

## ÉVALUATION DE LA SENSIBILITÉ À LA DÉSERTIFICATION EN ALGÉRIE

Mostefa SALAMANI<sup>1</sup>, Halima KADI HANIFI<sup>1</sup>, Aziz HIRCHE<sup>1</sup> & Dalila NEDJRAOUI<sup>1</sup>

**SUMMARY.**— *Assessment of desertification sensitivity in Algeria.*— The map of desertification sensitivity is established by MEDALUS approach developed for the Mediterranean region on the basis on desertification sensitivity index, itself developed from several relevant factors known to influence the degradation processes (climate, vegetation, soil, human activities). The preparation of each layer is obtained from the geometric mean of the weighted parameters chosen to characterize and quantify this factor. Cartographic and alphanumeric data are captured and structured in a database, managed and analysed by a Geographic Information System. The output data have enabled the development of maps with small scale describing quality indexes. The maps about quality as well as the map of desertification sensitivity were analysed.

**RÉSUMÉ.**— La carte de sensibilité à la désertification est établie selon la démarche MEDALUS élaborée pour la région méditerranéenne sur la base des valeurs d'un indice de sensibilité à la désertification, lui-même élaboré à partir de plusieurs facteurs pertinents connus pour leur influence sur les processus de ce phénomène (climat, végétation, sol, activités humaines). Les données cartographiques et alphanumériques sont saisies et structurées dans une base de données, gérées et analysées par un système d'information géographique (SIG). La préparation des couches climat, sol, végétation alimentant le SIG est obtenue à partir de la moyenne géométrique des valeurs pondérées des différents paramètres retenus pour caractériser et quantifier les facteurs. Les données en sortie ont permis l'élaboration de cartes à petite échelle portant un indice de qualité ; les différentes cartes de qualité ainsi que la carte de sensibilité à la désertification obtenues ont fait l'objet d'une discussion illustrant l'intérêt mais aussi les limites de la démarche suivie.

---

Le phénomène de désertification qui touche les zones arides, semi-arides et subhumides sèches au sens du PNUE (1991) et du CNUED (1992) résulte principalement de l'interaction des facteurs du milieu, de l'activité de l'homme et des variations climatiques. Ce phénomène se manifeste par des processus qui aboutissent aux changements du couvert végétal et des éléments de la surface du sol (litière, sol nu, pellicule de glaçage, ensablement), à l'appauvrissement du sol et à sa disparition, stade final de ce processus dynamique où la productivité biologique devient pratiquement nulle.

Ce phénomène mondial de dégradation des milieux secs a mobilisé toute la communauté internationale depuis la grande crise écologique qui a affecté d'une manière dramatique la région du Sahel entre 1970 et 1980. Aujourd'hui la désertification est considérée comme un problème environnemental majeur pour le 21<sup>e</sup> siècle (World Bank, 2002). La répétition de périodes de sécheresse, la crise alimentaire qui touche une grande partie des régions pauvres, l'accroissement démographique et la pauvreté qui règnent dans ces pays, les changements climatiques au niveau mondial vont certainement accentuer davantage ce phénomène qui restera

---

<sup>1</sup> Laboratoire d'Écologie-Environnement, Faculté des Sciences biologiques, USTHB, Bar Ezzouar, Alger. Algérie. E-mails : m\_salamani@yahoo.fr ; hykadihanifi@yahoo.fr ; dnedjraoui@yahoo.fr ; a\_hirche@yahoo.fr

une préoccupation sérieuse et permanente pour les décideurs, les populations locales et les chercheurs.

Les actions de lutte contre la désertification sont multiples et variées ; pour qu'elles soient efficaces, elles doivent agir en synergie. Ces actions qui commencent à prendre forme et à se multiplier doivent s'étendre et continuer sans relâche. À titre d'exemple on peut citer dans le domaine scientifique les projets et les actions suivantes : Suivi écologique à long terme (Roselt/Oss, 2004 ; Oss, 2008) ; Projets de recherche internationaux pilotés par l'Union Européenne et certains pays européens (Cameleo, Pattern, Pesera, Dismed, Desurvey, etc.) ; Les PAN LCD ou plans d'action de lutte contre la désertification des pays signataires de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification.

Une stratégie de suivi et de lutte contre la désertification passe nécessairement par une segmentation à petite et moyenne échelle des territoires afin de localiser et de quantifier l'ampleur des régions sensibles à la désertification. Ce type d'information qui s'inscrit en amont de la chaîne d'actions reste utile tant pour les décideurs que les chercheurs.

Le Projet DISMED (Desertification Information System for the Mediterranean) considéré comme un système d'information sur la désertification en appui aux programmes d'actions nationaux dans la Méditerranée (2002-2003) visait à élaborer une carte de sensibilité au 1/1 000 000 au niveau du bassin méditerranéen selon une démarche commune dans le but de programmer efficacement des mesures et des stratégies pour combattre la désertification et les effets de la sécheresse. Ce but est poursuivi en renforçant la communication parmi les acteurs-clés, en facilitant l'échange d'informations et en établissant un système d'information commun pour le suivi des conditions physiques et socio-économiques des zones à risque et pour évaluer l'ampleur, la sévérité et la tendance de la dégradation de la terre dans ces zones. La présente étude expose une partie des résultats relatifs à l'Algérie.

## MÉTHODOLOGIE

La disponibilité de données ordinales à un niveau national ou régional sur la sensibilité des milieux à la désertification permet d'avoir une vision synoptique relative au degré de sensibilité ; cette information peut servir à l'élaboration de stratégies de recherche ou de planification.

La méthodologie suivie dans ce travail est inspirée de celle développée dans le projet MEDALUS (Mediterranean Desertification and Land Use). Kosmas *et al.* (1999) identifient la sensibilité à la désertification des écosystèmes méditerranéens par un indice de sensibilité à la désertification (ISD) obtenu à partir de la moyenne géométrique de quatre autres indices de qualité issus du milieu et de l'action de l'homme (sol, climat, végétation et système d'aménagement du territoire). Ils sont susceptibles d'agir sur le phénomène de désertification décrit par différents auteurs (Floret & Le Floc'h, 1975 ; Le Houérou, 1992 ; Aidoud & Touffet, 1996 ; Khelil, 1997 ; Jauffret, 2001 ; Escadafal, 2002 ; Salamani & Hirche, 2006 ; Hirche *et al.*, 2007).

L'indice de qualité d'un facteur du milieu est obtenu à partir de la moyenne géométrique des valeurs pondérées des différents paramètres de ce facteur. Le choix des paramètres et leur pondération, explicités dans la partie méthodologique ; auront de nombreuses conséquences sur la qualité et la fiabilité des résultats.

L'évaluation des milieux à la sensibilité à la désertification par une cartographie de synthèse nous renvoie au choix de facteurs du milieu pertinents, simples, mesurables et très influents sur ce phénomène.

Chaque facteur du milieu a fait l'objet de l'élaboration d'une couche y afférent à partir de l'indice de qualité de ce facteur. Ainsi, le thème végétation se décline en plusieurs paramètres correspondant chacun à une couche (layer) donnée. Cet indice est apprécié à partir des paramètres qui le composent. Chacun de ceux-ci est subdivisé en 3 ou 4 classes ayant des valeurs qui peuvent être des décimales et qui varient entre les deux extrêmes 1 et 2 :

1 : très faible influence sur la désertification

2 : très forte influence sur la désertification

Les différents indices de qualité, ainsi que leur croisement feront l'objet de l'élaboration de couches cartographiques au 1/1 000 000.

Toutes les données utilisées sont saisies et structurées dans une base de données de type relationnelle, gérée par un système d'information géographique.

En plus des classes retenues pour chaque facteur, une autre « non classé » concerne les zones humides, les chotts et les agglomérations importantes. Ces zones particulières sont considérées comme insensibles au phénomène de désertification.

Des études sur le même thème et sur des régions steppiques similaires ont été réalisées en utilisant d'autres approches basées sur l'exploitation de données et de paramètres issus des images satellites à haute résolution spatiale du capteur Landsat TM (Ousseddik *et al.*, 2003) et à basse résolution spatiale du capteur MODIS (Si Ramdane, 2006 ; Benslimane *et al.*, 2008). Lorsque cela est possible, les résultats obtenus par ces différents auteurs seront analysés et comparés.

## COUCHE CLIMAT

Pour l'appréciation de cette couche, la démarche « MEDALUS » se base sur l'indice d'aridité (IA) qui est le rapport de la pluviosité annuelle (P) sur l'évapotranspiration potentielle annuelle (ETP) :  $IA = P / ETP$

L'Afrique du Nord en général et l'Algérie en particulier sont des régions majoritairement arides et semi-arides (Le Houérou, 1993). Malgré une façade littorale sur le rivage sud de la Méditerranée occidentale qui lui confère un bioclimat humide et subhumide, l'allongement en latitude vers le tropique et la forte continentalité font que cette région est fortement marquée par l'aridité donc potentiellement sensible à la désertification.

Un ensemble de données cartographiques et alphanumériques nous ont permis d'apprécier les différents paramètres de l'indice de qualité du climat (IQC) : carte bioclimatique au 1/500 000 (Lebane & Zidane, 1995) ; banque de données climatique et bioclimatique (Djellouli, 1990) ; données climatiques des stations météorologiques principales de l'Office National de la Météorologie (ONM).

Notons l'absence de données sur l'évapotranspiration potentielle annuelle sur l'ensemble du territoire au nord de l'Algérie. Les « providers » météorologiques à l'échelle mondiale peuvent représenter des alternatives intéressantes mais ils se sont, malheureusement, avérés pas très satisfaisants par rapport à la précision désirée. Aussi, avons-nous retenu le bioclimat comme meilleure approximation de l'ETP d'autant plus que c'est une donnée disponible et cartographiée à une échelle satisfaisante du 1/500 000 ; de même que l'indice d'aridité, le bioclimat d'une région est un indice synthétique qui se base à l'instar des indices de même nature sur le rapport P/T (Ozenda, 1983). Il est donc raisonnable de penser qu'il donne une approximation satisfaisante de l'aridité d'une région ; ces deux expressions ont une certaine correspondance entre elles (Le Houérou, 1993).

Les scores des différentes classes de cet indice correspondant à un étage bioclimatique sont reportés dans le tableau I.

## COUCHE VÉGÉTATION

Cette couche a été élaborée à partir de l'exploitation et de l'analyse de cartes de végétation à petite échelle réalisées entre 1974 et 1983 par différents auteurs et de relevés de terrains géo-référencés sur les conditions de milieu et la flore (facteurs du milieu, éléments de la surface du sol, caractéristiques des biocénoses, liste floristique, etc.) effectuées par nous-mêmes sur l'ensemble du territoire national durant plusieurs campagnes de terrain. Les supports cartographiques utilisés sont les suivants : Afrika Kartenwerk (Tunis-Sfax) au 1/1 000 000 (Freitag *et al.*, 1983) ; carte de végétation au 1/500 000 de la Wilaya de Saïda (non publiée) ; carte de végétation d'Oran au 1/500 000 (Alcaraz, 1977) ; carte internationale du tapis végétal et des conditions écologiques, feuille d'Alger au 1/1 000 000 (Barry *et al.*, 1974, 1976).

### Choix des paramètres

Par sa partie aérienne, la végétation protège l'écosystème contre l'érosion hydrique et éolienne, alors que les racines stabilisent, fertilisent le sol et contribuent à sa dynamique. La sensibilité à la désertification d'un couvert végétal est tributaire de plusieurs paramètres allant de sa nature en passant par son état. Chaque formation végétale est caractérisée par des propriétés qui lui sont propres et qui lui confèrent une capacité plus ou moins grande à résister aux variations des facteurs biophysiques.

Parmi les paramètres du milieu permettant d'évaluer le degré de sensibilité à la désertification et le suivi de la dynamique de ce phénomène, l'indice de qualité de végétation est certainement le paramètre le plus pertinent et son « poids » est relativement plus important d'où un score ou une pondération élevés. Il est intéressant de remarquer que de conséquence de la désertification, l'état de dégradation du couvert végétal en devient aussi une cause directe.

Les paramètres retenus pour élaborer cette couche sont les suivants :

### Couverture végétale (CV)

Ce paramètre correspond au recouvrement global de la végétation déterminé par échantillonnage dont la méthode linéaire est la plus usitée. Le cas échéant, les informations relatives à la formation végétale ou à la composition floristique peuvent s'avérer fort utiles pour estimer indirectement la couverture végétale, ce qui évidemment diminue la qualité de l'information.

TABLEAU I

*Scores et classes portant indice de qualité du climat (IQC)*

Zones bioclimatiques	Score	<i>IQC</i>
Hyperaride	< 0,05	2
Aride	0,05-0,2	1,75
Semi-aride	0,2-0,5	1,5
Subhumide	0,5-0,65	1,25
Humide	>0,65	1

## Risque d'incendie (RI)

La sensibilité de la végétation aux incendies dépend essentiellement de sa nature, de sa physionomie, de sa composition et de sa structure (Trabaud, 1996). Le degré d'inflammabilité des résineux est très élevé par rapport à celui des feuillus. Les maquis et les garrigues constitués par de nombreuses essences aromatiques (thym, romarin, lavande, bruyère, etc.) sont très inflammables. Les pelouses et les prairies composées d'espèces annuelles qui sèchent rapidement constituent aussi de bons combustibles. Au contraire, les formations steppiques basses et peu couvrantes présentent un risque assez faible aux incendies.

## Résistance à la sécheresse (RS)

Ce paramètre est apprécié par l'importance des besoins en eau des plantes à leur croissance. Il est tiré de la compilation bibliographique en regroupant les plantes au sein de types de végétation aux caractéristiques définies et similaires afin d'estimer leur résistance à la sécheresse ; il est aussi donné par l'appréciation de l'auteur selon ses connaissances de terrain.

## Protection contre l'érosion (PE)

Ce paramètre est lié à la densité des biocénoses, il est apprécié et corrigé en fonction de son rôle vis-à-vis des différents paramètres. Généralement, les sols couverts de forêts ou de cultures bien développées et denses ont un fort coefficient d'infiltration d'eau et de protection vis-à-vis de l'érosion. Par contre, les sols partiellement couverts (garrigue, steppe, etc.) ou les sols nus favorisent un intense ruissellement. Nous consignons ci-dessous (Tab. II) la synthèse des scores des différents paramètres retenus pour la végétation.

### *Indice de qualité de la végétation*

La moyenne géométrique des valeurs des quatre paramètres portant sur la quantification de la couche végétation nous donne l'indice de qualité de la végétation de chaque unité ; toutes les valeurs obtenues sont regroupées en quatre classes mentionnées dans le tableau III.

## COUCHE SOL

### *Choix des paramètres*

Les paramètres édaphiques en relation avec la sensibilité à la désertification sont nombreux et variés. La méthodologie s'est limitée à certains paramètres simples, mesurables et influents ; ces paramètres sont : le matériau parental, la profondeur, la texture, la pente.

TABLEAU II

*Scores des différents paramètres de la végétation*

<i>Formations</i>	<i>CV</i>	<i>RI</i>	<i>RS</i>	<i>PE</i>
Forêts de conifères	1	2	1	1
Forêts de feuillus	1	1,5	1	1
Maquis	1,66	1,5	1,33	1,5
Pelouses	1,66	2	1,66	1
Steppes	2	1	1,66	2
Pseudo steppes	2	1	2	2
Cultures en irrigué	1	1	1	1
Cultures en sec	2	1	2	2

TABLEAU III

*Classe portant indice de qualité de la végétation (IQV)*

<i>IQV</i>	<i>Description</i>	<i>Couleur</i>
0	Non classé	Bleu
< 1,2	Bonne qualité	Vert foncé
1,2 < IQS < 1,4	Qualité moyenne	Vert clair
1,4 < IQS < 1,6	Mauvaise qualité	Jaune
IQS > 1,6	Très mauvaise qualité	Rouge

Tous ces paramètres traduisent par leur pondération, les risques de dégradation, les influences sur l'érosion hydrique et éolienne, la dégradation physique et chimique des sols. La texture et la pente influent sur l'érosion hydrique ; celle-ci est importante lorsque l'assise est tendre. La profondeur du sol traduit le volume du sol exposé au phénomène d'érosion. Les sols les plus sensibles à l'érosion sont les sols peu à moyennement profonds. Ce sont principalement la texture, la pente et l'état de surface qui conditionnent l'érosion éolienne du sol.

La dégradation physique se manifeste essentiellement sur les terres lourdes à drainage externe défectueux où des phénomènes de compactage et d'imperméabilisation rendent ces sols vulnérables à la salinisation et à l'alcalinisation. L'appréciation de la pente et de la texture nous informe sur la sensibilité du sol à ce phénomène.

En milieux semi-arides et arides, la pente et la texture déterminent la sensibilité des sols à la salinisation et à l'alcalinisation. Une culture en irrigué sur sol lourd et sans drainage occasionne un fort risque de salinisation. En terre sableuse plane, la présence d'une salinisation provenant d'un contact permanent avec une nappe salée superficielle ne rend pas le sol sensible à la désertification car il peut être à tout moment bonifié par un simple rabattement de la nappe. La pente et la perméabilité du sol liée à la texture conditionnent donc la sensibilité de celui-ci à la dégradation chimique.

### Le matériau parental

Il est noté en fonction de sa cohésion et de sa résistance aux érosions hydrique et éolienne. La lithologie est décrite à partir de la notice des cartes géologiques, hydrogéologique et de la banque des données écologiques. Ce paramètre est noté en trois classes (Tab. IV).

### La profondeur du sol

Ce paramètre est lié directement à la capacité de stockage d'eau du sol et aux réserves minérales disponibles. Il traduit la capacité du sol à développer et à maintenir un couvert végétal.

Ce paramètre a été évalué à partir des unités physiologiques de la végétation qui reflète le type de sol, de la carte des sols de la Fao (1976) et de la banque de données édaphiques. Les classes adoptées sont données dans le tableau V.

### La texture

C'est un paramètre utile pour évaluer le risque de dégradation du sol. Les sols à texture grossière sont pauvres en éléments fertilisants, leur capacité de rétention en eau est faible ; en milieu aride, ils sont menacés par l'érosion éolienne. Les sols à texture fine, malgré leur richesse en cations et autres éléments fertilisants, manquent de drainage interne qui entraîne une salinisation dans les zones planes et un important ruissellement sur les terrains pentus. Les sols à texture équilibrée sont assez perméables, assez riches en éléments nutritifs et surtout présentent généralement une bonne cohésion structurale ; ce sont eux qui résistent le plus au phénomène de désertification. Ce paramètre a été évalué d'après les cartes de végétation (certaines espèces végétales sont indicatrices de la texture), la carte mondiale des sols de la Fao (1976) qui renseigne sur la texture et à partir de la banque de données édaphiques. Les classes texturales adoptées figurent dans le tableau VI.

### La pente

La pente agit directement sur le ruissellement et la concentration des eaux qui déterminent selon leur importance la gravité de l'érosion hydrique. Ce paramètre a été évalué à partir de la carte pédologique de la Fao et de la banque de données. Les classes de pente retenues sont données dans le tableau VII.

TABLEAU IV

*Scores du paramètre matériau parental du sol*

<i>Matériau parental</i>	<i>Score</i>
Cohérent : calcaire, dolomie, grès non friable, croûte calcaire dure	1
Moyennement cohérent : marno-calcaire, grès friable	1,5
Tendre à friable : marnes, argiles, formations sableuses, alluvions et colluvions	2

TABLEAU V

*Scores du paramètre profondeur du sol*

<i>Classes</i>	<i>Description</i>	<i>Score</i>
Très épais	Épaisseur > 1m	1
Moyen à épais	0,5 < épaisseur < 1m	1,33
Peu épais	0,25 < épaisseur < 0,5m	1,66
Très peu épais	Épaisseur < 0,25m	2

TABLEAU VI  
Scores du paramètre texture du sol

Classes	Description	Erosion hydrique dominante	Erosion éolienne dominante
Peu légère à moyenne	Limono-sableuse sablo-limoneuse équilibrée	1	1
Fine à moyenne	Limono-argileuse, Argilo-sableuse, Sablo-argileuse	1,33	1,66
Fine	Argileuse, Argilo-limoneuse	1,66	2
Grossière	Sableuse à très sableuse	2	2

TABLEAU VII  
Scores du paramètre pente du sol

Classes	Description	Score
< 6	Douce	1
6 - 18	Peu douce	1,33
9 - 35	Raide	1,66
>35	Très raide	2

### Indice de qualité des sols

$$IQS = (\text{Matériau parental} \times \text{Profondeur} \times \text{Texture} \times \text{Pente})^{1/4}$$

Les informations relatives à la capacité d'un sol de résister à toute forme de dégradation peuvent être déduites à partir des paramètres retenus. Ces paramètres jugés en fonction de leur capacité à protéger le sol contre la dégradation peuvent nous renseigner sur la sensibilité du sol à la désertification. La moyenne géométrique des scores affectés à chaque paramètre traduit la qualité du sol à résister à la désertification.

### RÉALISATION DE LA CARTE DE L'INDICE DE QUALITÉ DES SOLS

L'absence de carte pédologique de toute l'Algérie, nous a amenés à utiliser les cartes de végétation pour effectuer une zonation des sols sachant que la végétation est le miroir du milieu. Pour chaque unité de végétation (type physionomique) sont renseignés le score de chaque paramètre et l'indice de qualité du sol. Pour la cartographie de la qualité des sols, les classes adoptées figurent dans le tableau VIII.

L'indice de sensibilité à la désertification a été obtenu par la superposition et le découpage des différentes couches thématiques (bioclimat, végétation et sol) et le calcul de la moyenne géométrique des différents indices obtenus pour chaque polygone ou unité résultante après le découpage.

Indice de sensibilité à la désertification  $ISD = (IQS \times IQV \times IQC)^{1/3}$ .

Cinq classes de sensibilité à la désertification ont été déterminées (Tableau IX).

TABLEAU VIII  
Classes portant indice de qualité du sol (IQS)

Indice de qualité du sol	Description	Couleur
0	Non classé	Bleu
< 1,2	Bonne qualité	Marron foncé
1,2 < IQS < 1,4	Qualité moyenne	Marron clair
1,4 < IQS < 1,6	Mauvaise qualité	Jaune foncé
IQS > 1,6	Très mauvaise qualité	Jaune clair

TABLEAU IX  
Classes portant indice de sensibilité à la désertification

Indice de sensibilité à la désertification	Description	Couleur
0	Non classé	Bleu
< 1,2	Non sensible	Vert foncé
1,2 < ISD < 1,4	Moyennement sensible	Vert clair
1,4 < ISD < 1,6	Sensible	Jaune
ISD > 1,6	Très sensible	Rouge

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats obtenus sont présentés sous forme de cartes portant différents indices (Climat, végétation et sol) et d'une carte de synthèse portant sur la sensibilité à la désertification.

### CARTE DE L'INDICE DE QUALITÉ DU CLIMAT

Dans notre cas, la carte de l'indice de qualité du climat correspond à l'importance relative des étages bioclimatiques d'une grande partie de l'Algérie du Nord (Fig. 1 & 2).

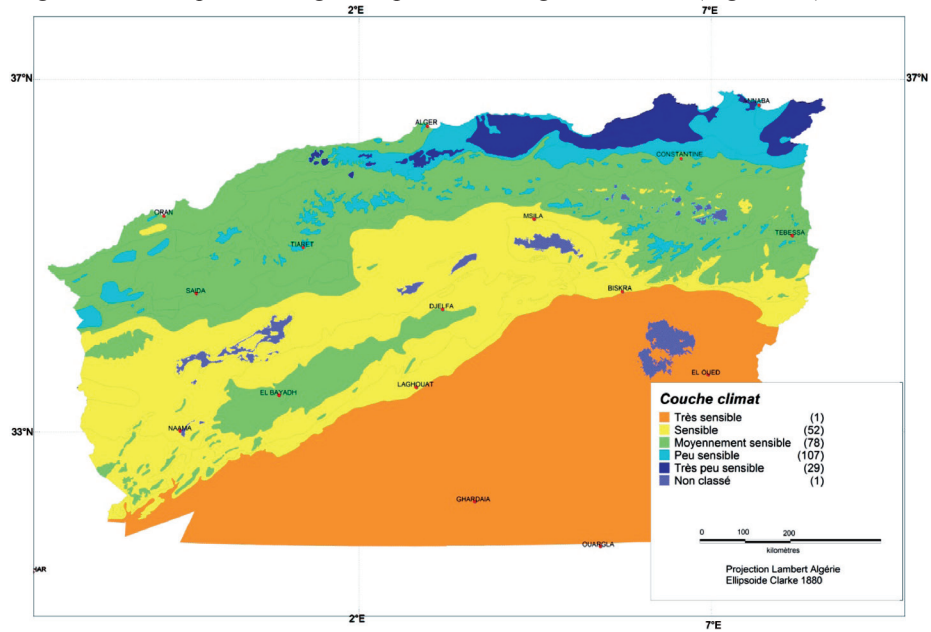


Figure 1.— Couche climat.

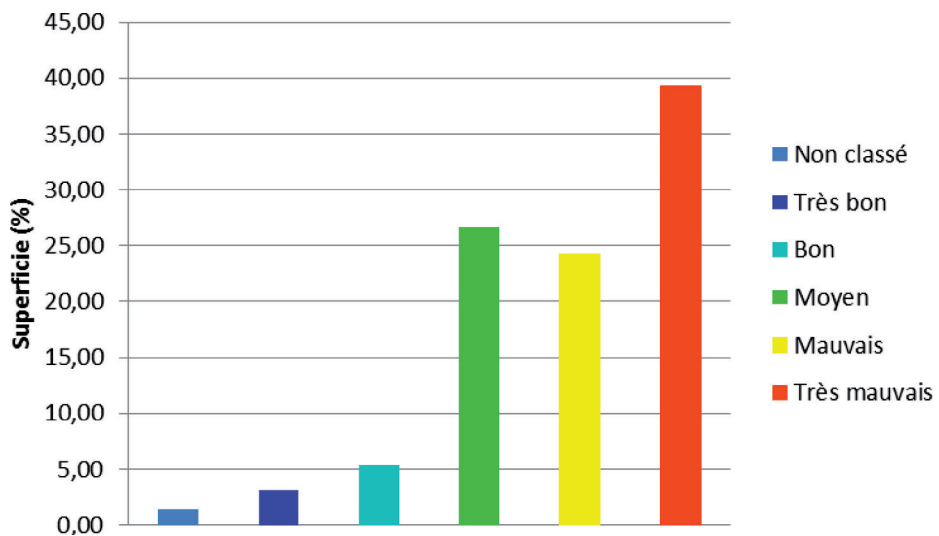


Figure 2.— Indices de qualité du climat.

Les zones très sensibles correspondent aux zones sahariennes, elles occupent près de 39,3 % de la superficie cartographiée. Les zones sensibles correspondent aux zones arides avec 24,2 % du territoire étudié. Les zones moyennement sensibles sont les régions semi-arides qui recouvrent les hauts Plateaux et une partie du versant sud de l'atlas Saharien (26,6 %). Les zones peu sensibles du subhumide se trouvent sur certains massifs de l'atlas Tellien et le Tell du centre et de l'est (5,4 %). Les zones très peu sensibles sont peu étendues, elles sont cantonnées surtout au nord-est du pays et au centre sur les massifs les plus humides d'Algérie (3,1 %).

36,6 % seulement du territoire étudié a un indice climatique bon à moyen ; cette région est constituée de trois écozones dont la plus importante est la zone tellienne au nord, dans celle-ci l'ensemble du secteur Numidien et une partie de secteur Algérois présente un indice climatique de bonne qualité ; les deux autres écozones sont constituées par une partie des Aurès et de l'atlas Saharien. Le reste du territoire (63,4 %) a un mauvais indice climatique, cette région étant constituée par les hauts Plateaux à l'ouest, les hautes Plaines à l'est, une partie de l'atlas Saharien et ses versants sud. Cet indice varie selon deux gradients, un gradient nord-sud dû essentiellement aux facteurs orotopographiques et un gradient Est-Sud-Est lié aux facteurs orotopographique et à l'éloignement de la mer.

#### CARTE DE L'INDICE DE QUALITÉ DE LA VÉGÉTATION

Les informations contenues dans les figures 3 et 4 montrent que 80 % de la zone étudiée présentent une mauvaise qualité de la végétation. La végétation bien venante est limitée à quelques massifs de l'atlas Tellien et des Aurès. Certains massifs de l'atlas Saharien sont couverts par une végétation de moyenne qualité. La végétation de mauvaise qualité est localisée dans les régions de Guelma, Tiaret et Tlemcen. L'indice de qualité de la végétation enregistre un score plus mauvais que celui du climat à cause de la disparition et de la dégradation très anciennes des strates arborées d'une grande partie des massifs telliens et sahariens (Bensaid *et al.*, 2006 ; Djellouli, 1990 ; Berchiche, 1986 ; Boudy, 1955) ainsi que la dégradation et le défrichement plus récents des milieux steppiques des hauts Plateaux, des hautes Plaines et de l'atlas Saharien. Cet indice risque de régresser encore davantage vu l'impact permanent sur les sols par les mises en valeur, le surpâturage des milieux steppiques et forestiers et l'érosion (CRBT, 1978 ; Le Houérou, 1992 ; Nedjraoui *et al.*, 2008).

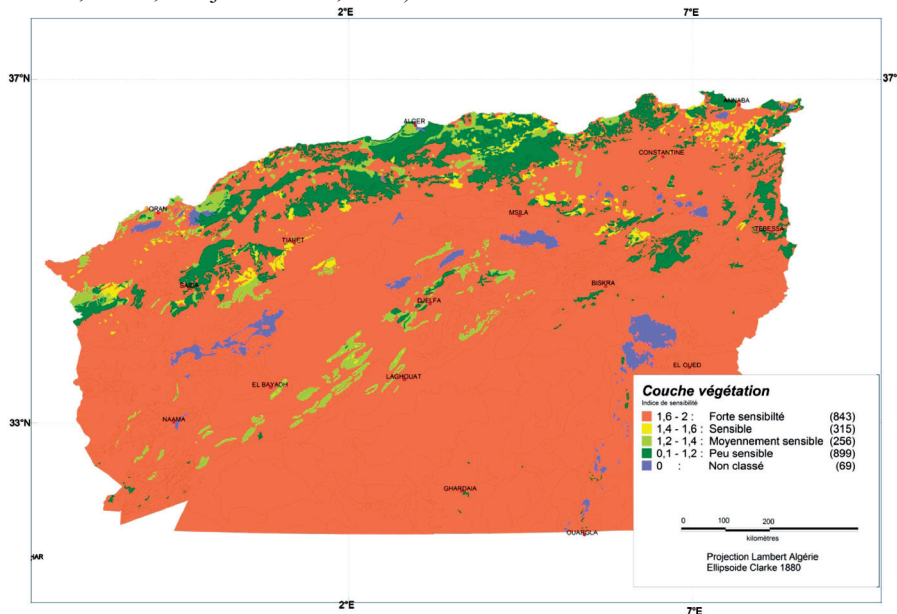


Figure 3. Couche végétation.



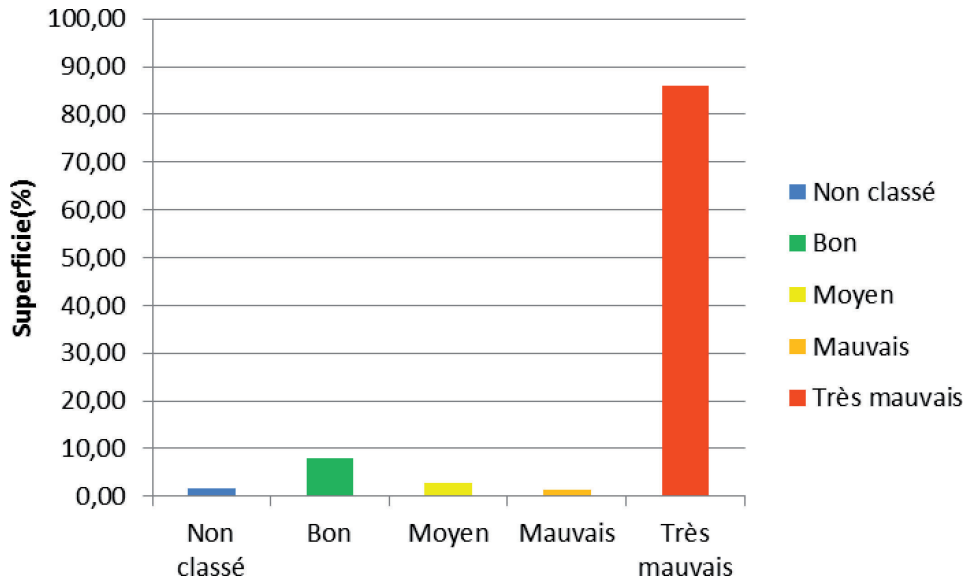


Figure 4.— Indices de qualité de la végétation.

#### CARTE DE L'INDICE DE QUALITÉ DU SOL

Il ressort de cette étude que sur les 45.410.213 ha cartographiés (Fig. 5 et 6) : 70,9 % sont de mauvaise et très mauvaise qualité et 27,4 % sont de bonne et moyenne qualité.

- 29.225.769 ha (64,5 %) ont une très mauvaise qualité de sol, ils se localisent dans les milieux steppiques, présahariens et sahariens. Si les sols sahariens sont par nature de très mauvaise qualité (dominance de lithosols, régosols et sols minéraux bruts), les sols steppiques par contre sont généralement de qualité moyenne à mauvaise. Ils ont régressé à la mauvaise et très mauvaise classe suite aux facteurs de dégradation, d'érosion et d'ensablement dont l'ampleur s'est accentuée davantage depuis les dernières décennies (Le Houérou, 1992 ; Kadi Hanifi-Achour H., 1998, Roselt, 2005).

- 2.898.800 ha (6,4 %) présentent une mauvaise qualité de sol, ils se trouvent pour la plupart dans les massifs littoraux de l'est et du centre, dans l'Ouarsenis et dans les Aurès. Ces sols sont caractérisés par une faible profondeur due à une pente élevée et à une lithologie friable.

- 11.707.637 ha (25,8 %) ont une qualité de sol moyenne. Ils occupent les zones cultivées du Tell. La disparition ancienne du couvert végétal arboré et arbustif de ces zones et les mauvaises pratiques agricoles a permis aux agents d'érosion de jouer pleinement leur rôle de dégradation et la diminution de la qualité de cette couche influence directement la couche de végétation.

- 727.572 ha (1,6 %) ont une bonne qualité de sol qui correspond aux forêts et aux plantations.

En comparant l'indice de qualité du sol à celui de la végétation, nous constatons que la végétation est plus « dégradée » que le sol ; ce déphasage entre ces deux composantes du système permet de penser que les possibilités de restauration de la végétation sont réelles mais les sols seront plus difficiles à restaurer. Comme le couvert forestier, le sol est également soumis à un impact permanent d'origine essentiellement humaine, occasionnant une érosion hydrique et éolienne qui risque de diminuer davantage les potentialités édaphiques qui existent encore ; c'est toute la problématique de la désertification qui est posée et contre laquelle il faudrait déployer une stratégie à long terme afin de conserver cette ressource, support indispensable à tout fonctionnement et équilibre des écosystèmes terrestres.

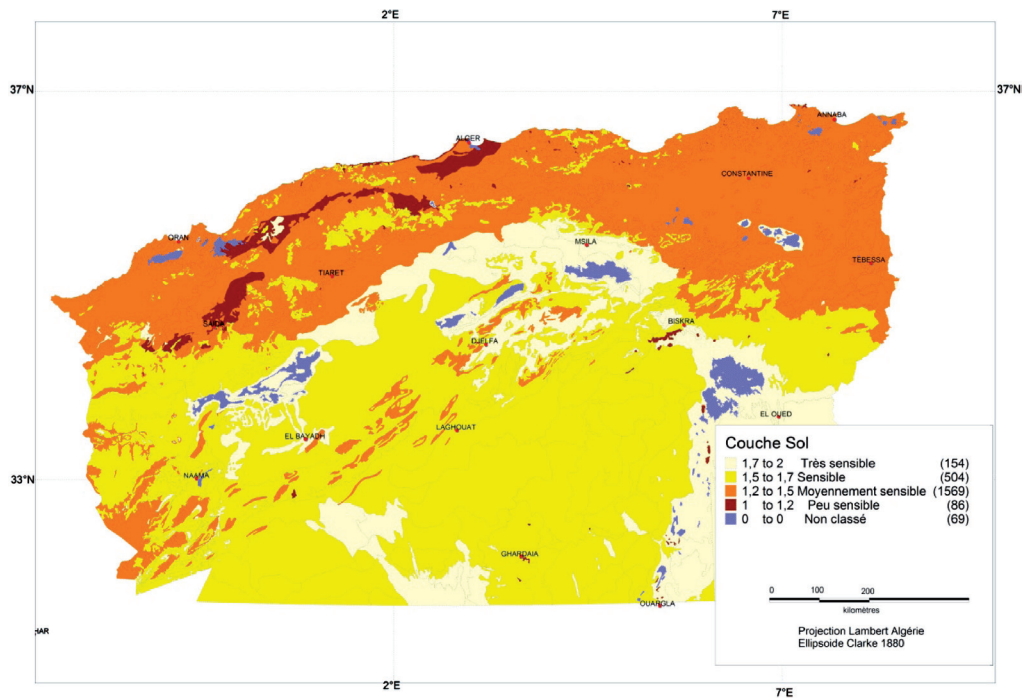


Figure 5.— Couche sol.

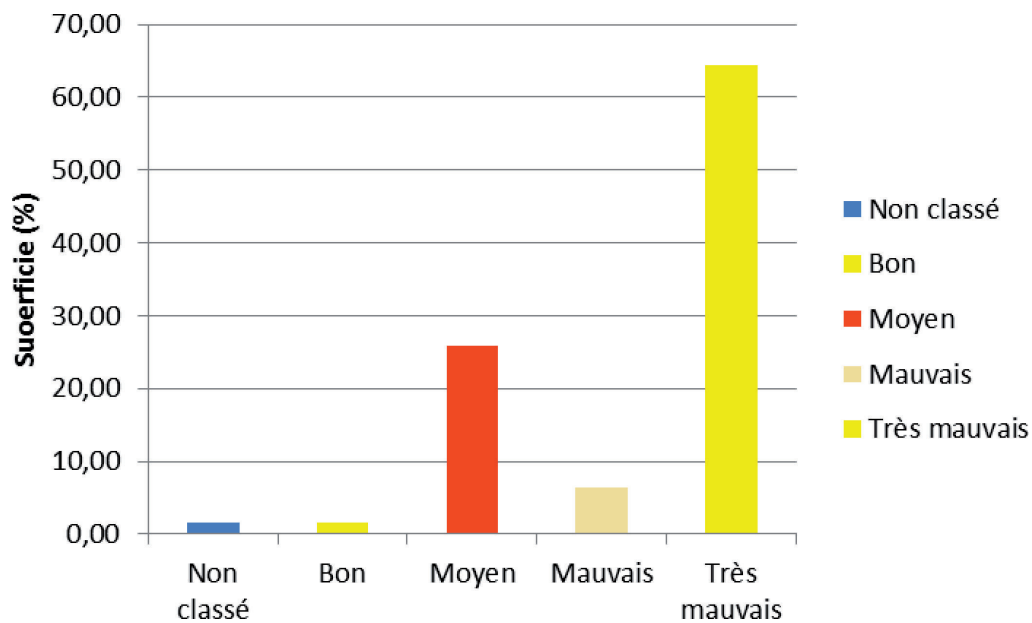


Figure 6.— Indices de qualité du sol.

CARTE DE SYNTHÈSE OU CARTE DE SENSIBILITÉ À LA DÉSSERTIFICATION

Il ressort de la carte (Fig. 7) un gradient de sensibilité nord-sud. Quelques massifs du nord sont très faiblement à faiblement sensibles (massifs forestiers de l'est). Par contre les hauts Plateaux et le Présaharien sont très sensibles à la désertification, tous les indices de qualité sont mauvais dans ces régions steppiques et arides. Nous constatons aussi que le nord-est est moins sensible à la désertification que le nord-ouest parce que cette partie se caractérise par un

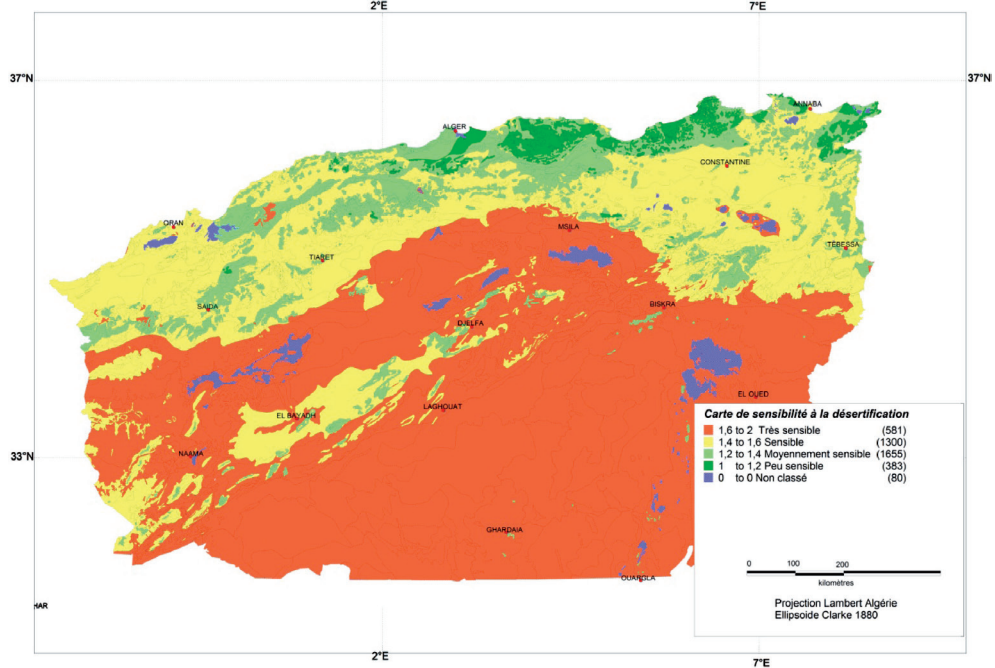


Figure 7.— Carte de sensibilité à la désertification.

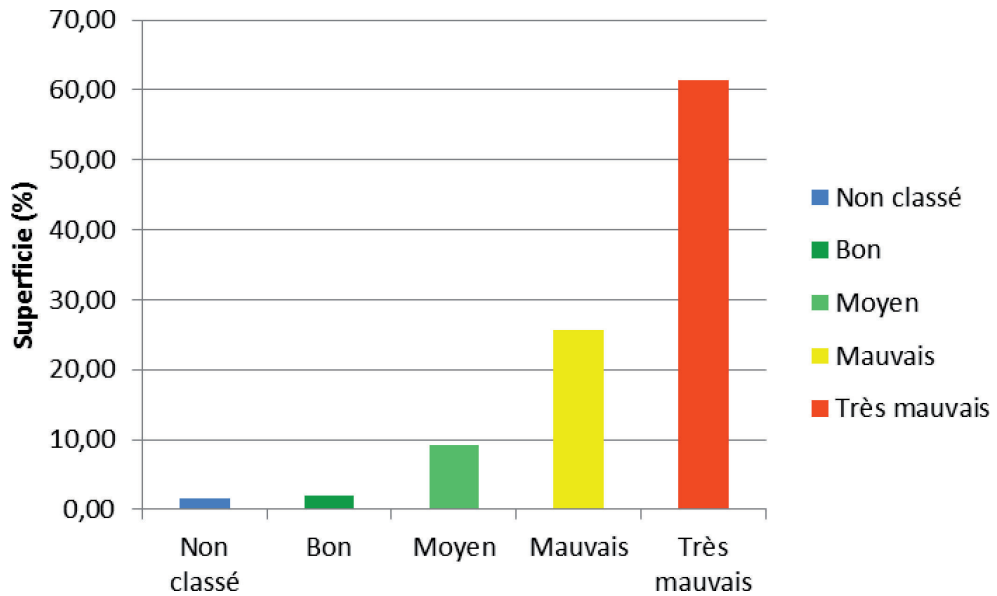


Figure 8.— Indices de qualité de la désertification.

climat moins sec et dispose d'une meilleure couverture végétale et d'un substratum géologique plus résistant ; 87 % de la superficie cartographiée est très fortement à fortement sensible à la désertification. Le pourcentage des zones faiblement sensibles n'est que de 1,7 % et celui des zones faiblement sensibles est de 2,1 %.

## DISCUSSION

Lorsque nous comparons notre carte de sensibilité à la désertification avec celles établies par d'autres auteurs ayant travaillé dans la région (Ousseddik *et al.*, 2003 ; Benslimane *et al.*, 2008) nous pouvons faire les remarques suivantes :

Au-delà de l'échelle des cartes, la méthodologie est complètement différente, notre démarche est basée sur l'information cartographique et alphanumérique des principales composantes du système (climat, végétation et sol), dont l'estimation et la validation s'est faite généralement par le biais d'un échantillonnage de terrain. Les autres démarches sont issues principalement de l'exploitation des données satellitaires (classification et indices) qui sont sensibles au choix de l'image et qui ne font pas nécessairement appel à un travail de terrain, aussi leur degré de fiabilité reste à déterminer. La carte de Benslimane *et al.* (2008) est réalisée sur la base d'indices issus des images satellites du capteur MODIS (Albédo, NDVI et Températures de surface), la période de cette étude est très courte (2000-2005) ce qui pose un problème de représentativité de ces données. Le NDVI ou indice de végétation normalisé donne des résultats peu fiables dans les zones ayant un faible couvert végétal (Escadafal & Huete, 1991 ; Hirche *et al.*, 2010) tel que les milieux steppiques qui couvrent de grandes superficies. Par contre, dans notre cas, les cartes de végétation ont été élaborées par des méthodes de photo-interprétation classiques nécessitant un travail de terrain rigoureux et intense et peuvent de ce fait être considérées comme étant relativement fiables.

Toujours selon la carte de de Benslimane *et al.* (2008), les milieux qui ont été désignés par végétation très dense et dense occupent une très grande partie du nord de l'Algérie et ne sont pas classés alors qu'ils peuvent être sensibles. C'est pourquoi il en a été tenu compte dans le présent travail.

L'ensemble de la carte de Ousseddik *et al.* (2003) n'est pas publiée, et il aurait été intéressant de croiser ses résultats avec les nôtres. Leur démarche est basée sur l'analyse du croisement de trois couches d'informations qui sont :

- La carte d'occupation des sols : classification supervisée des bandes TM3, TM4 et TM1 du capteur Landsat ; il ressort dans cette classification les différents groupements steppiques, les sols nus, le sable, les céréalicultures, les forêts et le reboisement ;
- La carte pédopaysagique : photo-interprétation des bandes TM7, TM4, TM2 et carte lithologique ;
- La carte d'ensablement : utilisation de l'indice de brillance.

Si la démarche semble intéressante, certaines informations cruciales telles que les paramètres climatiques ne sont pas prises en considération.

La carte de sensibilité à la désertification réalisée sur la base de trois couches d'information de base assez pertinentes renseigne sur deux aspects complémentaires : d'une part la qualité des différents indices relatifs au climat, au sol et à la végétation et d'autre part une information synthétique relative à la sensibilité à la désertification. Si les statistiques montrent un gradient de sensibilité pour la carte synthétique, ceci n'est pas le cas pour les différentes couches d'information ; la classe bonne qualité est relativement plus importante pour les couches climat et végétation, il en est de même pour la classe moyenne que nous retrouvons en plus grande proportion dans les couches analytiques sol et climat que dans la couche synthétique finale. Au-delà de la couche synthétique, les couches climat, sol et dans une moindre mesure la couche végétation montrent que les écosystèmes recèlent encore des potentialités à préserver et à valoriser afin de stopper, voire à terme d'inverser la tendance à la désertification. Les différentes couches constituent autant d'information pouvant contribuer à stratifier le territoire ; afin d'échantillonner, des observatoires devront suivre les processus de désertification.

## CONCLUSION

Les cartes thématiques étudiées intègrent trois informations de base (climat, végétation et sol) qui montrent l'état actuel et les potentialités des milieux. Parmi les trois indices de qualité celui de la végétation présente les plus mauvais scores, traduisant ainsi sa dégradation avancée. Les indices sur le climat et sur le sol montrent des potentialités encore bonnes des milieux. La synthèse des trois indices met en évidence le niveau de déséquilibre des biotopes et la forte sensibilité de ceux-ci à la désertification (87 % de la zone étudiée présente une forte à très forte sensibilité). Ces premiers résultats sont autant d'indicateurs pouvant contribuer à la mise en place de mesures d'évaluation, ainsi que des stratégies de recherche, de planification et d'intervention dans le cadre du plan d'action national de lutte contre la désertification. (PAN LCD).

Les perspectives qu'on pourrait tracer après ce premier travail à petite échelle peuvent porter sur les points suivants :

- Élaboration puis intégration de la couche socio-économique ;
- Mise à jour par l'intégration des informations issues des images satellites (états du couvert végétal, ensemencement, sols nus, cultures, plantations, etc.).
- Calcul des indices de sensibilité par région en utilisant des cartes à des échelles moyennes à grandes.

Ces perspectives montrent que le présent travail est une ébauche préliminaire qui gagnerait à être complétée par des travaux ultérieurs.

## REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent à Mr C. Fezzani, Secrétaire exécutif de l'OSS, à W. Essahli et à A. Khelifa pour tout l'intérêt qu'ils ont manifesté pour le projet, ainsi qu'aux différents représentants des pays du Maghreb (Maroc, Tunisie et Libye) avec qui nous avons discuté et adapté la démarche MEDALUS à notre région et à leur tête Mr A. Souissi, Animateur du projet, et O. Labidi.

## RÉFÉRENCES

- AIDOU, A. & TOUFFET, J. (1996).— La régression de l'Alfa (*Stipa tenacissima*) graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. *Sécheresse*, 7 : 187-193.
- ALCARAZ, C. (1977).— *Carte de la végétation d'Oran au 1/500.000<sup>ème</sup>*. Société d'histoire naturelle de l'Afrique du Nord, Alger.
- BARRY, J.P., FAUREL, L. & CELLES, J.C. (1974).— *Carte internationale du tapis végétal et des conditions écologiques. Feuille d'Alger au 1/1.000.000*. Société d'histoire naturelle de l'Afrique du Nord, Alger.
- BARRY, J.P., FAUREL, L. & CELLES, J.C. (1976).— *Notice de la carte internationale du tapis végétal et des conditions écologiques. Feuille d'Alger au 1/1.000.000*. Société d'histoire naturelle de l'Afrique du Nord, Alger.
- BENSAID, S., GASMI, A., BENHAFIED, I. (2006).— Les forêts d'Algérie de Césarée la Romaine à ce jour. *Forêt Méditerranéenne*, XXVII : 267-274
- BENSLIMANE, M., HAMIMED, A., ELZEREY, W., KHALDI, A. & MEDERBEL, K. (2008).— Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du nord. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 8, Numéro 3, décembre 2008, [En ligne], mis en ligne le 18 février 2009. URL : <http://vertigo.revues.org/6782>.
- BERCHICHE, T. (1986).— *Contribution à l'étude socio-économique de la forêt algérienne*. Thèse de Magister, INA, Alger.
- BOUDY, P. (1955).— *Économie forestière Nord-Africaine*. Tome IV. Éd. Larose, Paris.
- CNUED (1992).— *Rapport sur la conférence des Nations-Unies sur l'environnement et le développement*. Agenda 21, Rio.
- C.R.B.T. (1978).— *Rapport phytoécologique et pastoral sur les hautes plaines steppiques de la wilaya de Saida*. CRBT, Alger.
- DJELLOULI, Y. (1990).— *Flore et climat en Algérie septentrionale. Déterminismes climatiques de la répartition des plantes*. Thèse de Doctorat ès Sciences, Université des Sciences et Technologies H. Boumediène, Alger.
- ESCADAFAL, R. (2002).— CAMELEO : *Changes in arid Mediterranean ecosystems on the long term and earth observation*. Final report. INCO contract : ERBIC18CT970155, Ispra (Italie) : Joint Research Center (JRC).

- ESCADAFAL, R. & HUETE, A. (1991).— Étude des propriétés spectrales des sols arides appliquée à l'amélioration des indices de végétation obtenus par télédétection. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 312 : 1385-1391.
- FAO-UNESCO (1976). — *Carte mondiale des sols au 1/5.000.000. Volume VI : Afrique*.
- FLORET, C. & LE FLOC'H, E. (1975).— L'évaluation de la production des parcours et de la sensibilité de la végétation naturelle, éléments de l'aménagement rationnel des zones présahariennes de la Tunisie. *Options méditerranéennes*, 26 : 9-51.
- FREITAG, U., KAYSER, K., MANSHARD, W., MENSCHING, H., SCHATZI, L. & SCHULTZE, J.H. (1983).— *Afrika karntenwerk, Série N : Afrique du Nord (Tunisie, Algérie)*. Association Allemande de la Recherche Scientifique.
- HIRCHE, A., SALAMANI, M., BOUGHANI, M., NEDJRAOUI, D. & ABDELLAOUI, A. (2007).— Contribution à l'étude de la désertification dans le sud Oranais. *Revue Française de photogrammétrie et de Télédétection*, 3/4 : 187-188.
- HIRCHE, A., SALAMANI, M., BOUGHANI, M., OUKIL, Y. & HOURIZI, R. (2010).— *Is the desertification really in reverse ? The case of South-West Algeria*. Conference on "Advanced Scientific Tools for desertification Policy", Roma, 28-29 Sept.
- JAUFFRET, S. (2001).— *Validation et comparaison de divers indicateurs de changements à long terme dans les écosystèmes méditerranéens arides. Application au suivi de la désertification dans le sud tunisien*. Thèse de Doctorat, Université de Marseille III.
- KADI-HANIFI-ACHOUR, H. (1998).— *L'Alfa en Algérie. Syntaxonomie, relation milieu-végétation, dynamique et perspectives d'avenir*. Thèse de Doctorat ès Sciences. Université des Sciences et Technologies Houari Boumediène. Alger.
- KHELIL, A. (1997).— *L'écosystème steppique : Quel avenir ?* Édition Dahleb, Alger.
- KOSMAS, C., KIRKBY, M. & GEESON, N. (1999).— *Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*. The Medalus project on Mediterranean desertification and land use. Directorate-General Science, Research and Development, EUR 18882.
- LEBANE, Y. & ZIDANE, A. (1995).— *Carte bioclimatique de l'Algérie septentrionale au 1/500 000*. Mémoire d'Ingénieur, USTHB, Alger.
- LE HOUÉROU, H.N. (1992).— Climatic change and desertification. Pp 183-201 in : *Science and Society*. UNESCO, Paris.
- LE HOUÉROU, H.N. (1993).— Changement climatique et désertisation. *Sécheresse*, 4 : 95-111.
- LE HOUÉROU, H.N. (1995).— Dégradation, régénération et mise en valeur des terres sèches d'Afrique du Nord. Pp 65-102 in : *L'homme peut-il faire ce qu'il a défait ?* ORSTOM, Tunis.
- NEDJRAOUI, D., & BÉDRANI, S. (2011).— La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Vol. 8, N° 1 : <http://vertigo.revues.org/5375>.
- Oss (2008).— *La surveillance à long terme en réseau circum-saharien : l'expérience Roselt/Oss*. Collection Synthèse, OSS, Tunis.
- OUSSEDDIK, A., IFTENE, T. & ZEGRAR, A. (2003).— Réalisation par télédétection de la carte d'Algérie de sensibilité à la désertification. *Sécheresse*, 14 : 195-201.
- OZENDA, P. (1983).— *Flore du Sahara*. 2<sup>e</sup> édition, C.N.R.S, Paris.
- PNUE (1991).— *Situation en ce qui concerne la désertification et la mise en œuvre du plan d'action des Nations-Unies pour lutter contre la désertification*. Rapport du Directeur Exécutif, UNEP/GCSS.III/S. Nairobi, Kenya.
- ROSELT (2005).— *Rapport final de l'observatoire des hautes plaines steppiques du sud oranais*. Projet OSS/ROSELT/CRSTRA Algérie.
- ROSELT/OSS (2004).— *Conception, organisation et mise en œuvre de Roselt/Oss*. Document Scientifique n° 1.
- SALAMANI, M. & HIRCHE, A. (2006).— L'état de la désertification en Algérie. Pp 165-171 in : *Actes des journées internationales sur la désertification et le développement durable*. CRSTRA-Université, Biskra :
- SI RAMDANE, D. (2006).— *Utilisation des indicateurs radiométriques issus de la télédétection pour le suivi de la dégradation des écosystèmes du Nord de l'Algérie*. Thèse de Magister en Hydraulique (Ressources en eaux), Centre Universitaire Mustapha Stambouli, Mascara.
- TRABAUD, L. (1996).— Effects of fire frequency on plant communities and landscape pattern in the Massif des Aspres (Southern France). *Landscape Ecology*, 11 : 215-224.
- WORLD BANK (2002).— *World development report 2003 : Sustainable development in a dynamic world : transforming institutions, growth, and quality of life*. Oxford University Press, World Bank.