élevage occupe la troisième position, avec des valeurs de 25,26 % en (2041-2060) et 26,27 % en (2081-2100). La représentation spatiale de l'indice (MQI) indique que les zones fortement sensibles à la désertification se trouvent dans les Hauts Plateaux et les régions steppiques, tandis que celles présentant une sensibilité moyenne sont situées au Nord et au Sud de la bande steppique. En revanche, les zones de faible sensibilité sont concentrées le long des zones côtières (Carte 27).



Carte 27 : Représentation spatiale du MQI durant les périodes (2041-2060) et (2081-2100)

Les communalités ainsi que les poids des indices utilisés pour calculer l'indice (DSI) en (2041-2060) et (2081-2100) sont présentés dans le (Tableau 23).

**Tableau 23 :** Communalités et poids issus de l'analyse factorielle, des indices de qualité utilisés pour le calcul de l'indice (DSI) pour (2041-2060) et (2081-2100)

Indices	(2041 – 2060)		(2081 – 2100)	
	Communalités	Poids (%)	Communalités	Poids (%)
<b>TQI</b>	0,432	11,98	0,457	12,63
<b>SQI</b>	0,711	19,73	0,712	19,66
<b>CQI</b>	0,849	23,55	0,850	23,48
<b>VQI</b>	0,867	24,06	0,867	23,96
<b>MQI</b>	0,746	20,69	0,734	20,27

Pour les périodes (2041-2060) et (2081-2100), les indices de qualité ont maintenu un ordre de pondération similaire. L'indice (VQI) a conservé sa première avec des pourcentages respectifs de 24,06 % et 23,96 %. En deuxième position, l'indice (CQI) a obtenu des pondérations de 23,55 % et 23,48 %, respectivement. Le troisième rang est occupé par l'indice (MQI) avec des valeurs respectives de 20,69 % et 20,27 %. En quatrième position, l'indice (SQI) a été évalué à 19,73 % et 19,66 %, respectivement. Et l'indice (TQI) a été classé cinquième avec des pourcentages respectifs de 11,98 % et 12,63 %.

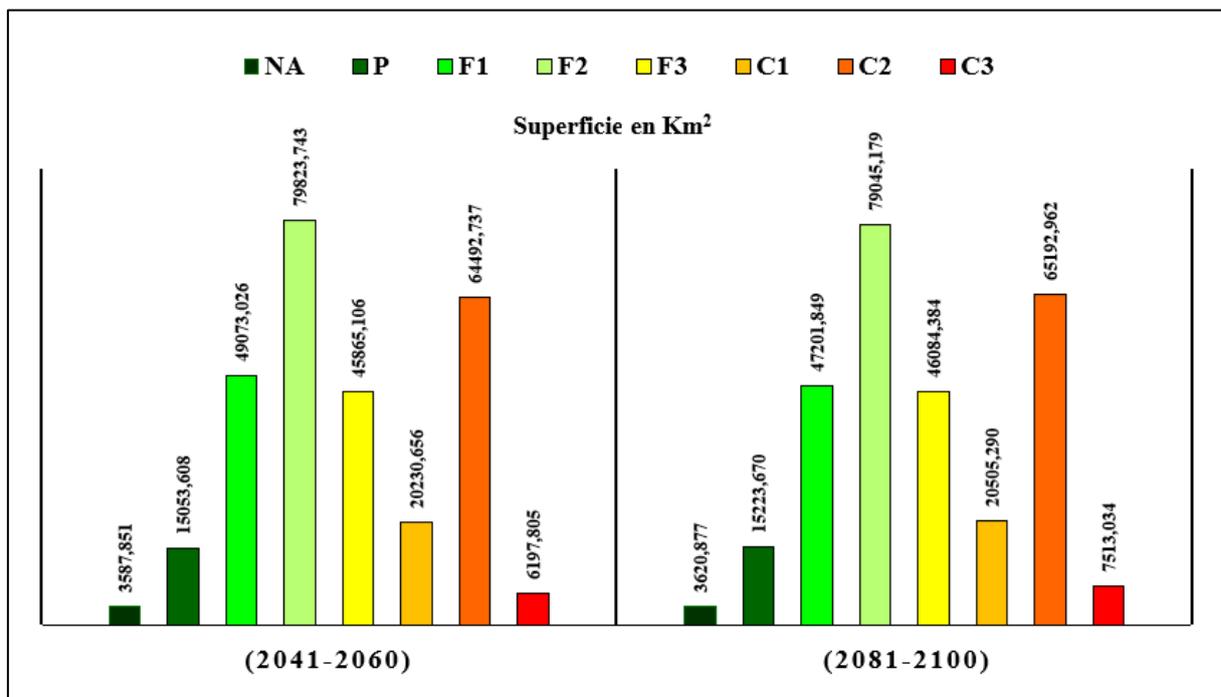
Les résultats finaux de l'indice (DSI) pour prédire les tendances futures, montrent que les classes de sensibilité critique à la désertification (C1, C2 et C3) ont des valeurs de score supérieures à 1,38. Ces classes couvrent une superficie d'environ 90 921 km<sup>2</sup>, représentant 32 % des terres non désertiques de l'Algérie en (2041-2060). Pour la période (2081-2100), cette superficie s'élève à 93 211 km<sup>2</sup>, soit 33 % (Tableau 24). Plus spécifiquement, le pré-Sahara et une grande partie des Hauts Plateaux ont été classés comme des zones extrêmement vulnérables à la désertification au cours des deux périodes étudiées, soit (2041-2060) et (2081-2100) (Cartes 28, 29).

Les trois classes de terres fragiles (F1, F2 et F3), affichant des scores allant de 1,23 à 1,37, constituaient la plus grande superficie de terres non désertiques en Algérie. Au cours de la période (2041-2060), leur superficie était estimée à 174 762 km<sup>2</sup>, représentant 61 % du territoire. De même, pour la période (2081-2100), elle est de 172 331 km<sup>2</sup>, constituant ainsi 60 % (Tableau 24).

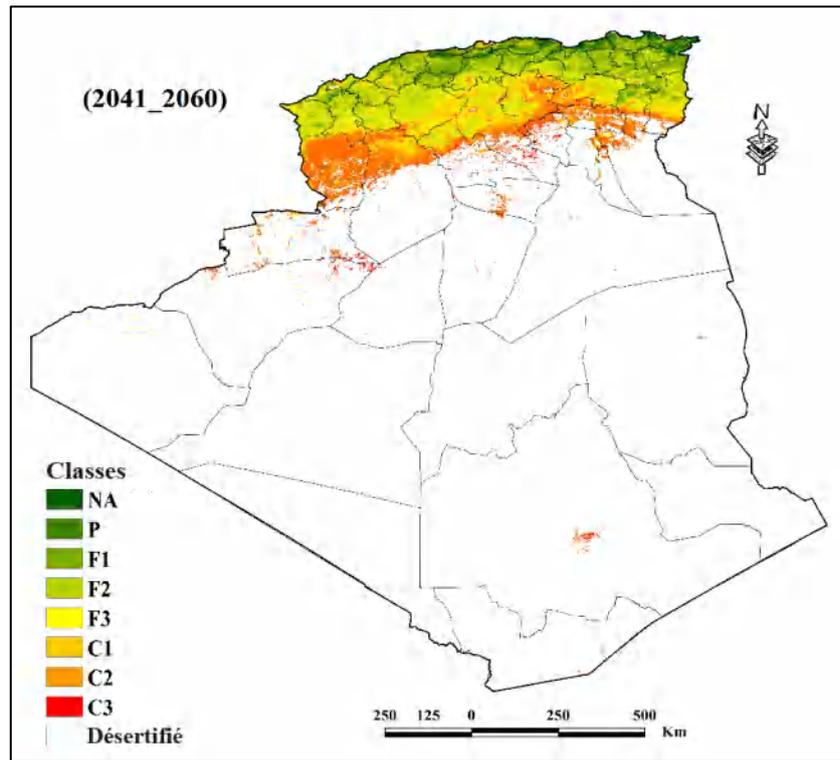
Les trois classes fragiles étaient principalement concentrées sur les Hauts Plateaux et dans certaines oasis sahariennes. Les classes caractérisées par un score inférieur à 1,23, représentant à la fois des terres potentielles et non affectées, se limitaient à une superficie restreinte de terres non désertiques en Algérie (Cartes 28, 29). Ces régions couvraient environ 18 642 km<sup>2</sup>, soit 07 % du territoire pendant la période de (2041-2060), et 18 844 km<sup>2</sup>, soit également 07 % durant la période de (2081-2100). Elles étaient situées dans la partie Nord de l'Algérie (Tableau 24 ; Figure 21).

**Tableau 24** : Superficie des classes de indice de sensibilité (DSI) pour les deux périodes (2041-2060) et (2081-2100)

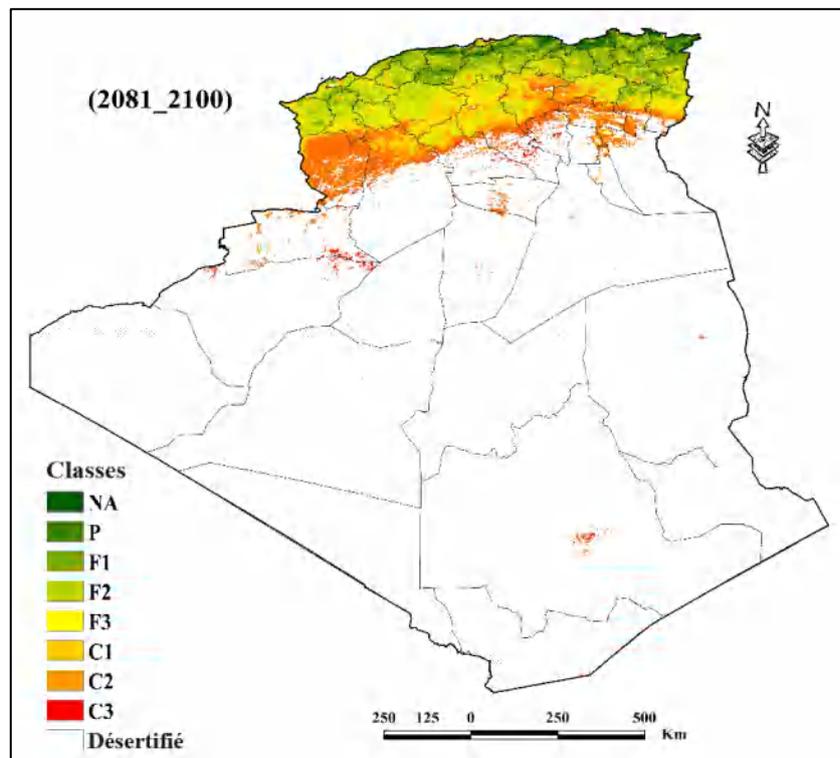
Classes	(2041 - 2060)		(2081 - 2100)	
	Sup (Km <sup>2</sup> )	Sup (%)	Sup (Km <sup>2</sup> )	Sup (%)
NA	3587,851	1,26	3620,877	1,27
P	15053,608	5,29	15223,670	5,35
F1	49073,026	17,26	47201,849	16,60
F2	79823,743	28,07	79045,179	27,79
F3	45865,106	16,13	46084,384	16,20
C1	20230,656	7,12	20505,290	7,21
C2	64492,737	22,68	65192,962	22,92
C3	6197,805	2,18	7513,034	2,64



**Figure 21** : Représentation graphique des superficies selon les classes de l'indice (DSI) pour les périodes (2041-2060) et (2081-2100)



Carte 28 : Modèle spatial de l'indice de sensibilité (DSI) dans les terres non désertiques d'Algérie durant la période (2041-2060)



Carte 29 : Modèle spatial de l'indice de sensibilité (DSI) dans les terres non désertiques d'Algérie durant la période (2081-2100)

## **2. Discussions**

Notre étude a adopté une approche spatio-temporelle simple. Le modèle MEDALUS-ESA modifié a été utilisé pour évaluer le risque de désertification en Algérie. Cette recherche a généré trois résultats majeurs. Tout d'abord, elle a permis de modéliser la dynamique spatio-temporelle de la sensibilité des terres à la désertification en Algérie. Ensuite, elle a abouti à des facteurs associés. Enfin, elle a fourni la prédiction des tendances futures.

Les indices les plus importants de la sensibilité des terres à la désertification en Algérie sont principalement liés à la qualité du climat et de la végétation. Cette constatation s'accorde avec des études antérieures qui ont souligné la pertinence de ces indices de qualité dans la détermination de la sensibilité des terres à la désertification dans le monde (Abuzaid et Abdelatif, 2022 ; Ferrara *et al.*, 2020). L'aridité et les précipitations ont obtenu les coefficients les plus élevés pour l'indice de qualité du climat, mettant en lumière leur rôle essentiel dans la caractérisation du climat de la région. Ces facteurs sont également considérés comme les plus influents dans la production de biomasse (Kosmas *et al.*, 1999).

De plus, les coefficients des paramètres utilisés pour générer l'indice de qualité de la végétation présentaient des valeurs similaires, suggérant ainsi qu'ils jouent des rôles équivalents dans l'influence de la qualité de la végétation dans la région. Bien que les indices de qualité de management, du sol et de la topogéologie aient été moins significatifs, leurs effets semblaient être localisés dans l'espace, avec des impacts plus marqués dans les Hauts Plateaux et le pré-Sahara. Il est largement admis que la gestion des terres (management des terres) peut influencer la sensibilité des terres à la désertification indépendamment du climat ou de la végétation. Le sol et la topogéologie peuvent également jouer un rôle important dans la détermination des zones où la sensibilité des terres à la désertification atteint des niveaux critiques (Ferrara *et al.*, 2020).

Bien que les coefficients des paramètres inclus dans l'indice de qualité du sol étaient remarquablement similaires, l'utilisation des terres s'est avérée plus déterminante que la densité de population et l'intensité de l'élevage dans l'indice de qualité de management. Cette prépondérance est logique dans le fait que l'utilisation des terres influence l'impact de chaque paramètre, déterminant où et comment il se manifeste. Les coefficients des paramètres géologiques tels que le matériau parental et les groupes de sols étaient supérieurs à ceux des paramètres topographiques comme la pente et l'exposition dans l'indice de qualité topogéologique. Ceci souligne l'importance capitale de la structure géologique dans l'évaluation de la sensibilité des terres à la désertification

par rapport aux caractéristiques topographiques du terrain (Ferrara *et al.*, 2020).

Nos recherches ont mis en lumière que la majeure partie des terres non désertiques de l'Algérie sont extrêmement sensibles à la désertification. Les cartes résultantes de l'indice de sensibilité des terres à la désertification (DSI) pour les classes (C1, C2, et C3) indiquent une évolution significative au fil du temps. En 2000, la superficie touchée atteignait environ 106 000 km<sup>2</sup>, représentant 38 % du territoire. En 2010, cette sensibilité avait diminué pour couvrir 83 200 km<sup>2</sup>, soit 29 % du total. En 2020, elle signalait une étendue de 98 200 km<sup>2</sup>, équivalant à 35 %. Pour la période de (2041-2060), la sensibilité projetée était de 90 921 km<sup>2</sup>, soit 32 %, et pour la période de (2081-2100), elle atteignait 93 211 km<sup>2</sup>, soit 33 %.

Les zones critiques se situent principalement dans les Hauts Plateaux (parcours steppiques), caractérisés par des parcours steppiques, formant ainsi une ceinture de transition entre le Nord et le Sud du pays. Ces régions, marquées par des climats semi-arides à arides, servent de séparation entre les environnements humides et sub-humides au Nord et les climats arides et hyper-arides du Sahara (Del Barrio *et al.*, 2016).

En outre, les steppes abritent la majeure partie des troupeaux de bétail algériens. humaine prédominante dans ces zones est l'élevage et le pâturage. En raison d'une pression intense de pâturage exercée par le bétail et d'événements climatiques extrêmes, tels que des sécheresses prolongées et fréquentes, la couverture végétale dans ces zones a subi une raréfaction et une dégradation importantes. Cette dégradation a créé un environnement propice à l'accélération de l'ensablement par l'érosion, conduisant finalement à la désertification de vastes étendues, principalement composées de steppes et de Hauts Plateaux (Slimani *et al.*, 2010 ; Kouba *et al.*, 2021 ; Merdas *et al.*, 2021).

De plus, la croissance démographique rapide et intensive des Hauts Plateaux a conduit à une augmentation des terres cultivées et à un changement dans les pratiques de gestion des terres, contribuant ainsi à la dégradation de ces zones fragiles (Aidoud *et al.*, 2006).

L'analyse de la dynamique spatio-temporelle de la sensibilité des terres à la désertification a abouti à des conclusions importantes. Nous avons constaté que les variations indice de la sensibilité (DSI) au fil du temps n'étaient pas linéaires ; et la sensibilité à la désertification s'est améliorée en 2010 par rapport à 2000 et 2020. Cette amélioration est probablement attribuable à des conditions exceptionnellement humides en 2010 (Belala *et al.*, 2018). Ces conditions ont favorisé ont stimulé les indices de qualité du climat et de la végétation. Étant donné que ces deux indices de qualité ont

la plus grande influence sur l'indice de sensibilité (DSI), une amélioration de l'un d'entre eux pourrait réduire la sensibilité des terres à la désertification.

De même, nos résultats ont mis en évidence que la variation de ces deux indices et les variations observées dans l'indice de qualité de la gestion des terres ont entraîné une transformation positive ou négative d'environ 27 % des terres non désertiques une fois et 41 % en deux fois entre 2000 et 2020.

Les changements négatifs, signifiant les zones où la sensibilité des terres à la désertification a augmenté, se sont principalement manifestés dans les Hauts Plateaux. Cela reflète la dégradation continue des parcours steppiques, principalement en raison de la pression croissante exercée par le bétail sur le territoire (Martínez-Valderrama *et al.*, 2018 ; Merdas *et al.*, 2021).

Par ailleurs, plusieurs régions des chaînes montagneuses de l'Atlas Tellien et de la frange côtière ont enregistré une augmentation de la sensibilité à la désertification, vraisemblablement en raison de la sécheresse, de la croissance des villes, de l'émergence de nouveaux centres urbains et des incendies de forêts (Curt *et al.*, 2020 ; Mostari *et al.*, 2021). De plus, dans le pré-Sahara, la salinisation des sols et des conditions climatiques sévères sont les principales causes de la dégradation des terres et de la désertification (Guo *et al.*, 2023). Ces changements ont entraîné une transformation radicale dans l'écosystème des zones affectées (Hirche *et al.*, 2018).

L'analyse approfondie (zoom) des changements locaux significatifs dans la sensibilité des terres à la désertification a révélé des variations positives, signifiant une réduction de la sensibilité des terres à la désertification. Ces modifications sont dues à l'établissement de nouvelles plantations forestières et de terres cultivées. À titre d'exemple, des plantations de pins ont été mises en place dans le cadre du projet de renforcement des barrages verts, particulièrement dans certaines provinces des Hauts Plateaux tels que Djelfa et El Bayed (Benhizia *et al.*, 2021).

De plus, les opérations de poldérisation à grande échelle, menées par des investisseurs et des agriculteurs dans le Sahara, ont entraîné la plantation de millions d'oliviers et de palmiers, transformant ainsi des milliers d'hectares de terres nues en terres fertiles (Yu *et al.*, 2023). Cette initiative a été réalisée grâce à la disponibilité de la nappe aquifère (Acila *et al.*, 2017 ; Hamamouche *et al.*, 2018 ; Mihi *et al.*, 2019 ; Zegait *et al.*, 2021 ; Liu *et al.*, 2023). Ces investissements dédiés à la restauration des terres ont entraîné la diversification de l'agriculture et de la région.

Les autorités locales et nationales ont apporté leur soutien à ces initiatives en offrant diverses facilités aux investisseurs, notamment des autorisations de forage de puits, la fourniture d'engrais. À travers cette politique, les autorités visaient à revitaliser et exploiter ces vastes étendues désertiques, tout en encourageant les populations à migrer vers le Sahara. Cette approche visait à alléger la pression sur les régions du Nord tout en stimulant la production agricole, dans le but d'atteindre et d'assurer l'autosuffisance et la sécurité alimentaire nationale.

### **Conclusion**

Les résultats et les discussions présentés dans ce chapitre traitant de la dégradation des terres et de la désertification, mettent en évidence l'ampleur et la complexité de ce problème environnemental crucial en Algérie. Les facteurs clés, tels que les pratiques agricoles non durables, le changement climatique et la pression démographique, sont identifiés comme des moteurs majeurs de ce phénomène. Par ailleurs, les résultats de la prédiction des tendances futures offrent une vision alarmante de l'évolution potentielle de la situation. Ils indiquent une projection préoccupante caractérisée par une diminution anticipée de la productivité des sols, avec des conséquences néfastes sur la dégradation continue de la biodiversité en Algérie. A cet effet, il devient essentiel d'incorporer des politiques de gestion environnementale et des pratiques agricoles durables afin de sauvegarder la santé des écosystèmes et d'assurer une durabilité à long terme, soulignant ainsi la nécessité d'une intervention proactive et stratégique face à ce défi environnemental.

---

# *Conclusion générale*

---

## **Conclusion générale et recommandations**

Cette recherche porte sur l'évaluation et le suivi de la dégradation des terres et la désertification en Algérie, un sujet qui n'a pas encore été abordée de manière approfondie. Elle repose sur une version modifiée du modèle original « MEDALUS-ESA », combinée à une analyse factorielle (AF), spécifiquement adaptée aux conditions environnementales et anthropologiques du territoire algérien.

Les résultats de notre étude indiquent que l'Algérie est extrêmement sensible à la dégradation des terres et à la désertification, notamment dans les Hauts Plateaux (parcours steppiques), identifiés comme étant fortement vulnérables à ce processus écologique préjudiciable.

L'augmentation de la pression exercée par le pâturage du bétail, la densité de la population, la sécheresse, l'expansion de l'urbanisation, la déforestation et les incendies de forêt ont été les principaux facteurs contribuant aux changements négatifs dans la sensibilité des terres à la désertification en Algérie entre 2000 et 2020. Malgré ces défis, certains changements positifs de la sensibilité des terres à la désertification ont été observées au cours de cette période, principalement en raison des projets de reboisement et de mise en valeur des terres, particulièrement dans le Sud du pays.

Par ailleurs, les projections et les prédictions des changements possibles de la dégradation des terres et de la désertification dans le futur ont montré que les régions steppiques sont plus menacées par la désertification que les régions côtières, en raison des impacts du changement climatique (sécheresse) et des activités humaines (surpâturage). Par conséquent, la prévision des tendances futures revêt une importance cruciale pour la gestion durable de l'environnement. Il est également essentiel de développer des mécanismes appropriés afin de préserver les ressources naturelles et d'améliorer le bien-être des populations.

Dans l'ensemble, nos résultats ont permis de bien comprendre ce phénomène destructeur ainsi que des facteurs qui y contribuent. Ces résultats pourraient éventuellement être utilisés pour identifier les zones les plus exposées à la désertification, suscitant ainsi le besoin d'une intervention rapide et ciblée.

En conséquence, la modélisation spatio-temporelle développée représente un outil puissant et significatif pour les autorités, facilitant ainsi la prise de décisions judicieuses. Cette approche pourrait contribuer de manière substantielle à l'élaboration de politiques et de stratégies efficaces dans la lutte contre la désertification.

Les résultats obtenus à partir de cette modélisation spatio-temporelle peuvent également servir à sélectionner des sites spécifiques en tant qu'études de cas, permettant une évaluation approfondie du processus de dégradation des terres et de désertification. Il est envisageable d'intégrer des données à haute résolution et d'adopter des approches basées sur l'intelligence artificielle dans cette démarche.

Nos résultats soulignent l'importance cruciale de l'utilisation de poids générés statistiquement, notamment ceux issus de l'analyse factorielle (AF). En adoptant cette approche, les paramètres et indicateurs de qualité sont pondérés en fonction de leur importance, garantissant ainsi des résultats plus fiables et précis. Cette méthode offre une compréhension approfondie de la manière dont différents facteurs contribuent aux processus de désertification.

Enfin, nous proposons quelques méthodes et solutions à titre de recommandations pour lutter contre les phénomènes de dégradation des terres et de désertification :

- ✓ La gestion durable des terres constitue une approche clé, impliquant des pratiques agricoles durables telles que l'agriculture de conservation, la rotation des cultures et l'agroforesterie, favorisant ainsi la réduction de l'érosion, la restauration de la qualité des sols et l'amélioration de la productivité agricole.
- ✓ Le reboisement émerge comme une solution efficace pour lutter contre la désertification et restaurer la santé des écosystèmes endommagés. En plantant des arbres dans des zones affectées, on peut stabiliser les sols, améliorer leur fertilité et leur capacité de rétention d'eau. Les arbres peuvent également améliorer la biodiversité, fournir des aliments, des médicaments et d'autres produits forestiers, ainsi que réduire les émissions de gaz à effet de serre, en absorbant le dioxyde de carbone de l'atmosphère. Il est crucial d'utiliser des espèces adaptées aux conditions climatiques arides, telles que l'acacia, l'arganier, le palmier dattier, le caroubier, le pistachier de l'atlas, le figuier de Barbarie et même des oliviers.
- ✓ La collecte et la gestion de l'eau jouent un rôle vital, avec la création des retenues collinaires et des barrages pour la collecte des eaux. Une gestion efficace des eaux de surface et souterraines peut améliorer la productivité agricole, réduire les risques d'inondation et de sécheresse, et contribuer à la restauration des terres.
- ✓ La protection de la biodiversité s'avère cruciale pour la conservation des écosystèmes, la régulation du climat et la préservation des sols fertiles. Cela implique notamment la protection de la richesse végétale dans les zones steppiques, comme l'Alfa (*Macrochloa tenacissima*) et le Chih (*Artemisia herba-alba* Asso), à travers une gestion réfléchie du pâturage.

## *Conclusion générale*

---

- ✓ L'utilisation des énergies renouvelables, telles que l'énergie solaire et éolienne, peut réduire les émissions de gaz à effet de serre, améliorer la qualité de l'air et contribuer à la réduction de la dégradation des sols liée à l'extraction et à la combustion des combustibles fossiles.
- ✓ La planification efficace du développement peut réduire la pression sur les terres, en évitant la conversion des zones naturelles en zones urbaines ou agricoles.
- ✓ La coopération internationale peut également contribuer à soutenir la mise en place de politiques et de programmes de lutte contre la dégradation des terres et la désertification, en mobilisant des financements pour leur mise en œuvre.
- ✓ Enfin, la sensibilisation et l'implication de la population s'avèrent indispensables. Une bonne connaissance du risque de désertification incite les individus à participer activement aux programmes de lutte contre la dégradation des terres et de la désertification, renforçant ainsi les initiatives mises en place.

---

*Références  
bibliographiques*

---

Références bibliographiques

A

**Abu Hammad, A., & Tumeizi, A. (2012).** Land degradation: socioeconomic and environmental causes and consequences in the eastern Mediterranean. *Land Degradation & Development*, 23(3), 216-226. <https://doi.org/10.1002/ldr.1069>

**Abuzaid, A. S., & Abdelatif, A. D. (2022).** Assessment of desertification using modified MEDALUS model in the north Nile Delta, Egypt. *Geoderma*, 405(August 2021), 115400. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115400>

**Acila, S., Saker, M. L., Bouhoun, M. D., Taamalli, A., El Hadj, M. D. O., & Zarrouk, M. (2017).** An alternative assessment of olive (*Olea europaea* L.) cultivars adaptation in the Mediterranean Saharan context of Algeria. *Journal of Applied Horticulture*, 19(1), 51-57. <https://doi.org/10.37855/jah.2017.v19i01.08>

**Afrasinei, G. M. (2016).** Study of land degradation and desertification dynamics in North Africa areas using remote sensing techniques. [https://iris.unica.it/bitstream/11584/266730/1/PhD\\_Thesis\\_Afrasinei.pdf](https://iris.unica.it/bitstream/11584/266730/1/PhD_Thesis_Afrasinei.pdf)

**Aidoud, A., & Touffet, J. (1996).** La régression de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.), graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 7(3), 187-193.

**Aidoud, A., Le Floc'h, E., Noel Le Houerou, H. (2006).** Les steppes arides du nord de l'Afrique. *Sécheresse* 17, 19–30.

**Akbari, M., Modarres, R., & Alizadeh Noughani, M. (2020).** Assessing early warning for desertification hazard based on E-SMART indicators in arid regions of northeastern Iran. *Journal of Arid Environments*, 174(March), 104086. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.104086>

**Alados, C. L., Puigdefábregas, J., & Martínez-Fernández, J. (2011).** Ecological and socio-economical thresholds of land and plant-community degradation in semi-arid Mediterranean areas of southeastern Spain. *Journal of Arid Environments*, 75(12), 1368–1376. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.12.004>

**Aliero, M. M., Ismail, M. H., Alias, M. A., & Sood, A. M. (2021).** Geospatial analysis of desertification vulnerability using Mediterranean desertification and land use (MEDALUS) model in Kebbi State, Nigeria. *Applied Geomatics*, 13(4), 527-536. <https://doi.org/10.1007/s12518-021-00372-5>

**Aljandali, A. (2017).** *Multivariate methods and forecasting with IBM® SPSS® statistics* (pp. 80-95). Berlin/Heidelberg, Germany: Springer.

**Amirova, I. (2022).** The Overexploitation of Natural Resources in Arid Central Asia. The Case of Hungry Steppe: Can a Collapse be a Solution? *International Journal of the Commons*, 16(1). <https://doi.org/10.5334/ijc.1144>

**Anteur, Dj., Remmas, H., Labani, A., & Regagba, Z. (2015).** Contribution à l'étude hydrologique dans les monts de Saida. *European Scientific Journal*, 11(5). ISSN : 1857 – 7881

**Arabi, Z., Mederbal, K., & Benaouf, Z. (2015).** Contribution to the Study of Quantitative and Qualitative Aspects of Steppe Formations for the Characterization of Desertification in Semi-arid Environment: Saida, Algeria. *International Journal of Environmental Research*, 9(3), 953-960.

**Aubréville, A. (1949).** Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale, Société d'Édition Géographiques, Maritime et Coloniales, Paris, 329-344.

**Azzouzi, S. A., Vidal-Pantaleoni, A., & Bentounes, H. A. (2017).** Desertification monitoring in Biskra, Algeria, with Landsat imagery by means of supervised classification and change detection methods. *IEEE Access*, 5, 9065-9072. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2700405>

---

**B**

**Bajocco, S., Salvati, L., & Ricotta, C. (2011).** Land degradation versus fire: A spiral process? *Progress in Physical Geography*, 35(1), 3–18. <https://doi.org/10.1177/0309133310380768>

**Basso, B., De Simone, L., Cammarano, D., Martin, E. C., Margiotta, S., Grace, P. R., ... & Chou, T. Y. (2012).** Evaluating responses to land degradation mitigation measures in Southern Italy.

**Bedoui, C. (2020).** Study of desertification sensitivity in Talh region (Central Tunisia) using remote sensing, G.I.S. and the M.E.D.A.L.U.S. approach. *Geoenvironmental Disasters*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40677-020-00148-w>

**Bedrani, S. (1997).** Les effets du commerce mondial sur la désertification dans les pays du Maghreb. *L'Annuaire de l'Afrique du Nord (CNRS, Aix en Provence)*.

**Belala, F., Hirche, A., Muller, S.D., Tourki, M., Salamani, M., Grandi, M., Ait Hamouda, T., Boughani, M. (2018).** Rainfall patterns of Algerian steppes and the impacts on natural vegetation in the 20th century. *J. Arid Land* 10, 561–573. <https://doi.org/10.1007/s40333-018-0095-x>

**Belaroui, K., Djedjai, H., & Megdad, H. (2014).** The influence of soil, hydrology, vegetation and climate on desertification in El-Bayadh region (Algeria). *Desalination and Water Treatment*, 52(10–12), 2144–2150. <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.782571>

**Benassi, F., Cividino, S., Cudlin, P., Alhuseen, A., Lamonica, G. R., & Salvati, L. (2020).** Population trends and desertification risk in a Mediterranean region, 1861-2017. *Land use policy*, 95, 104626. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104626>

**Benguerai, A. (2011).** Evolution du phénomène de désertification dans le sud oranais (Algérie), Thèse de doctorat en science Université Abou Bekr Belkaïd - Tlemcen, 152 p.

**Benhizia, R., Kouba, Y., Szabó, G., Négyesi, G., & Ata, B. (2021).** Monitoring the spatiotemporal evolution of the Green Dam in Djelfa Province, Algeria. *Sustainability*, 13(14), 7953. <https://doi.org/10.3390/su13147953>

- Benhizia, R., Kouba, Y., Szabó, G., Négyesi, G., & Ata, B. (2021).** Monitoring the Spatiotemporal Evolution of the Green Dam in Djelfa Province, Algeria. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 7953, 13(14), 7953. <https://doi.org/10.3390/SU13147953>
- Benjalleb, O., Haboubi, R., Hermassi, T., & Ouezdou, H. B. (2021).** Modélisation de la sensibilité à l'érosion par Medalus: Application sur le bassin versant de Bou Hayya, Tunisie. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 9(4), 573-581.
- Benmessaoud, H. (2009).** Etude de la vulnérabilité a la désertification Par des méthodes quantitatives numériques Dans le massif des Aurès (Algérie), Thèse de doctorat en sciences, Université El hadj Lakhdar – Batna, p 96. <http://eprints.univ-batna2.dz/id/eprint/568>
- Benmessaoud, H., Kalla, M., & Driddi, H. (2010).** The Use of GIS Data in the Desertification Risk Cartography: Case Study of South Aurès Region in Algeria H. In P. Zdruli, M. Pagliai, S. Kapur, & A. Faz Cano (Eds.), *Land Degradation and Desertification: Assessment, Mitigation and Remediation*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-8657-0>
- Benmessaoud, H., Kalla, M., & Driddi, H. (2010).** The Use of GIS Data in the Desertification Risk Cartography: Case Study of South Aurès Region in Algeria. *Land Degradation and Desertification: Assessment, Mitigation and Remediation*, 81–95. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-8657-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-90-481-8657-0_7)
- Bensaïd, A. (2006).** SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naâma (Algérie) (Doctoral dissertation, Université Joseph-Fourier-Grenoble I).
- BERKAL I, D. K. (2006).** Contribution à la connaissance des sols du Sahara d'Algérie. De la base de données à la valorisation des paramètres pédologiques. <http://hdl.handle.net/123456789/2777>
- Bezerra, F. G. S., Aguiar, A. P. D. D., Alvalá, R. C. D. S., Giarolla, A., Bezerra, K. R. A., Lima, P. V. P. S., ... & Arai, E. (2020).** Analysis of areas undergoing desertification, using EVI2 multi-temporal data based on MODIS imagery as indicator. *Ecological Indicators*, 117, 106579. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106579>
- Blaikie, P., & Brookfield, H. (1987).** *Land Degradation and Society*; Methuen & Co. Ltd.: London, UK, 18.
- Bonflis. (1987).** Impacts mutuels de la conservation et de l'élevage transhumants sur l'occupation des sols et les ressources environnementales. *La revue électronique en sciences de l'environnement*. doi :10.4000/vertigo.808
- Bouhata, R., & Bensekhria, A. (2021).** Adaptation of MEDALUS method for the analysis depicting desertification in Oued Labiod valley (Eastern Algeria). *Arabian Journal of Geosciences*, 14(5), 365. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06679-2>
- Boulghobra, N., Hadri, T., & Bouhana, M. (2014).** Using Landsat imagery for monitoring the spatiotemporal evolution of sanding in dryland, the case of In-Salah in the Tidikelt (southern Algerian Sahara). *Geographia Technica*, 9(5), 1-9. [http://technicalgeography.org/pdf/1\\_2014/01\\_boulghobra.pdf](http://technicalgeography.org/pdf/1_2014/01_boulghobra.pdf)

**Bouteldjaoui, F., Bessenasse, M & Guendouz, A. (2012).** Etude comparative des différentes méthodes d'estimation de l'évapotranspiration en zone semi-aride (cas de la région de Djelfa). *Nature & Technology*, (7), 109.

**Bouzekri, A. (2015).** Evaluation multicritère des situations critiques au risque de la désertification dans les Aurès (Algérie), Thèse de doctorat Université El hadj Lakhdar- Batna, 225 p.

**Bouzekri, A., Alexandridis, T. K., Toufik, A., Rebouh, N. Y., Chenchouni, H., Kucher, D., ... & Mohamed, E. S. (2023).** Assessment of the spatial dynamics of sandy desertification using remote sensing in Nemamcha region (Algeria). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 26(3), 642-653. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2023.07.006>

**Briassoulis, H. (2011).** Governing desertification in Mediterranean Europe: The challenge of environmental policy integration in multi-level governance contexts. *Land Degradation & Development*, 22(3), 313–325. <https://doi.org/10.1002/ldr.1018>

---

**C**

**Chen, A., Yang, X., Xu, B., Jin, Y., Guo, J., Xing, X., ... & Zhu, L. (2021).** Monitoring the spatiotemporal dynamics of aeolian desertification using google earth engine. *Remote Sensing*, 13(9), 1730. <https://doi.org/10.3390/rs13091730>

**Chen, J., Xiao, H., Li, Z., Liu, C., Ning, K., & Tang, C. (2020).** How effective are soil and water conservation measures (SWCMs) in reducing soil and water losses in the red soil hilly region of China? A meta-analysis of field plot data. *Science of the Total Environment*, 735, 139517. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139517>

**Cherlet, M., Hutchinson, C., Reynolds, J., Hill, J., Sommer, S., & Von Maltitz, G. (2018).** World atlas of desertification. Publication Office of the European Union. Luxembourg.

**Contador, J. L., Schnabel, S., Gutierrez, A. G., & Fernandez, M. P. (2009).** Mapping sensitivity to land degradation in Extremadura. SW Spain. *Land Degradation & Development*, 20(2), 129-144. <https://doi.org/10.1002/ldr.884>

**Cook, B. I., Smerdon, J. E., Seager, R., & Coats, S. (2014).** Global warming and 21 st century drying. *Climate dynamics*, 43, 2607-2627. doi :10.1007/s00382-014-2075-y.

**Curt, T., Aini, A., & Dupire, S. (2020).** Fire activity in Mediterranean forests (The Algerian case). *Fire*, 3(4), 58. <https://doi.org/10.3390/fire3040058>

---

**D**

**D’Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, K. F., Ravi, S., & Runyan, C. W. (2013).** Global desertification: Drivers and feedbacks. *Advances in Water Resources*, 51, 326–344. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.01.013>

**Dai, A. (2011).** Drought under global warming: a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1), 45-65. doi:10.1002/wcc.81.

**Darkoh, M. B. K. (1998).** The nature, causes and consequences of desertification in the drylands of Africa. *Land Degradation & Development*, 9(1), 1-20. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-145X\(199801/02\)9:1%3C1::AID-LDR263%3E3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-145X(199801/02)9:1%3C1::AID-LDR263%3E3.0.CO;2-8)

**Del Barrio, G. del, Sanjuan, M. E., Hirche, A., Yassin, M., Ruiz, A., Ouessar, M., Valderrama, J. M., Essifi, B., & Puigdefabregas, J. (2016).** Land degradation states and trends in the northwestern Maghreb drylands, 1998-2008. *Remote Sensing*, 8(7), 1998–2008. <https://doi.org/10.3390/rs8070603>

**DGF. (2004).** Rapport national de l'Algérie sur la mise en œuvre de la Convention de Lutte contre la Désertification. DGF, Alger, septembre 2004, p35. [En ligne] <http://www.unccd.int/cop/reports/africa/national/2004/algeria-fre.pdf>

**Didan, K., Munoz, A. B., Solano, R., & Huete, A. (2015).** MODIS vegetation index user's guide (MOD13 series). *University of Arizona: Vegetation Index and Phenology Lab*, 35, 2-33.

**Dominguez, F., Cañon, J., & Valdes, J. (2010).** IPCC-AR4 climate simulations for the Southwestern US: the importance of future ENSO projections. *Climatic Change*, 99(3-4), 499-514. doi:10.1007/s10584-009-9672-5.

**Dregne, H. E., & Chou, N. T. (1992).** Global desertification dimensions and costs. *Degradation and restoration of arid lands*, 1, 73-92.

**Dregne, H.E. (1978).** Desertification: man's abuse of the land. *Journal of Soil and Water Conservation* 33: 11-14.

**Durand, J. H. (1954).** Les sols d'Algérie (No. 631.4965).

---

**E**

**Egidi, G., Cividino, S., Paris, E., Palma, A., Salvati, L., & Cudlin, P. (2021).** Assessing the impact of multiple drivers of land sensitivity to desertification in a Mediterranean country. *Environmental Impact Assessment Review*, 89(April), 106594. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106594>

**Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (2016).** Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1937-1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>

**Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (2016).** Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1937-1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>

---

**F**

**Fan, Z., Li, S., & Fang, H. (2020).** Explicitly identifying the desertification change in CMREC area based on multisource remote data. *Remote Sensing*, 12(19), 3170. <https://doi.org/10.3390/rs12193170>

- Feng, K., Wang, T., Liu, S., Yan, C., Kang, W., Chen, X., & Guo, Z. (2021).** Path analysis model to identify and analyse the causes of aeolian desertification in Mu Us Sandy Land, China. *Ecological Indicators*, 124, 107386. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107386>
- Feng, S., & Fu, Q. (2013).** Expansion of global drylands under a warming climate. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(19), 10081-10094. doi:10.5194/acp-13-10081-2013.
- Ferrara, A., Kosmas, C., Salvati, L., Padula, A., Mancino, G., & Nolè, A. (2020).** Updating the MEDALUS-ESA Framework for Worldwide Land Degradation and Desertification Assessment. *Land Degradation & Development*, 31(12), 1593–1607. <https://doi.org/10.1002/ldr.3559>
- Ferrara, A., Salvati, L., Sateriano, A., & Nolè, A. (2012).** Performance evaluation and cost assessment of a key indicator system to monitor desertification vulnerability. *Ecological Indicators*, 23, 123-129. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.03.015>
- Ficklin, D. L., Abatzoglou, J. T., Robeson, S. M., & Dufficy, A. (2016).** The influence of climate model biases on projections of aridity and drought. *Journal of Climate*, 29(4), 1269-1285. doi:10.1175/JCLI-D-15-0439.1.
- Floret, C., Le Floc'h, E., & Pontanier, R. (1992).** Perturbations anthropiques et aridification en zone présaharienne. *L'aridité une contrainte au développement* (Le Floc'h et al eds), Ed ORSTOM Paris, 449-466.
- Fu, Q., Lin, L., Huang, J., Feng, S., & Gettelman, A. (2016).** Changes in terrestrial aridity for the period 850–2080 from the Community Earth System Model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(6), 2857-2873. doi:10.1002/2015JD024075.

---

## **G**

- Gad, A. (2020).** Qualitative and quantitative assessment of land degradation and desertification in Egypt based on satellite remote sensing: urbanization, salinization and wind erosion. *Environmental Remote Sensing in Egypt*, 443-497.
- Gamoun, M. (2014).** Grazing intensity effects on the vegetation in desert rangelands of Southern Tunisia. *Journal of Arid Land*, 6, 324-333. <https://doi.org/10.1007/s40333-013-0202-y>
- Gillette, D. A., Adams, J., Endo, A., Smith, D., & Kihl, R. (1980).** Threshold velocities for input of soil particles into the air by desert soils. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 85(C10), 5621-5630. <https://doi.org/10.1029/JC085iC10p05621>
- Glantz, M. H., & Orlovsky, N. S. (1983).** Desertification: A review of the concept. *Desertification Control Bulletin*, 9, 15-22.
- Goudie, A. (2006).** *The Human Impact on the Natural Environment: Past, Present, and Future*, 6th ed. ed. Wiley-Blackwell, Victoria.
- Guo, B., Lu, M., Fan, Y., Wu, H., Yang, Y., & Wang, C. (2023).** A novel remote sensing monitoring index of salinization based on three-dimensional feature space model and its application in the Yellow River Delta of China. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 14(1), 95-116. <https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2156820>

**H**

**Hamamouche, M. F., Kuper, M., Amichi, H., Lejars, C., & Ghodbani, T. (2018).** New reading of Saharan agricultural transformation: Continuities of ancient oases and their extensions (Algeria). *World Development*, 107, 210-223. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.02.026>

**Hamiche, A. M., Stambouli, A. B., & Flazi, S. (2015).** A review on the water and energy sectors in Algeria: Current forecasts, scenario and sustainability issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 261–276. doi: 10.1016/j.rser.2014.08.024

**Hammouda, R. F., Huguenin, J., & Nedjraoui, D. (2013).** Régression des parcours et adaptation des élevages en zone steppique algérienne.

**Han, J., Wang, J., Chen, L., Xiang, J., Ling, Z., Li, Q., & Wang, E. (2021).** Driving factors of desertification in Qaidam Basin, China: An 18-year analysis using the geographic detector model. *Ecological Indicators*, 124, 107404. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107404>

**Han, X., Jia, G., Yang, G., Wang, N., Liu, F., Chen, H., ... & Liu, J. (2020).** Spatiotemporal dynamic evolution and driving factors of desertification in the Mu Us Sandy Land in 30 years. *Scientific Reports*, 10(1), 21734. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78665-9>

**Hein, L., & De Ridder, N. (2006).** Desertification in the Sahel: a reinterpretation. *Global Change Biology*, 12(5), 751-758. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01135.x>

**Herrmann, S. M., & Hutchinson, C. F. (2005).** The changing contexts of the desertification debate. *Journal of Arid Environments*, 63(3), 538-555. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.03.003>

**Hirche, A., Salamani, M., Tarhouni, M., Nedjraoui, D., Gashut, E.H., Abdelmadjid, B., Adi, N., Hourizi, R., Belgacem, A., Grandi, M., Ben Khettra, N., Briki, M., Amrani, S. (2018).** The Maghreb (North Africa) rangelands evolution for forty years: Regreening or degradation? *Desertif. Past, Curr. Futur. Trends* 73–106.

**Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I., Diedhiou, A., ... & Zougmore, R. B. (2018).** Impacts of 1.5 C global warming on natural and human systems. *Global warming of 1.5° C*. <http://hdl.handle.net/10138/311749>

**Huang, J., Zhang, G., Zhang, Y., Guan, X., Wei, Y., & Guo, R. (2020).** Global desertification vulnerability to climate change and human activities. *Land Degradation & Development*, 31(11), 1380-1391. <https://doi.org/10.1002/ldr.3556>

**I**

**Idriss, H., Khaladi, M., & Slim, S. (2011).** Space Analysis and the Detection of the Changes for the Follow-Up of the Components Sand-Vegetation in the Area of Mecheria, Algeria. *Survival and Sustainability: Environmental concerns in the 21st Century*, 37-49. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-95991-5-4>

**Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage. (2008).** Les sols salins en Algérie.

**IPBES. (2018).** Assessment Report on Land Degradation and Restoration [Montanarella, L., R. Scholes., and A. Brainich. (eds.)]. Secretariate of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany, 686 pp.

---

***J***

**Jenks, G. (1977).** Optimal data classification for choropleth maps. Department of Geography, University of Kansas (Occasional paper No. 2), Kansas, United States.

**Jiang, L., Bao, A., Jiapaer, G., Guo, H., Zheng, G., Gafforov, K., ... & De Maeyer, P. (2019).** Monitoring land sensitivity to desertification in Central Asia: Convergence or divergence? *Science of the Total Environment*, 658, 669-683. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.152>

---

***K***

**Kacem, H. A., Fal, S., Karim, M., Alaoui, H. M., Rhinane, H., & Maanan, M. (2021).** Application of fuzzy analytical hierarchy process for assessment of desertification sensitive areas in North West of Morocco. *Geocarto International*, 36(5), 563-580. <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1611949>

**Kadri, C. B., & Nasrallah, Y. (2023).** GIS-Based AHP Technique for Assessment of Desertification in Western Highlands of Algeria. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 7(2), 18. <https://doi.org/10.1007/s41651-023-00147-z>

**Karamesouti, Mina; Panagos, Panos; Kosmas, Costas. (2018).** Model-based spatio-temporal analysis of land desertification risk in Greece. In : CATENA, vol. 167, n° 1, p. 266–275. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.04.042>

**Katyal, J. C., & Vlek, P. L. (2000).** *Desertification: concept, causes and amelioration* (No. 33). ZEF discussion papers on development policy. <http://hdl.handle.net/10419/84771>

**Kettab, A. (2001).** Les ressources en eau en Algérie : stratégies, enjeux et vision. *Desalination*, 136(1-3), 25-33. doi :10.1016/s0011-9164(01)00161-8

**Kishk, M. A. (1986).** Land degradation in the Nile Valley. *Ambio*, 15(4), 226-230.

**Kosmas, C., Ferrara, A., Briasouli, H., & Imeson, A. (1999).** Methodology for mapping environmentally sensitive areas (ESAs) to desertification. *The medalus project Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping Environmentally Sensitive Areas to desertification*, 31-47. <https://doi.org/10.1002/ldr.3559>.The

**Kosmas, C., Kairis, O., Karavitis, C., Ritsema, C., Salvati, L., Acikalin, S., ... & Ziogas, A. (2014).** Evaluation and selection of indicators for land degradation and desertification monitoring: methodological approach. *Environmental management*, 54, 951-970. <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0109-6>

**Kotir, J. H. (2011).** Climate change and variability in Sub-Saharan Africa: a review of current and future trends and impacts on agriculture and food security. *Environment, Development and Sustainability*, 13, 587-605. <https://doi.org/10.1007/s10668-010-9278-0>

**Kouba, Y., Gartzia, M., El Aich, A., & Alados, C. L. (2018).** Deserts do not advance, they are created: Land degradation and desertification in semiarid environments in the Middle Atlas, Morocco. *Journal of Arid Environments*, 158, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.07.002>

**Kouba, Y., Merdas, S., Mostephaoui, T., Saadali, B., Chenchouni, H. (2021).** Plant community composition and structure under short-term grazing exclusion in steppic arid rangelands. *Ecol. Indic.* 120, 106910. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106910>

**Koutroulis, A. G. (2019).** Dryland changes under different levels of global warming. *Science of the Total Environment*, 655, 482-511. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2018.11.215.

---

***L***

**Ladisa, G., Todorovic, M., & Liuzzi, G. T. (2012).** A GIS-based approach for desertification risk assessment in Apulia region, SE Italy. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/B/C*, 49, 103-113. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.05.007>

**Lal, R., Hall, G. F., & Miller, F. P. (1989).** Soil degradation: I. Basic processes. *Land Degradation & Development*, 1(1), 51-69. <https://doi.org/10.1002/ldr.3400010106>

**Lal, R., Stewart, B.A. (Eds.). (1990).** *Advances in Soil Science*, Soil Science, Advances in Soil Science. Springer New York, New York, NY. doi :10.1007/978-1-4612-3322-0

**Le Houérou, H. N. (1973).** Ecologie, démographie et production agricole dans les pays méditerranéens du tiers monde. *Option Méditerranée, Paris*, 17, 53-61.

**Le Houérou, H. N. (1996).** Climate change, drought and desertification. *Journal of arid Environments*, 34(2), 133-185. <https://doi.org/10.1006/jare.1996.0099>

**Lee, E. J., Piao, D., Song, C., Kim, J., Lim, C. H., Kim, E., ... & Lee, W. K. (2019).** Assessing environmentally sensitive land to desertification using MEDALUS method in Mongolia. *Forest Science and Technology*, 15(4), 210-220. <https://doi.org/10.1080/21580103.2019.1667880>

**Lillouch, S. (2018).** Contribution à l'évaluation du risque sismique de la ville de Bejaia, Thèse de doctorat, Université A. Mira - Béjaïa, Algérie, p 43.

**Lin, L., Gettelman, A., Feng, S., & Fu, Q. (2015).** Simulated climatology and evolution of aridity in the 21st century. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(12), 5795-5815. doi:10.1002/2014JD022912.

**Linderholm, H. W. (2006).** Growing season changes in the last century. *Agricultural and forest meteorology*, 137(1-2), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.03.006>

**Liu, Y., Guo, B., Lu, M., Zang, W., Yu, T., Chen, D. (2023).** Quantitative distinction of the relative actions of climate change and human activities on vegetation evolution in the Yellow River Basin of China during 1981–2019. *J. Arid Land* 15, 91–108. <https://doi.org/10.1007/s40333-022-0079-8>

M

- Ma, H., & Zhao, H. (1994).** United Nations: Convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa. *Int. Legal Mater.*, 33, 1328–1382.
- Mabutt J.A. et Floret C. (1983).** Etudes de cas sur la désertification, document élaboré par le PNUE, le PNUD et l'UNESCO, coll. Recherches sur les ressources naturelles, France.
- Mainguet, M. (1990).** La désertification : une crise autant socio-économique que climatique. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 1(3), 187-195.
- Mainguet, M. (1994).** Desertification-Natural Background and Human Mismanagement. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Martínez-Valderrama, J., Ibáñez, J., Del Barrio, G., Alcalá, F.J., Sanjuán, M.E., Ruiz, A., Hirche, A., Puigdefábregas, J. (2018).** Doomed to collapse: Why Algerian steppe rangelands are overgrazed and some lessons to help land-use transitions. *Sci. Total Environ.* 613–614, 1489–1497. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.058>
- MEA. (2005).** *In: Millenium Ecosystem Assessment – Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis.* World Resources Institute. <https://doi.org/ISBN : 1-56973-590-5>
- Meng, X., Gao, X., Li, S., Li, S., & Lei, J. (2021).** Monitoring desertification in Mongolia based on Landsat images and Google Earth Engine from 1990 to 2020. *Ecological indicators*, 129, 107908. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107908>
- Merdas, S. (2017).** Evaluation des indicateurs de la désertification dans les écosystèmes steppiques cas de la région du Hodna (Msila), thèse de doctorat en sciences Université des Frères Mentouri - Constantine, 129 p. <http://depot.umc.edu.dz/handle/123456789/4930>
- Merdas, S., Kouba, Y., Mostephaoui, T., Farhi, Y., Chenchouni, H. (2021).** Livestock grazing-induced large-scale biotic homogenization in arid Mediterranean steppe rangelands. *L. Degrad. Dev.* 0–2. <https://doi.org/10.1002/ldr.4095>
- Middleton, N.J and Thomas, D.S.G. (1992).** World Atlas of Desertification. Land degradation and development, Vol. 3, N°4: 249-249.
- Mihi, A., Nacer, T., Chenchouni, H. (2019).** Monitoring dynamics of date palm plantations from 1984 to 2013 using Landsat time-series in Sahara desert oases of Algeria, *Advances in Science, Technology and Innovation.* Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-01440-7\\_52](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01440-7_52)
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005).** Ecosystems and Human Well-Being: desertification synthesis, Ecosystems and human well-being. doi: ISBN: 1-56973-590-5
- Milton, S. J., & Hoffman, M. T. (1994).** The application of state-and-transition models to rangeland research and management in arid succulent and semi-arid grassy Karoo, South Africa. *African journal of range & forage science*, 11(1), 18-26. <https://doi.org/10.1080/10220119.1994.9638349>

**Mostari, A., Benabdeli, K., Ferah, T. (2021).** Assessment of the impact of urbanisation on agricultural and forest areas in the coastal zone of Mostaganem (western Algeria). *Ekol. Bratislava* 40, 230–239. <https://doi.org/10.2478/eko-2021-0025>

**Moulahoum, W., Chaoui, M. S., (2019).** Algeria Water Report. Published on July 30, 2019. <https://water.fanack.com/algeria/>

**Moulai, A. (2008).** Suivi de la stratégie méditerranéenne pour le développement durable (développement agricole et rural « Etude Nationale Algérie », Volume 1). *Plan Bleu Centre d'Activités Régionales, Sophia Antipolis.*

**Muchtar, Z., Hadinata, F., & Putranto, D. D. A. (2023).** DECREASING THE QUALITY OF WATER RESOURCES IN THE RAWAS WATERSHED DUE TO LAND DEGRADATION. *GEOMATE Journal*, 25(107), 173-182. <https://doi.org/10.21660/2023.107.g12203>

**Muluneh, M. G. (2021).** Impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective—a review article. *Agriculture & Food Security*, 10(1), 1-25. <https://doi.org/10.1186/s40066-021-00318-5>

---

***N***

**Na, R., Du, H., Na, L., Shan, Y., He, H. S., Wu, Z., ... & Huang, L. (2019).** Spatiotemporal changes in the Aeolian desertification of Hulunbuir Grassland and its driving factors in China during 1980–2015. *Catena*, 182, 104123. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104123>

**Nadporozhskaya, M. A., Chertov, O. G., Bykhovets, S. S., Shaw, C. H., Maksimova, E. Y., & Abakumov, E. V. (2018).** Recurring surface fires cause soil degradation of forest land: A simulation experiment with the EFIMOD model. *Land Degradation & Development*, 29(7), 2222-2232. <https://doi.org/10.1002/ldr.3021>

**Nahal, I. (2004).** La désertification dans le monde : Causes-processus-conséquences-lutte. *La désertification dans le monde*, 1-166. <http://digital.casalini.it/9782296359017>

---

***O***

**Oldeman, L. R. (1991).** World map of the status of human-induced soil degradation, An explanatory note, Global assessment of soils degradation, GLASOD. The Map Sheets.

**Oldeman, L. R. (1992).** Global extent of soil degradation. In *Bi-annual report 1991-1992/ISRIC* (pp. 19-36). ISRIC.

**Ouachoua, R., & Al Karkouri, J. (2020).** Application of the environmental vulnerability index (EVI) in Ziz-Rheris watershed, Morocco. *Int. J. Sci. Res. in Multidisciplinary Studies Vol*, 6(9).

---

***P***

**Perović, V., Kadović, R., Đurđević, V., Pavlović, D., Pavlović, M., Čakmak, D., ... & Pavlović, P. (2021).** Major drivers of land degradation risk in Western Serbia: Current trends and future scenarios. *Ecological Indicators*, 123, 107377. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107377>

**Prasad, V. K., & Badarinth, K. V. S. (2004).** Land use changes and trends in human appropriation of above ground net primary production (HANPP) in India (1961–98). *Geographical Journal*, 170(1), 51-63. <https://doi.org/10.1111/j.0016-7398.2004.05015.x>

**Prăvălie, R. (2021).** Exploring the multiple land degradation pathways across the planet. *Earth-Science Reviews*, 220(May). <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103689>

**Prăvălie, R., Patriche, C., & Bandoc, G. (2017).** Quantification of land degradation sensitivity areas in Southern and Central Southeastern Europe. New results based on improving DISMED methodology with new climate data. *Catena*, 158, 309-320. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.07.006>

**Prăvălie, R., Patriche, C., Borrelli, P., Panagos, P., Roșca, B., Dumitrașcu, M., Nita, I. A., Săvulescu, I., Birsan, M. V., & Bandoc, G. (2021).** Arable lands under the pressure of multiple land degradation processes. A global perspective. *Environmental Research*, 194(September 2020). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110697>

**Prăvălie, R., Patriche, C., Săvulescu, I., Sîrodoev, I., Bandoc, G., & Sfiță, L. (2020).** Spatial assessment of land sensitivity to degradation across Romania. A quantitative approach based on the modified MEDALUS methodology. *Catena*, 187(December 2019), 104407. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104407>

**Prăvălie, R., Săvulescu, I., Patriche, C., Dumitrașcu, M., & Bandoc, G. (2017).** Spatial assessment of land degradation sensitive areas in southwestern Romania using modified MEDALUS method. *Catena*, 153, 114–130. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.02.011>

**Prince, S. D., Wessels, K. J., Tucker, C. J., & Nicholson, S. E. (2007).** Desertification in the Sahel: a reinterpretation of a reinterpretation. *Global Change Biology*, 13(7), 1308-1313. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01356.x>

---

***Q***

**Quézel, P. (2000).** *Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen*, Ibis Press. ed. Paris.

---

***R***

**Rajbanshi, J., & Das, S. (2021).** Monitoring land sensitivity to desertification using the ESAI approach and evaluation of the key indicators: A spatio-temporal study in India. *Land Degradation & Development*, 32(10), 3045-3061. <https://doi.org/10.1002/ldr.3965>

**Richard, J. F. (Ed.). (1990).** *La dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest : points de vue et perspectives de recherches*. Paris (FRA) ; Dakar : Ministère de la Coopération et du Développement ; Presses Universitaires de Dakar, 1990, 310 p. ISBN 2-11-086724-8

**Roderick, M. L., Greve, P., & Farquhar, G. D. (2015).** On the assessment of aridity with changes in atmospheric CO<sub>2</sub>. *Water Resources Research*, 51(7), 5450-5463. doi:10.1002/2015WR017031.

S

**Safriel, U., Adeel, Z., Niemeijer, D., Puigdefabregas, J., White, R., Lal, R., Winslow, M., Ziedler, J., Prince, S., Archer, E., King, C., Shapiro, B., Wessels, K., Nielsen, T., Portnov, B., Reshef, I., Thonell, J., Lachman, E., and McNab, D. (2005).** Dry land systems. In: Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends: Findings of the Condition and Trends Working Group, Hassan, R.M., Scholes, R. and Ash, N., eds., Island Press: Washington, DC, Chapitre 22: 623–662.

**Sahnouni, R. (2020).** Evaluation du phénomène de la désertification dans la région du Hodna - Msila (Algérie), Thèse de doctorat LMD, Université Mustapha Ben Boulaid-Batna, p 8-9-15-16-17. <http://eprints.univ-batna2.dz/id/eprint/1848>

**Salamani, M., Hanifi, H. K., Hirche, A., & Nedjraoui, D. (2013).** Évaluation de la sensibilité à la désertification en Algérie. *Revue d'Ecologie, Terre et Vie*, 68(1), 71-84. <https://hal.science/hal-03530603>

**Salvati, L., & Bajocco, S. (2011).** Land sensitivity to desertification across Italy: past, present, and future. *Applied geography*, 31(1), 223-231. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.04.006>

**Salvati, L., & Zitti, M. (2007).** Territorial disparities, natural resource distribution, and land degradation: a case study in southern Europe. *Geojournal*, 70, 185-194. <https://doi.org/10.1007/s10708-008-9124-1>

**Salvati, L., De Angelis, A., Bajocco, S., Ferrara, A., & Barone, P. M. (2013).** Desertification risk, long-term land-use changes and environmental resilience: a case study in Basilicata, Italy. *Scottish Geographical Journal*, 129(2), 85-99. <https://doi.org/10.1080/14702541.2013.781209>

**Salvati, L., Zitti, M., & Perini, L. (2016).** Fifty years on: long-term patterns of land sensitivity to desertification in Italy. *Land degradation & development*, 27(2), 97-107. <https://doi.org/10.1002/ldr.2226>

**Sánchez-Arcilla, A., Mössö, C., Sierra, J. P., Mestres, M., Harzallah, A., Senouci, M., & El Raey, M. (2011).** Climatic drivers of potential hazards in Mediterranean coasts. *Regional Environmental Change*, 11, 617-636. <https://doi.org/10.1007/s10113-010-0193-6>

**Sanzheev, E. D., Mikheeva, A. S., Osodoev, P. V., Batomunkuev, V. S., & Tulokhonov, A. K. (2020).** Theoretical approaches and practical assessment of socio-economic effects of desertification in Mongolia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 4068. <https://doi.org/10.3390/ijerph17114068>

**Scheff, J., & Frierson, D. M. (2015).** Terrestrial aridity and its response to greenhouse warming across CMIP5 climate models. *Journal of Climate*, 28(14), 5583-5600. doi:10.1175/JCLI-D-14-00480.1.

**Schofield, R. V., & Kirkby, M. J. (2003).** Application of salinization indicators and initial development of potential global soil salinization scenario under climatic change. *Global Biogeochemical Cycles*, 17(3). doi:10.1029/2002GB001935.

**Schwilch, G., Bestelmeyer, B., Bunning, S., Critchley, W., Herrick, J., Kellner, K., ... & Winslow, M. (2011).** Experiences in monitoring and assessment of sustainable land management. *Land Degradation & Development*, 22(2), 214-225. <https://doi.org/10.1002/ldr.1040>

**Sellami M. (2009).** Thematic and statistical representativeness of local environmental monitoring observatories: Application to the ROSELT-OSS network. M.Sc. Thesis, United Nations University: Hamilton (<http://unu.edu>).

**Senoussi, A., Hadbaoui, I., et Huguenin, J. (2014).** L'espace pastoral dans la région de M'sila, Algérie : état et perspectives de réhabilitation. *Livestock Research for Rural Development*, Vol. 26, N° 11: 1-11. <http://www.lrrd.org/lrrd26/11/seno26206.html>

**Shao, W., Wang, Q., Guan, Q., Zhang, J., Yang, X., & Liu, Z. (2023).** Environmental sensitivity assessment of land desertification in the Hexi Corridor, China. *CATENA*, 220(PB), 106728. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106728>

**Sheng, T. C. (1989).** Soil conservation for small farmers in the humid tropics (No. 60). Food & Agriculture Org..

**Sherwood, S., & Fu, Q. (2014).** A drier future?. *Science*, 343(6172), 737-739. doi:10.1126/science.1247620

**Silva, F. J. B. C. D., & Azevedo, J. R. G. D. (2020).** Temporal trend of drought and aridity indices in semi-arid pernambucano to determine susceptibility to desertification. *RBRH*, 25. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190145>

**Slimani, H., Aidoud, A., Rozé, F. (2010).** 30 Years of protection and monitoring of a steppic rangeland undergoing desertification. *J. Arid Environ.* 74, 685–691. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.10.015>

**Smith, O.B. and Koala S. (1999).** Desertification: Myth and realities, Canadian Science Writer's Annual General Meeting, May 27-29, 1999.

**Sonneveld, B. G., & Dent, D. L. (2009).** How good is GLASOD?. *Journal of Environmental Management*, 90(1), 274-283. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.09.008>

**Sun, J. Y., Li, M. Z., Zheng, L. H., Hu, Y. G., & Zhang, X. J. (2006).** Real-time analysis of soil moisture, soil organic matter, and soil total nitrogen with NIR spectra. *Guang pu xue yu guang pu fen xi= Guang pu*, 26(3), 426-429.

**Symeonakis, E., & Drake, N. (2004).** Monitoring desertification and land degradation over sub-Saharan Africa. *International Journal of remote sensing*, 25(3), 573-592. <https://doi.org/10.1080/0143116031000095998>

---

***T***

**Taïbi, A. N. (2015).** Désertification et dégradation. Ré-interrogation des concepts à la lumière d'exemples africains, Thèse d'habilitation, Université Angers-France, 171 p. <https://hal.science/tel-01250719>

**Thomas, D. S. (1997).** World atlas of desertification (Vol. 182). N. Middleton (Ed.). London: Arnold.

**Thomas, D. S. G. (1995).** Desertification: Causes and processes, In: Encyclopaedia of Environmental Biology, Vol. 1, ed. W. A. Nierenberg, San Diego, Academic Press, 463-473.

**Thomas, D. S. G. (1997).** *World atlas of desertification* (Vol. 182). N. Middleton (Ed.). London : Arnold. ISBN : 0340691662 ; 0470249722

**Thomas, D. S., & Middleton, N. J. (1994).** Desertification: exploding the myth. John Wiley and Sons. Book : Desertification: exploding the myth 1994 pp.207 pp, ISBN : 0471948152.

**Tombolini, I., Colantoni, A., Renzi, G., Sateriano, A., Sabbi, A., Morrow, N., & Salvati, L. (2016).** Lost in convergence, found in vulnerability: A spatially-dynamic model for desertification risk assessment in Mediterranean agro-forest districts. *Science of the Total Environment*, 569, 973-981. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.049>

**Trew, B. T., & Maclean, I. M. (2021).** Vulnerability of global biodiversity hotspots to climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 30(4), 768-783. <https://doi.org/10.1111/geb.13272>

**Türkeş, M., Öztaş, T., Tercan, E., Erpul, G., Karagöz, A., Dengiz, O., ... & Avcioğlu, B. (2020).** Desertification vulnerability and risk assessment for Turkey via an analytical hierarchy process model. *Land Degradation & Development*, 31(2), 205-214. <https://doi.org/10.1002/ldr.3441>

---

**U**

**UNCCD. (2017).** *Report of the Conference of the Parties on Its Thirteenth Session* (Issue October).

**Uzuner, Ç., & Dengiz, O. (2020).** Desertification risk assessment in Turkey based on environmentally sensitive areas. *Ecological Indicators*, 114, 106295. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106295>

---

**V**

**Van der Hagen, H. G., Lammers, E., van der Meulen, F., Pätsch, R., van Rooijen, N. M., Sýkora, K. V., & Schaminée, J. H. (2023).** The role of livestock grazing in long-term vegetation changes in coastal dunes: a case study from the Netherlands. *Plant Sociology*, 60, 1-12. <https://doi.org/10.3897/pls2023601/01>

**Vieira, R. D. S. P., Tomasella, J., Alvalá, R. C. D. S., Sestini, M. F., Affonso, A. G., Rodriguez, D. A., ... & Santana, M. O. (2015).** Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. *Solid Earth*, 6(1), 347-360. <https://doi.org/10.5194/se-6-347-2015>

**Vieira, R. M. D., Tomasella, J., Barbosa, A. A., Martins, M. A., Rodriguez, D. A., Rezende, F. S., ... & Santana, M. D. (2021).** Desertification risk assessment in Northeast Brazil: Current trends and future scenarios. *Land Degradation & Development*, 32(1), 224-240. <https://doi.org/10.1002/ldr.3681>

W

**Wang, X., Ge, Q., Geng, X., Wang, Z., Gao, L., Bryan, B. A., ... & Chen, F. (2023).** Unintended consequences of combating desertification in China. *Nature Communications*, 14(1), 1139. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-36835-z>

**Warren, A., & Agnew, C. (1988).** An assessment of desertification and land degradation in arid and semi-arid areas (p. 29). London: International Institute for Environment and Development. <https://www.iied.org/7251iied>

**William, M. A. (2001).** Interactions of desertification and climate: Present understanding and future research imperatives.

**Wu, W. (2003).** Application de la géomatique au suivi de la dynamique environnementale en zones arides, Thèse de doctorat Université Panthéon-Sorbonne-Paris I - France, p 01-07. <https://theses.hal.science/tel-00011113>

X

**Xu, D., Song, A., Li, D., Ding, X., & Wang, Z. (2019).** Assessing the relative role of climate change and human activities in desertification of North China from 1981 to 2010. *Frontiers of Earth Science*, 13, 43-54. <https://doi.org/10.1007/s11707-018-0706-z>

Y

**Yaojie, Y., Min, L., Lin, W., & A-Xing, Z. (2019).** A data-mining-based approach for aeolian desertification susceptibility assessment: A case-study from Northern China. *Land Degradation & Development*, 30(16), 1968-1983. <https://doi.org/10.1002/ldr.3393>

**Yu, Y., Guo, B., Wang, C., Zang, W., Huang, X., Wu, Z., Xu, M., Zhou, K., Li, J., Yang, Y. (2023).** Carbon storage simulation and analysis in Beijing-Tianjin-Hebei region based on CA-plus model under dual-carbon background. *Geomatics, Nat. Hazards Risk* 14. <https://doi.org/10.1080/19475705.2023.2173661>

Z

**Zaoui, L., Hassini, A., & Belbachir, A. H. (2017).** Assessing spatio-temporal sand dune changes within the Sahara of Algeria using landsat satellite data. *International Journal of Ecology & Development*, 32(4), 76-87.

**Zegait, R., Bensaha, H., Addoun, T. (2021).** Water management and the agricultural development constraints in the Algerian Sahara: Case of the M'Zab Valley. *J. Water L. Dev.* 50, 173–179. <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.138172>

**Zeng, N., & Yoon, J. (2009).** Expansion of the world's deserts due to vegetation-albedo feedback under global warming. *Geophysical Research Letters*, 36(17). doi:10.1029/2009GL039699.

**Zeroual, A., Assani, A. A., Meddi, M., & Alkama, R. (2019).** Assessment of climate change in Algeria from 1951 to 2098 using the Köppen–Geiger climate classification scheme. *Climate dynamics*, 52(1-2), 227-243. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4128-0>

**Zerrouki, Y., Harrou, F., Zerrouki, N., Dairi, A., & Sun, Y. (2020).** Desertification detection using an improved variational autoencoder-based approach through ETM-landsat satellite data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, *14*, 202-213. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3042760>

**Zhang, C., & McBean, E. A. (2016).** Estimation of desertification risk from soil erosion: a case study for Gansu Province, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, *30*, 2215-2229. <https://doi.org/10.1007/s00477-015-1186-2>

**Zhao, S., Da, L., Tang, Z., Fang, H., Song, K., & Fang, J. (2006).** Ecological consequences of rapid urban expansion: Shanghai, China. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *4*(7), 341-346. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2006\)004\[0341:ECORUE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2006)004[0341:ECORUE]2.0.CO;2)

---



# *Annexe*

---

**SOMMAIRE****DECRETS**

Décret exécutif n° 20-200 du 4 Dhou El Hidja 1441 correspondant au 25 juillet 2020 modifiant la répartition par secteur des dépenses d'équipement de l'Etat pour 2020.....	4
Décret exécutif n° 20-201 du 4 Dhou El Hidja 1441 correspondant au 25 juillet 2020 portant virement de crédits au sein du budget de fonctionnement du ministère de l'intérieur, des collectivités locales et de l'aménagement du territoire.....	5
Décret exécutif n° 20-202 du 4 Dhou El Hidja 1441 correspondant au 25 juillet 2020 portant virement de crédits au sein du budget de fonctionnement du ministère de la justice.....	6
Décret exécutif n° 20-203 du 4 Dhou El Hidja 1441 correspondant au 25 juillet 2020 portant virement de crédits au sein du budget de fonctionnement du ministère du travail, de l'emploi et de la sécurité sociale.....	7
Décret exécutif n° 20-204 du 4 Dhou El Hidja 1441 correspondant au 25 juillet 2020 fixant la liste des postes supérieurs des services extérieurs du ministère de l'énergie, les conditions d'accès à ces postes et la bonification indiciaire y afférente.....	7
Décret exécutif n° 20-205 du 4 Dhou El Hidja 1441 correspondant au 25 juillet 2020 portant création d'un théâtre régional à Béchar.....	9
Décret exécutif n° 20-206 du 4 Dhou El Hidja 1441 correspondant au 25 juillet 2020 portant abrogation du décret exécutif n° 10-89 du 24 Rabie El Aouel 1431 correspondant au 10 mars 2010 fixant les modalités de suivi des importations sous franchise des droits de douane dans le cadre des accords de libre échange.....	9
Décret exécutif n° 20-213 du 9 Dhou El Hidja 1441 correspondant au 30 juillet 2020 portant création d'un organe de coordination de la lutte contre la désertification et de la relance du barrage vert.....	9

**DECISIONS INDIVIDUELLES**

Décret présidentiel du 5 Dhou El Hidja 1441 correspondant au 26 juillet 2020 portant nomination du président de l'agence nationale de sécurité sanitaire.....	12
Décret exécutif du 27 Dhou El Kaâda 1441 correspondant au 19 juillet 2020 mettant fin aux fonctions du directeur régional du Trésor à Khenchela.....	12
Décret exécutif du 27 Dhou El Kaâda 1441 correspondant au 19 juillet 2020 mettant fin aux fonctions du directeur de l'école des hautes études commerciales.....	12
Décret exécutif du 27 Dhou El Kaâda 1441 correspondant au 19 juillet 2020 mettant fin aux fonctions d'une directrice d'études au ministère de la solidarité nationale, de la famille et de la condition de la femme.....	12
Décret exécutif du 27 Dhou El Kaâda 1441 correspondant au 19 juillet 2020 mettant fin aux fonctions d'un chef d'études à l'ex-ministère de l'industrie et des mines.....	12
Décret exécutif du 27 Dhou El Kaâda 1441 correspondant au 19 juillet 2020 mettant fin aux fonctions de directeurs de l'urbanisme, de l'architecture et de la construction de wilayas.....	12
Décret exécutif du 27 Dhou El Kaâda 1441 correspondant au 19 juillet 2020 mettant fin aux fonctions de sous-directrices au ministère du commerce.....	12
Décret exécutif du 27 Dhou El Kaâda 1441 correspondant au 19 juillet 2020 mettant fin aux fonctions du directeur du commerce à la wilaya de Biskra.....	13
Décret exécutif du 27 Dhou El Kaâda 1441 correspondant au 19 juillet 2020 mettant fin aux fonctions du directeur des travaux publics à la wilaya de Annaba.....	13

**Décret exécutif n° 20-205 du 4 Dhou El Hidja 1441  
correspondant au 25 juillet 2020 portant création  
d'un théâtre régional à Béchar.**

-----

Le Premier ministre,

Sur le rapport de la ministre de la culture et des arts,

Vu la Constitution, notamment ses articles 99-4° et 143 (alinéa 2) ;

Vu le décret présidentiel n° 19-370 du Aouel Joumada El Oula 1441 correspondant au 28 décembre 2019 portant nomination du Premier ministre ;

Vu le décret présidentiel n° 20-163 du Aouel Dhou El Kaâda 1441 correspondant au 23 juin 2020, modifié et complété, portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 07-18 du 27 Dhou El Hidja 1427 correspondant au 16 janvier 2007 portant statut des théâtres régionaux, notamment son article 5 ;

**Décrète :**

Article 1er. — Conformément aux dispositions de l'article 5 du décret exécutif n° 07-18 du 27 Dhou El Hidja 1427 correspondant au 16 janvier 2007 portant statut des théâtres régionaux, il est créé un théâtre régional à Béchar dénommé « théâtre régional de Béchar ».

Art. 2. — Le siège du théâtre régional est fixé dans la ville de Béchar, wilaya de Béchar.

Art. 3. — Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 4 Dhou El Hidja 1441 correspondant au 25 juillet 2020.

Abdelaziz DJERAD.

-----★-----

**Décret exécutif n° 20-206 du 4 Dhou El Hidja 1441  
correspondant au 25 juillet 2020 portant abrogation  
du décret exécutif n° 10-89 du 24 Rabie El Aouel  
1431 correspondant au 10 mars 2010 fixant les  
modalités de suivi des importations sous franchise  
des droits de douane dans le cadre des accords de  
libre échange.**

-----

Le Premier ministre,

Sur le rapport du ministre du commerce,

Vu la Constitution, notamment ses articles 99-4° et 143 (alinéa 2) ;

Vu l'ordonnance n° 03-04 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003, modifiée et complétée, relative aux règles générales applicables aux opérations d'importation et d'exportation de marchandises ;

Vu le décret présidentiel n° 19-370 du Aouel Joumada El Oula 1441 correspondant au 28 décembre 2019 portant nomination du Premier ministre ;

Vu le décret présidentiel n° 20-163 du Aouel Dhou El Kaâda 1441 correspondant au 23 juin 2020, modifié et complété, portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 10-89 du 24 Rabie El Aouel 1431 correspondant au 10 mars 2010, modifié et complété, fixant les modalités de suivi des importations sous franchise des droits de douane dans le cadre des accords de libre échange ;

**Décrète :**

Article 1er. — Sont abrogées, les dispositions du décret exécutif n° 10-89 du 24 Rabie El Aouel 1431 correspondant au 10 mars 2010, modifié et complété, fixant les modalités de suivi des importations sous franchise des droits de douane dans le cadre des accords de libre échange.

Art. 2. — Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 4 Dhou El Hidja 1441 correspondant au 25 juillet 2020.

Abdelaziz DJERAD.

-----★-----

**Décret exécutif n° 20-213 du 9 Dhou El Hidja 1441  
correspondant au 30 juillet 2020 portant création  
d'un organe de coordination de la lutte contre la  
désertification et de la relance du barrage vert.**

-----

Le Premier ministre,

Sur le rapport du ministre de l'agriculture et du développement rural,

Vu la Constitution, notamment ses articles 99-4° et 143 (alinéa 2) ;

Vu la convention des Nations-Unies sur la lutte contre la désertification dans les pays gravement touchés par la sécheresse et/ou la désertification, en particulier en Afrique, adoptée à Paris, le 17 juin 1994, ratifiée par le décret présidentiel n° 96-52 du 2 Ramadhan 1416 correspondant au 22 janvier 1996 ;

Vu la loi n° 84-12 du 23 juin 1984, modifiée et complétée, portant régime général des forêts ;

Vu la loi n° 01-20 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire ;

Vu la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003, modifiée, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;

Vu la loi n° 04-20 du 13 Dhou El Kaâda 1425 correspondant au 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable ;

Vu la loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005, modifiée et complétée, relative à l'eau ;

Vu la loi n° 10-02 du 16 Rajab 1431 correspondant au 29 juin 2010 portant approbation du Schéma National d'Aménagement du Territoire ;

Vu le décret n° 81-337 du 12 décembre 1981 portant création du Haut-commissariat au développement de la steppe ;

Vu le décret présidentiel n° 19-370 du Aouel Joumada El Oula 1441 correspondant au 28 décembre 2019 portant nomination du Premier ministre ;

Vu le décret présidentiel n° 20-163 du Aouel Dhou El Kaâda 1441 correspondant au 23 juin 2020, modifié et complété, portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 16-244 du 20 Dhou El Hidja 1437 correspondant au 22 septembre 2016 fixant l'organisation de l'administration centrale de la direction générale des forêts ;

Vu le décret exécutif n° 20-128 du 28 Ramadhan 1441 correspondant au 21 mai 2020 fixant les attributions du ministre de l'agriculture et du développement rural ;

### Décète :

Article 1er. — Le présent décret a pour objet la création d'un organe de coordination de la lutte contre la désertification et de la relance du barrage vert et de fixer ses missions, sa composition et son fonctionnement.

Art. 2. — Il est créé un organe de coordination de la lutte contre la désertification et de la relance du barrage vert, désigné ci-après l' « organe ».

Art. 3. — L'organe est chargé d'assurer la coordination intersectorielle du programme national de lutte contre la désertification et du plan d'action de relance du barrage vert.

A ce titre, il a pour missions :

#### 1. En matière de lutte contre la désertification et l'atténuation de la sécheresse :

— de contribuer à l'élaboration de la stratégie et du programme national de lutte contre la désertification et d'atténuation des effets de la sécheresse ;

— d'assurer la coordination de la mise en œuvre du programme national de lutte contre la désertification et d'atténuation de la sécheresse et de son évaluation ;

— de veiller à la cohérence des programmes sectoriels en matière de lutte contre la désertification et d'atténuation des effets de la sécheresse ;

— de veiller à la mise en œuvre de la convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification et d'atténuation de la sécheresse ;

— d'examiner et de valider le rapport annuel sur l'état d'application du programme national de lutte contre la désertification et d'atténuation de la sécheresse ;

— d'examiner et de valider le rapport national de l'état de mise en œuvre de la convention sur la lutte contre la désertification et d'atténuation de la sécheresse, élaboré en concertation avec les secteurs concernés ;

— d'assurer le suivi de la mise en œuvre des résolutions des conférences des parties de la convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification et l'atténuation de la sécheresse ;

— de désigner le/ou les secteur(s) concerné(s) devant prendre part aux conférences des parties.

#### 2. En matière de relance du barrage vert :

— d'examiner et de valider le plan d'action de réhabilitation, d'extension et du développement du barrage vert, élaboré en concertation avec les secteurs concernés ;

— d'assurer le suivi de la mise en œuvre du plan d'action de réhabilitation, d'extension et du développement du barrage vert, et de son évaluation ;

— d'examiner et de valider le rapport annuel sur l'état d'avancement des travaux du barrage vert.

L'organe est, également, chargé :

— de veiller à assurer la synergie et le bon fonctionnement des comités locaux mis en place à cet effet ;

— d'examiner et de donner un avis sur tout texte législatif et réglementaire en matière de lutte contre la désertification et d'atténuation de la sécheresse, de réhabilitation, d'extension et du développement du barrage vert ;

— d'examiner les besoins des secteurs concernés en formation et recherche en matière de lutte contre la désertification, d'atténuation de la sécheresse et de réhabilitation, d'extension et du développement du barrage vert ;

— de déterminer les besoins en matière d'assistance financière et de coopération technique dans les domaines de lutte contre la désertification, d'atténuation de la sécheresse, de réhabilitation, d'extension et du développement du barrage vert et les classer par ordre de priorité.

Art. 4. — L'organe, présidé par le ministre chargé des forêts ou son représentant, est composé des membres suivants :

— le représentant du ministre de la défense nationale ;

— le représentant du ministre des affaires étrangères ;

— le représentant du ministre de l'intérieur, des collectivités locales et de l'aménagement du territoire ;

- le représentant du ministre des finances ;
- le représentant du ministre de la transition énergétique et des énergies renouvelables ;
- le représentant du ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique ;
- le représentant du ministre de la jeunesse et des sports ;
- le représentant du ministre de l'habitat, de l'urbanisme et de la ville ;
- le représentant du ministre de la communication ;
- le représentant du ministre des travaux publics ;
- le représentant du ministre des ressources en eau ;
- le représentant du ministre du tourisme, de l'artisanat et du travail familial ;
- le représentant du ministre de la santé, de la population et de la réforme hospitalière ;
- le représentant du ministre de l'environnement ;
- le représentant du ministre délégué chargé de l'économie et de la connaissance et des start-up ;
- le directeur général des forêts ;
- le directeur général de l'agence spatiale algérienne ;
- le directeur général de l'office national des statistiques ;
- le directeur général de l'office national de la météorologie ;
- le haut-commissaire au développement de la steppe ;
- le commissaire au développement de l'agriculture dans les régions sahariennes ;
- le directeur de l'institut national de la recherche forestière ;
- le directeur de l'institut national de la recherche agronomique d'Algérie ;
- le directeur du centre de recherche scientifique et technique sur les régions arides ;
- le directeur du centre de développement des énergies renouvelables ;
- le directeur de l'institut national de la cartographie et de la télédétection ;
- le représentant algérien du comité scientifique et technique auprès de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification ;
- le président de la fédération nationale des éleveurs ;
- deux (2) présidents d'associations nationales activant dans le domaine de la lutte contre la désertification, désignés par le ministre chargé des forêts.

L'organe peut faire appel, en raison de ses compétences, à toute institution, expert et/ou personne ou association, susceptible(s) de l'éclairer dans ses travaux.

Art. 5. — Les membres de l'organe, représentants des ministres doivent avoir, au moins, le rang de directeur de l'administration centrale.

Art. 6. — La liste nominative des membres de l'organe est fixée par arrêté du ministre chargé des forêts sur proposition des autorités dont ils relèvent, pour une durée de quatre (4) années, renouvelable.

En cas d'interruption du mandat de l'un des membres de l'organe, il est procédé à son remplacement dans les mêmes formes.

Art 7. — L'organe élabore et adopte son règlement intérieur.

Art. 8. — L'organe se réunit en session ordinaire trois (3) fois par an, sur convocation de son président. Il peut se réunir, en session extraordinaire, autant de fois que nécessaire, à la demande de son président.

Le président établit l'ordre du jour de la réunion.

Les convocations, accompagnées de l'ordre du jour, sont adressées avant, au moins, quinze (15) jours. Ce délai peut être réduit pour les sessions extraordinaires, sans être inférieur à huit (8) jours.

Art. 9. — Les décisions de l'organe sont consignées sur des procès-verbaux transcrits sur un registre *ad hoc*, coté, paraphé et signé par le président, dont une (1) copie est transmise aux membres de l'organe, pour mise en œuvre chacun dans son domaine de compétence.

Art. 10. — Un rapport annuel des activités réalisées dans le cadre de la mise en œuvre du programme national de lutte contre la désertification et du plan d'action de réhabilitation, d'extension et de développement du barrage vert est transmis au ministre chargé des forêts et au Premier ministre, après examen et validation par l'organe.

Art. 11. — L'organe est doté :

- d'un comité scientifique chargé de la recherche en relation avec les missions de l'organe ;
- d'un secrétariat technique assuré par les services de la direction générale des forêts ;
- de comités locaux chargés de la mise en œuvre du programme national de lutte contre la désertification et du plan d'action de relance du barrage vert.

La création, les missions, la composition et le fonctionnement du comité scientifique et des comités locaux sont fixés par arrêté du ministre chargé des forêts.

Art. 12. — Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 9 Dhou El Hidja 1441 correspondant au 30 juillet 2020.

Abdelaziz DJERAD.