L'ANALYSE MULTICRITÈRE COMME OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION POUR LA LOCALISATION SPATIALE DES ZONES À FORTE PRESSION ANTHROPIQUE : LE CAS DU DÉPARTEMENT DE NAÂMA EN ALGÉRIE

Abdelkrim BENSAID[1], Malika BARKI[2], Okacha TALBI[3], Khatir BENHANIFIA[4], et Abdelkader MENDAS[4]

[1] Université de Caen, Esplanade de la paix BP 5186, 14032 Caen, France.
Téléphone : 33-2-31- 56- 08-/5967 ; télécopieur : 33- 2- 31- 56- 63- 86; courriel : abdelkrim.bensaid@unicaen.fr
[4]Centre national des techniques spatiales, B.P. 13, Arzew 31200, Oran, Algérie.
Téléphone : 213-41-47-22-17 ; télécopieur : 213-41-47-34-54 ; courriel : khatir@dr.com ; mendask@yahoo.fr
[3]Centre universitaire de Saïda, Zone industrielle de Aïn El-Hadjar, 20100, Saïda, Algérie.
Téléphone : 213 73 68 52 60 ; télécopieur : 213 48 50 34 12 ; courriel : talbio@yahoo.fr
[2]Université de Tours, département de Géographie, téléphone : 33 2 47 36 15 27; courriel : malikabarki@yahoo.fr

Soumis le 15 décembre 2006 ; révisé le 26 janvier 2007 ; accepté le 11 août 2007- © *Revue Télédétection*, 2007, vol. 7, n° 1-2-3-4, p. 359-371

Résumé

Ces dernières années, les régions arides et semi-arides dans les hautes plaines sud-ouest oranaises présentent des conditions favorables à une expansion de la dégradation des terres. Cette dégradation est souvent accentuée par les activités néfastes causées par la pression humaine. Ces activités de plus en plus destructrices de l'humain sur le milieu, engendrées par l'augmentation de la population en plus de l'utilisation de techniques employées sans discernement, sont certainement les causes principales du progrès de la dégradation des terres. En vue d'élucider les actions anthropiques sur la dégradation des terres dans la zone steppique, cette étude a pour objectif de proposer une méthode d'analyse multicritères pour repérer spatialement les zones les plus vulnérables aux pressions de la population. À cet effet, une carte de pression de population exercée sur le milieu steppique algérien a été établie sur l'ensemble du territoire du département de Naâma.

Mots-clés : Analyse multicritère, dégradation des terres, steppe, télédétection, Algérie.

MULTICRITERION ANALYSIS AS A TOOL FOR DECISION-MAKING FOR THE SPATIAL LOCALIZATION OF AREAS UNDER HEAVY HUMAN PRESSURE : A CASE STUDY OF THE NAÂMA DEPARTMENT IN ALGERIA.

Abstract

In recent years, arid and semi-arid areas in the high southern Oran plains have presented favourable conditions for the extension of land degradation. In this area, land degradation is often accentuated by harmful activities caused by human pressure. These increasingly harmful activities generated by man on the environment are the result of the population increase and the techniques used without discrimination are certainly the principal causes of the extension of land degradation. To determine the influence of anthropogenic pressures on land degradation in the steppe area, this study aims to propose a multicriterion method for spatially locating the most vulnerable areas to human pressures. Hence, a map of pressure exerted by the population on the Algerian steppe environment was established for the Naâma department overall.

Key words : Multicriterion analysis, land degradation, steppe, remote sensing, Algeria.

1. INTRODUCTION

La zone de plaine au sud-ouest d'Oran fait partie des régions arides et semi-arides méditerranéennes. À cause du climat et de la nature très fragile des sols, les terres agricoles et les parcours steppiques, qui sont la principale base de l'alimentation des cheptels, sont constamment confrontés aux problèmes de dégradation du couvert végétal et de l'érosion éolienne (Bensaid, 2006). Cette dégradation s'est amplifiée avec le temps en raison des transformations socio-économiques et de la mutation des systèmes de production que connaît le monde pastoral. En effet, la conjonction de plusieurs facteurs a brisé l'équilibre : régression du nomadisme et développement de la sédentarisation, croissance démographique et augmentation des besoins de la population, défrichements des meilleurs parcours au profit des cultures céréalières, augmentation du cheptel et gestion incontrôlée des ressources naturelles (Abdelguerfi et Laouar, 1996). Cette situation s'est aggravée ces dernières années avec la diminution de la pluviométrie, l'irrégularité des précipitations et l'augmentation de la probabilité des périodes de sécheresse (Bensaid, 2006). Ces facteurs, qui ont brisé l'équilibre du milieu steppique, présentent des conditions favorables au déclenchement de l'érosion éolienne. Cette dernière provoque la stérilisation des terres par les processus de déflation et d'accumulation des édifices dunaires. Cela engendre une réduction significative des surfaces agricoles utiles à la population steppique. D'après plusieurs auteurs ayant travaillé sur cette zone (Nadjraoui, 1981 ; Melzi, 1993 ; Aidoud et Touffet, 1996 ; Benabadji et Bouaza, 2000 ; Mahboubi, 2002 ; Bouchetata et Bouchetata, 2005 ; Bensaid, 2006), il s'agit bien d'une désertification progressive dont l'humain est l'unique responsable à cause d'une mauvaise gestion de l'utilisation de terres fragiles dans l'écosystème steppique. De même, dans son étude sur l'aménagement des pâturages, Le Houérou (1991) affirme que : « […] si les modes d'aménagement ne sont pas adaptés, on risque dans certains cas de voir apparaître, en quelques décennies, des déserts d'origine anthropique dont l'évolution sera difficilement réversible ».

Ce processus de dégradation des terres se manifeste sur une grande partie de la steppe algérienne. Les causes sont complexes, naturelles et anthropiques. Dans ce travail, nous nous intéressons uniquement aux facteurs anthropiques puisqu'ils semblent être les facteurs les plus importants parmi ceux qui interagissent dans le phénomène de dégradation des terres steppiques.

2. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude (figure 1) est localisée dans la partie sud-ouest des hautes plaines oranaises. Elle se rattache administrativement au département de Naâma. Elle est limitée au nord par les départements de Tlemcen et de Sidi Bel Abbes, au sud par le département de Béchar, à l'est par le département d'El Bayadh et à l'ouest par la frontière marocaine. Le département de Naâma est inséré entre l'Atlas tellien au nord et l'Atlas saharien au sud ; il s'étend sur une superficie de 29 825 km^2 pour une population de 164 894 habitants.

Du point de vue géomorphologique, le territoire du département est constitué d'une immense plaine déprimée coincée entre l'Atlas tellien et l'Atlas saharien. Toutefois, cette monotonie paysagère est rompue par quelques chaînons de montagnes orientés SO-NE.

L'analyse de l'évolution des conditions climatiques entre les périodes de 1913 à 1938 (Seltzer, 1946) et de 1978 à 2001 (Bensaid, 2006) a révélé des changements majeurs en termes de pluviosité et d'aridité du climat.

Durant la période de 1978 à 2001, la pluviosité a diminué par rapport à la période de 1913 à 1938. Un déficit pluviométrique de 19 % et de 33,6% a été enregistré respectivement aux stations météorologiques d'Ainsefra et de Mécheria. De plus, l'analyse climatique a révélé, qu'à la station de Mécheria, 83 % des précipitations annuelles sont inférieures à la valeur moyenne annuelle de la période de 1913 à 1938 (Bensaid, 2006).

Avec cette baisse de pluviosité, l'aridité du climat s'est accentuée. La région de la station de Mécheria est passée de l'étage aride supérieur à hiver frais à l'étage aride inférieur à hiver frais. De même, la région de la station d'Ainsefra est passée de l'étage aride inférieur à hiver froid à l'étage aride inférieur à hiver frais et, pour la période de 1978 à 2001, le pourcentage des années de plus de 9 mois secs (65 %) a doublé par rapport à l'ancienne période (1913-1938). Pendant la saison humide, le pourcentage de succession de 6 mois secs a doublé (33 %) tandis que, durant la saison sèche, le pourcentage entre les deux périodes a presque quadruplé, pour atteindre 71 % (Bensaid, 2006).

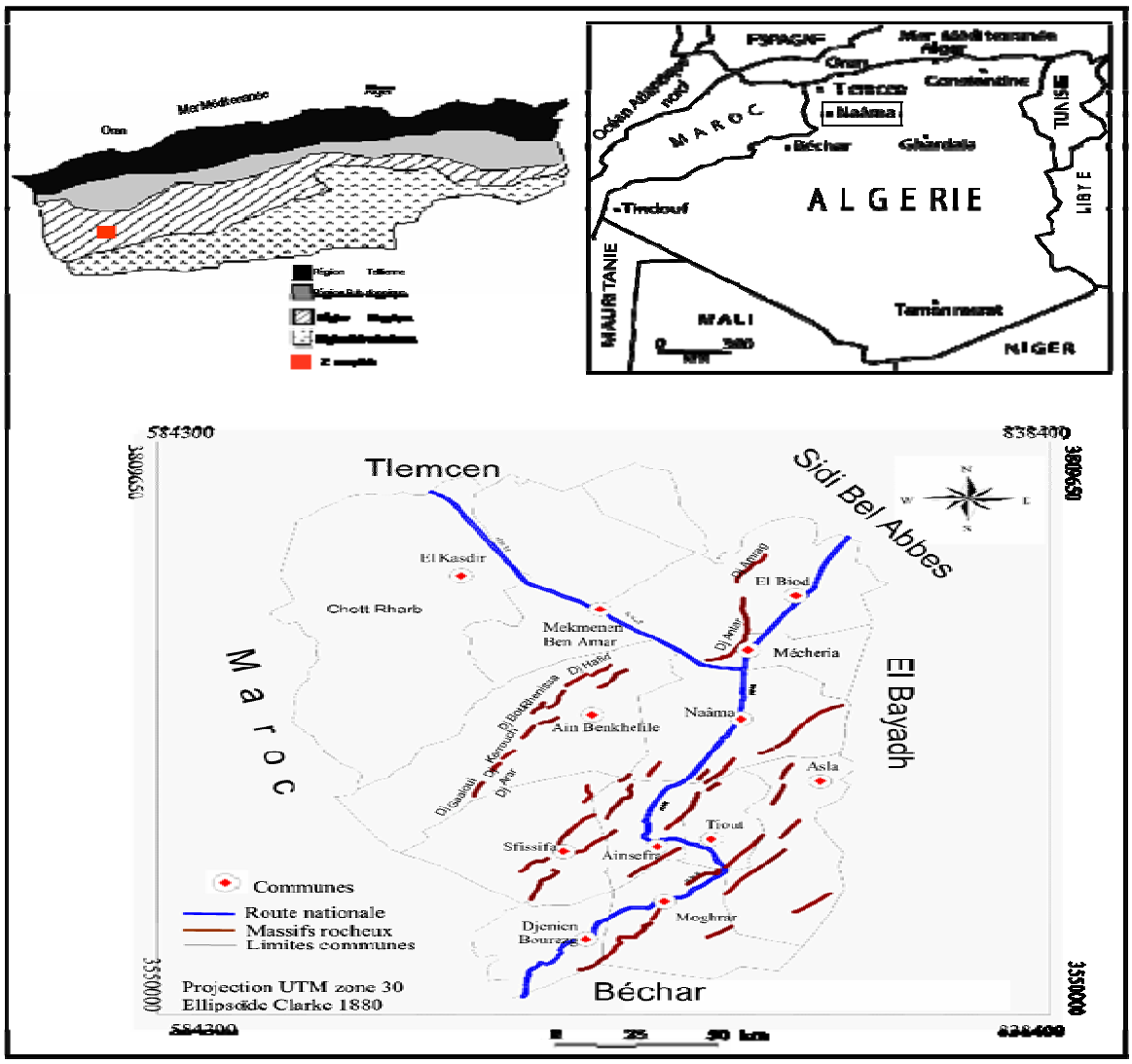


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude. *Location of the study area.*

2.1. Répartition de la population

La répartition de la population sur l'ensemble du département n'est évidemment pas uniforme. Mécheria possède 54 627 habitants, y compris les nomades, pour une densité de 70 hab/km^2 et Ainsefra possède 36 577 habitants, y compris les nomades, pour une densité de 33 ha/km^2. Ces deux communes regroupent plus de 56 % de la population du département, sur une superficie inférieure à 7 %, alors que la densité de population dans le reste des communes est extrêmement faible. Plusieurs communes ont des densités de 1 à 4 hab/km^2. La répartition de la population dans la région de Naâma présente deux sous-ensembles régionaux distincts (DPAT, 2004) :

- un espace à forte urbanisation dans les communes de Mécheria et d'Ainsefra (ainsi, l'espace occupé est relativement développé là où se trouvent concentrés les principales infrastructures) ;

- un monde rural peu peuplé et marginalisé, qui soufre du manque d'équipements (de santé, écoles, routes et alimentation en eau potable).

En 1966, la plupart des communes abritaient plus de 70 % de population nomade. Lors du recensement de 1998, on ne compte plus qu'une commune comprenant plus de 70 % de nomades : celle d'El Kasdir.

Ce sont les communes frontalières et les communes éloignées des axes de communication qui ont le plus préservé la vie nomade (Hadeid, 1996).

2.2. Pression anthropique sur le milieu steppique

La gestion des terres de parcours sur une région de grande étendue est une opération délicate, voire complexe. Dans ces régions, l'identification et la localisation des zones d'interventions prioritaires s'avèrent indispensables du point de vue de la dégradation des terres.

L'influence de la population sur le milieu naturel steppique et sa répartition dans ce milieu sont des évidences. D'après Locatelli (2000), la nouvelle version de la théorie Malthusienne révèle qu'une population trop importante (taux de croissance élevé) dégrade l'environnement et les moyens de sa production, comme les sols. La population, ou du moins une partie de cette dernière, migre lorsque la famine la menace, en déplaçant le problème dans d'autres régions.

Plusieurs études à l'échelle mondiale (Locatelli, 2000) montrent que le dépassement de la capacité de charge peut engendrer une dilapidation des ressources naturelles (Ramade, 1987).

Durant nos enquêtes de terrain, de décembre 2004 et d'août 2006, nous avons constaté une dégradation alarmante des parcours steppiques. Cette dégradation se manifeste par :

- l'avancée du sable dans presque toutes les communes de la région ;

- la disparition quasi-totale des graminées, comme l'Alfa (*Stipa tenacissima*) et l'Armoise blanche (*Artemisia herba alba*) et leur remplacement par la végétation psammophile (*Aristida pungens*) et le remt (*Arthrophytum scoparium*) ; cette disparition témoigne de l'évolution régressive de la végétation qui a engendré une diminution importante de la phytomasse ainsi que de la production fourragère (Melzi, 1993) ;

- une expansion accélérée et non étudiée du tissu urbain dominé par l'habitat individuel.

Évidemment, nous savons que la population n'est pas répartie de manière uniforme dans les ACL (agglomérations chefs-lieux), les AS (agglomérations secondaires) et la ZE (zone éparse) du département. L'absence de données à référence spatiale sur la répartition précise de la population sur toute la zone d'étude ne permet pas l'identification exacte des zones soumises à de fortes pressions démographiques.

D'un autre côté, les moyens couramment utilisés pour la cartographie de la végétation et de l'occupation des terres sont basés sur l'utilisation des données de terrain associées aux photographies aériennes. Vu l'étendue de la zone d'étude, nous ne pouvons pas envisager une étude sur la pression exercée par la population sur les ressources naturelles en utilisant uniquement les photographies aériennes. À cet effet, le recours aux images satellitaires, au système d'information géographique (SIG) et à l'analyse multicritère (AMC) des données s'avère nécessaire.

3. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE ET DONNÉES UTILISÉES

Dans le cadre de notre recherche, nous nous sommes basé sur l'application de l'AMC pour mettre en évidence les recompositions spatiales et, notamment, les zones fragilisées par la pression humaine. Une telle analyse a pour but de produire une cartographie précise des zones anthropiques pour une utilisation du territoire en aires de très forte, forte, moyenne et faible pression humaine. Elle s'intègre dans un concept communément appelé SADRS (système d'aide à la décision à référence spatiale).

La localisation spatiale de ces zones a exigé la collecte des données (images satellitaires, cartes topographiques et données alphanumériques), le traitement des images et l'AMC sur l'ensemble de données à référence spatiale.

L'approche méthodologique préconisée pour la réalisation de la carte de pression exercée par la population est illustrée sur la figure 2. Dans cette approche, la télédétection est utilisée comme un moyen incontournable pour la mise à jour des données cartographiques à référence spatiale, notamment les routes, les zones urbaines, les zones protégées (chott, lac, etc.) et les zones de contraintes qui n'incitent pas à l'installation de la population à l'intérieur de la zone steppique des hautes plaines au sud-ouest d'Oran. Dans cette optique, les images ETM+ de Landsat ont été retenues pour leur caractère synoptique, leur répétitivité et la possibilité qu'elles offrent par rapport à l'échelle des documents à élaborer (1 : 100 000).

D'autre part, l'AMC a permis d'établir la carte de pression démographique en se basant sur l'approche d'agrégation complète. C'est une procédure d'évaluation multicritère basée sur une combinaison linéaire pondérée des informations relatives aux différents critères pour produire un indice d'évaluation unique. En effet, l'application du module MCE (*Multi-Criteria Evaluation*) de l'AMC sur les critères a généré une image de sensibilité du milieu steppique vis-à-vis de l'anthropisation. Sur cette image, chaque maille représente la somme pondérée en fonction de tous les critères pris en compte.

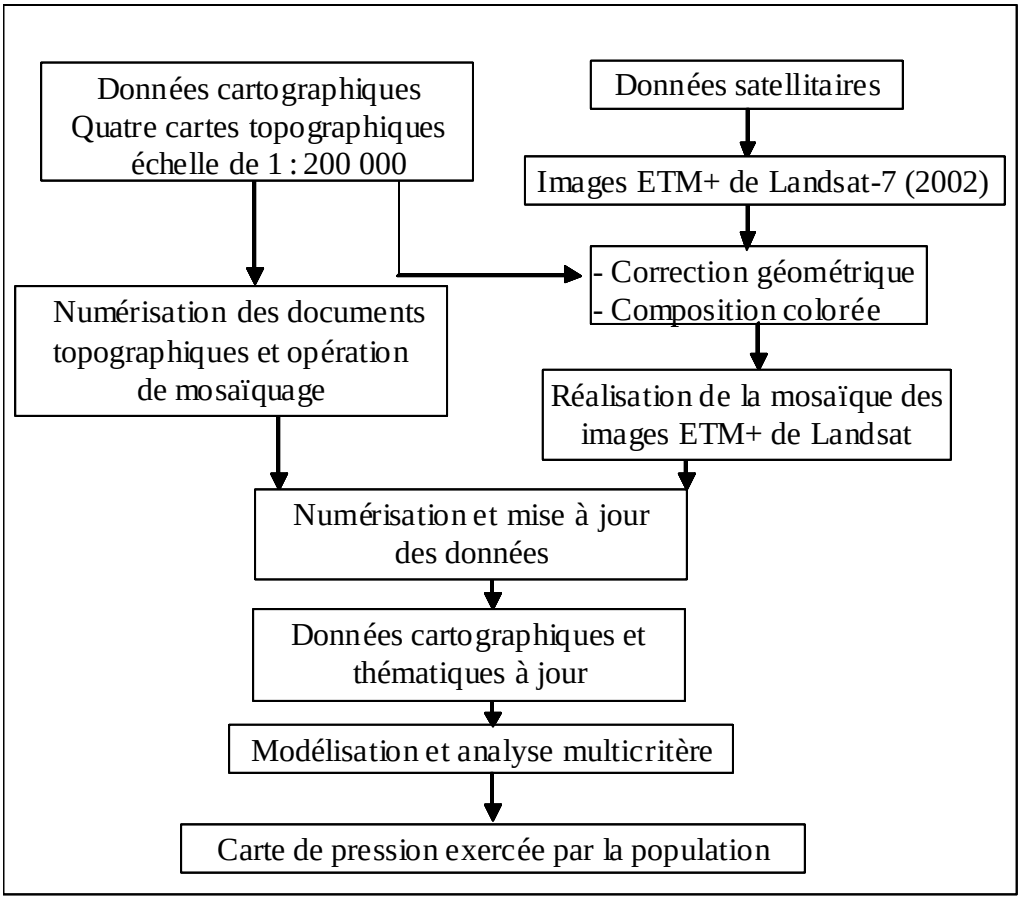


Figure 2 : Organigramme de la méthodologie générale. *Flow chart of the overall methodology*.

3.1. Données utilisées

Trois images ETM+ de Landsat-7 des 16 février 2002 (197/37), 27 janvier 2002 (198/36) et 13 mars 2002 (198/37), ainsi que quatre cartes topographiques à l'échelle de 1 : 200 000 (IGN, 1957) ont été utilisées. Ces images ont été choisies durant la période du printemps où l'appréciation du couvert végétal (mise en défens et parcours steppiques) et les ressources en eau sont possibles. Quant aux données sur les ressources en eau, elles ont été recueillies auprès des autorités locales de la DSA (Direction des services agricoles). La DSA a fourni un carnet concernant toutes les informations sur les ressources en eau (coordonnées de positionnement géographique, débit, type de ressource, qualité, etc.). Ces informations ont été par la suite analysées et intégrées dans le SIG Idrisi pour être exploitées par l'AMC.

3.2. Traitements des images ETM+

Vu l'étendue de la zone d'étude, une composition colorée couvrant l'ensemble de cette zone a été obtenue à partir d'une mosaïque de trois compositions colorées provenant de la superposition des bandes ETM+1, ETM+4 et ETM+5 des trois images d'ETM+. Ces images ont subi un traitement de rehaussement et d'amélioration de contraste à l'aide de l'analyse de la dynamique des histogrammes de fréquences, afin de parvenir à une composition colorée de bonne qualité mettant en évidence la plus grande partie de l'occupation des terres qui composent l'écosystème steppique.

Il est important de noter que les bandes mentionnées ont été choisies de manière à éviter la redondance de l'information et à obtenir le maximum d'information qui y est contenue. Pour ce faire, nous nous sommes basés sur l'analyse des bandes spectrales et sur le calcul de l'indice OIF (*Optimum Index Factor*) développé par Chavez (1982). Finalement, la mosaïque a été intégrée dans un SIG (MapInfo) pour pouvoir extraire et mettre à jour les informations cartographiques et thématiques (réseau routier, limites des agglomérations, anciennes dunes et réserves naturelles) provenant des anciennes cartes topographiques existantes (IGN, 1957). Sur la base de ces documents cartographiques, il a été possible de réaliser la modélisation spatiale à l'aide de l'AMC.

3.3. Modélisation et analyse multicritère

La modélisation des données qui peuvent influencer la présence ou l'absence d'une population à un endroit par rapport à un autre est complexe. Dans ce genre de problématique, on est souvent confronté à des situations d'ordre décisionnel de nature multicritère.

C'est ainsi, que l'AMC doit son émergence à la nécessité de disposer d'une aide pour trouver, de façon plus transparente, des compromis dans une situation de choix complexe. Vincke (1989) a ainsi défini l'aide multicritère de la façon suivante : « L'aide multicritère à la décision vise, comme son nom l'indique, à fournir à un décideur des outils lui permettant de progresser dans la résolution d'un problème de décision où plusieurs points de vue, souvent contradictoires, doivent être pris en compte ».

L'utilisation de l'AMC requiert l'emploi des critères (facteurs et contraintes) qui renforcent ou réduisent la pertinence d'une alternative particulière avec l'activité considérée. Ces critères peuvent être exprimés sur une échelle de mesure continue. Par exemple, on pourra estimer que plus la pente du terrain sera faible, plus la pression humaine sera forte.

L'étape la plus importante pour la modélisation (figure 3) des données est celle qui consiste à identifier les différents critères (facteurs et contraintes) susceptibles d'être pris en considération par l'AMC. L'identification des critères est basée sur la considération des caractéristiques de la steppe et des conditions géographiques (Daoud, 1997).

Après une concertation avec les utilisateurs potentiels travaillant dans des organismes nationaux DSA, HCDS (Haut commissariat pour le développement de la steppe), DGF (Direction générale des forêts) et DGE (Direction générale de l'environnement), nous avons choisi cinq critères notamment : la proximité du réseau routier, la pente, la proximité d'une ACL de commune, la proximité d'une ressource en eau et les contraintes naturelles au peuplement.

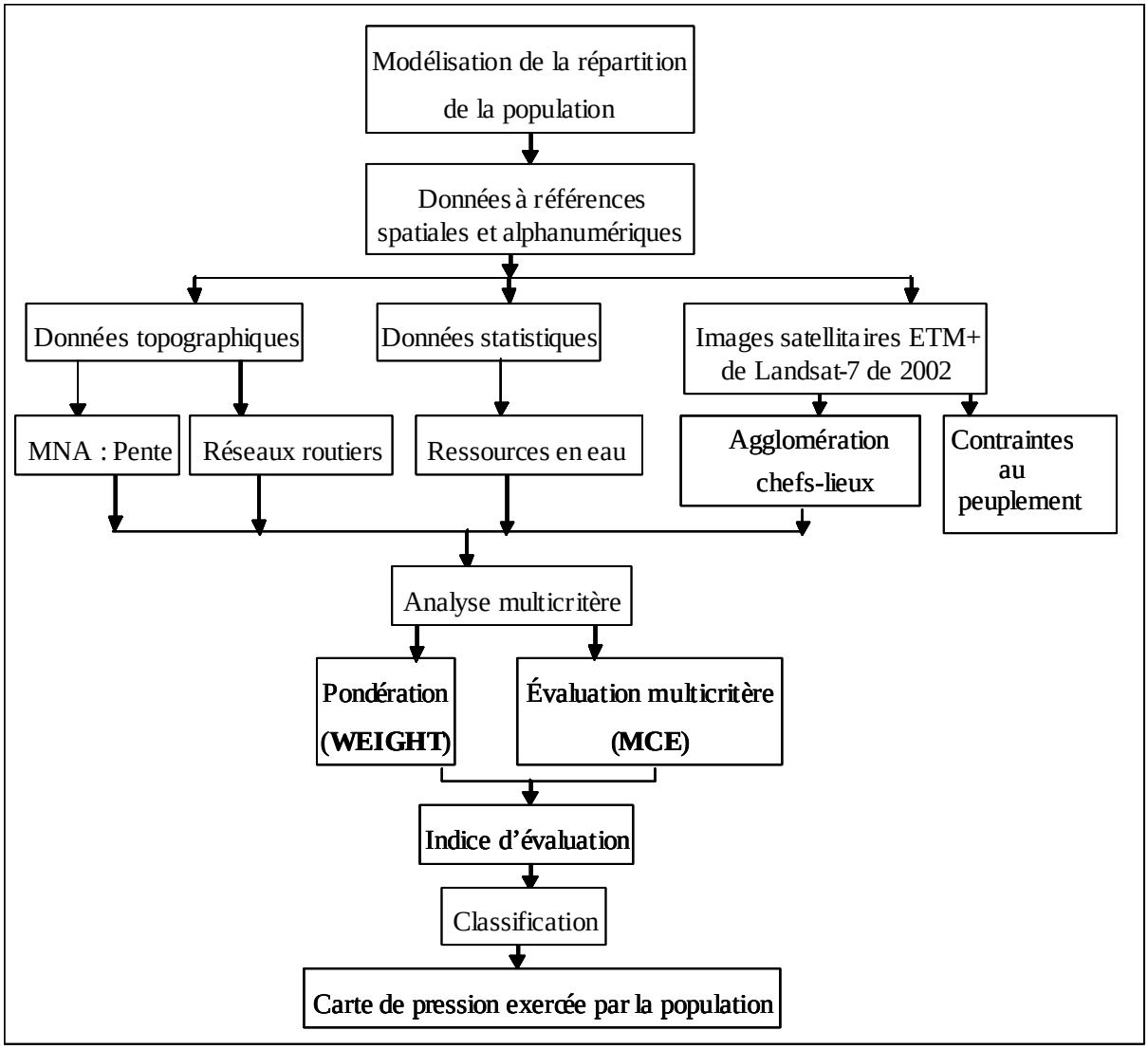


Figure 3 : Les étapes de la modélisation. *Modelling stages.*

3.3.1. Critère de proximité du réseau routier

Une grande partie de la population nomade a préféré se sédentariser non loin des axes de communication. Ces axes routiers permettent aux populations de s'approvisionner aux agglomérations les plus proches.

L'éloignement des éleveurs par rapport aux voies de communication induit sans doute un surcoût pour le transport de leurs troupeaux proportionnel à la distance. Ces dernières années, la plupart des éleveurs possèdent des moyens de locomotion (camions Gak et Toyota).

La proximité par rapport aux réseaux routiers est un facteur d'une grande importance. Entre autre, elle permet de faciliter tous les efforts employés par les pouvoirs politiques pour alphabétiser la population rurale. Au niveau de la zone d'étude, de 1985 à 2004, le secteur de l'éducation a connu un rythme de développement en matière d'infrastructures (écoles primaires et secondaires, lycées, terrains sportifs), avec un taux de 110 % pour l'enseignement primaire, de 220 % pour le moyen et 400 % pour le secondaire (DPAT, 2004).

Il n'existe aucun modèle théorique permettant de modéliser la répartition de la population par rapport aux axes routiers. Faute de modèle, nous avons utilisé la technique de l'analyse spatiale. Lors de cette analyse, les données cartographiques devraient représenter au mieux les critères dans l'évaluation multicritère. L'optimisation de la carte de proximité de la route a exigé l'emploi de certaines opérations sur la banque de données. Le réseau routier ainsi que les pistes existantes depuis l'époque coloniale ont été obtenus à l'aide de la numérisation de quatre cartes topographiques à l'échelle de 1 : 200 000. Toutefois, ces cartes sont anciennes (1957) et les routes n'y sont pas mises à jour. Pour pallier ce problème, nous avons eu recours à l'utilisation des images ETM+ pour mettre à jour la cartographie du réseau routier. Cependant, afin de bien mettre en évidence les différentes structures linéaires, un filtre de rehaussement moyen a été appliqué sur cette mosaïque. Les données vectorielles du réseau routier ont ensuite été transformées en données matricielles pour pouvoir appliquer la fonction DISTANCE du logiciel IDRISI sur cette image. La figure 4 illustre la carte des distances par rapport aux axes routiers.

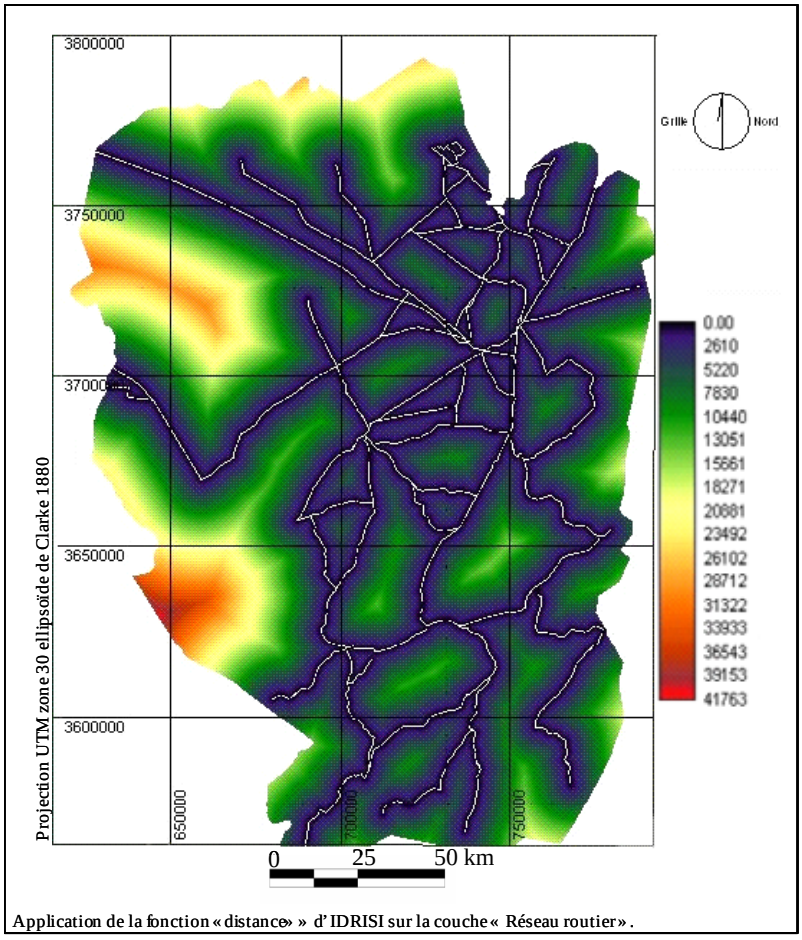


Figure 4 : Carte de proximité au réseau routier. *Map of proximity to road network.*

3.3.2. Critère de la pente

La pente du terrain est un paramètre important à prendre en compte pour la modélisation de la répartition de la population. Les zones accidentées sont moins propices à l'agro-pastoralisme (axe difficile pour le cheptel) et à la construction des maisons. La variable « pente » est une donnée endogène qui est dérivée directement à partir du MNA (modèle numérique d'altitude). Ce dernier a été obtenu par numérisation des courbes de niveau des quatre cartes topographiques à l'échelle de 1 : 200 000. Le fichier ainsi obtenu est représenté en mode vectoriel. Afin d'interpoler les données d'altitude, nous avons converti ce fichier en mode matriciel à l'aide du module INTERCON. Le pas de la résolution choisi a été de 30 m afin d'obtenir la même résolution que celle des images ETM+. Le MNA de la région d'étude ainsi obtenu présentait quelques irrégularités dues à l'interpolation. Un filtre passe bas a alors été appliqué sur l'ensemble de l'image en utilisant l'élément structurant d'ordre 3. Cette technique affecte, à chaque pixel, la médiane de ses huit pixels voisins les plus proches.

De plus, pour éviter les effets de bordure, nous avons travaillé sur une surface plus grande que celle de la zone d'étude. Il a ensuite suffit d'appliquer un masque pour ne laisser que les espaces concernés par la zone de travail. Enfin, la pente a été calculée à l'aide de la fonction Slope d'IDRISI dans le MNA.

3.3.3. Critère de proximité d'une ACL

Ces dernières années, on remarque qu'il y a une forte concentration autour des grandes agglomérations. Les communes de Mécheria et d'Ainsefra concentrent respectivement 34 % et 22 % de la population totale.

Les sécheresses qui sévissent depuis les années 1970, les invasions acridiennes et le phénomène de sédentarisation amplifié par la crise du pastoralisme ont incité la population à se diriger vers les centres urbains les plus attractifs.

Le mode de vie traditionnel n'est plus supporté par la population rurale et une plus grande partie de cette population a préféré se sédentariser autour des agglomérations. Ainsi, Bessaoud *et al*. (2000) constatent ce qui suit : « On voit apparaître en régions steppiques des systèmes de production bipolaires steppe/petites villes, qui révèlent de nouvelles stratégies chez les agropasteurs, très conscients de l'importance d'avoir un pied en ville où l'avenir de la steppe se décide : c'est le lieu du marché et des tractations, des artisans et des réparations, de l'école et du dispensaire, des services techniques et des prébendes. ».

La modélisation des aires d'influence de chaque agglomération est complexe. En fait, il existe plusieurs catégories d'aires d'influence que peut exercer une agglomération sur ses habitants et sur d'autres populations. En effet, chaque service ou chaque catégorie de commerce détermine autour de lui sa propre zone d'influence (Daoud, 1997).

Nous avons uniquement considéré le paramètre proximité autour de l'agglomération pour la modélisation de la répartition de la population. Les différentes agglomérations chefs-lieux du département ont été cartographiées à partir de la mosaïque des images satellitaires récentes. Nous avons appliqué la technique de seuillage sur la mosaïque des images pour extraire automatiquement les limites des espaces agglomérés (Bensaid, 2006). Toutefois, cette technique est délicate dans la mesure où elle demande une certaine précision dans la définition de l'intervalle des valeurs extrêmes qui bornent le thème agglomération. Une erreur sur la définition de l'intervalle pouvait influencer le résultat de la carte de pression démographique. À cet égard, nous avons vérifié les limites des zones en nous basant sur les observations sur le terrain. Ensuite, nous avons utilisé les mêmes techniques énumérées précédemment pour définir les aires de proximité.

3.3.4. Critère de proximité d'une ressource en eau

Partout dans le monde, comme dans la steppe oranaise où les conditions naturelles sont rudes, l'eau présente une denrée indispensable pour le maintien de la population. Elle est aussi une composante de grande importance pour toute action de développement agropastoral ainsi que pour la régularisation des mouvements de la population et pour la répartition de cette population sur le territoire. De plus, c'est de l'accessibilité des points d'eau que dépend en grande partie l'intensité de l'exploitation du pâturage.

Le département de Naâma renferme un grand potentiel hydrique en eau souterraine. D'après le DPAT (2004), les réserves hydriques souterraines sont localisées autour de Chott el Gharbi, Chott el Chergui, le synclinal de Naâma et les aquifères de la vallée de Ainsefra et Tiout. Toutefois, ce potentiel est très peu exploité et le volume de stockage demeure inconnu. Jusqu'à présent, il n'y a aucune étude hydrogéologique pour dresser un bilan exact, afin de connaître les limites de réserve en eau souterraine pour tirer un réel profit et dégager une stratégie appropriée pour sa protection.

La zone d'étude est alimentée par les eaux souterraines. D'après le rapport établi par l'ANAT (1998), le volume d'eau puisé est évalué à 366 l/s. Les pouvoirs locaux pompent cette eau pour alimenter les grandes agglomérations, l'irrigation des parcelles agricoles et l'abreuvement des cheptels. Sans contrôle prudent, ce fait peut engendrer à terme un déséquilibre et un déficit hydrique à l'échelle de la région. N'est-il pas judicieux de demander aux experts en la matière de dresser un plan détaillé à long terme pour ne pas déstabiliser toute une population en cas de disette ?

Les eaux de surface sont aussi collectées dans les bas-fonds. Mais, la présence de ces eaux ne dure pas longtemps à cause de la forte évaporation. Les oueds sont caractérisés par un écoulement temporaire et endoréique. Ils sont secs une

grande partie de l'année (6 à 10 mois) et soumis en hiver et parfois en été à des crues irrégulières, survenant après une averse brutale. D'ailleurs, à Ain Benkhlile, il existe un lac (oglat ed Deïra) qui ne dure que trois mois dans l'année. Ce lac est classé comme réserve naturelle. Cependant, pour la modélisation de la répartition de la population, trois ressources ont été considérées : l'eau potable, l'eau d'irrigation et l'eau d'abreuvement.

3.3.5. Contraintes naturelles au peuplement

Les contraintes naturelles au peuplement ont pour but de limiter les alternatives considérées pour le regroupement de la population. Elles sont exprimées sous forme d'une couche codée en binaire (0 et 1). La valeur 0 est affectée aux zones non favorables à l'installation de la population, tandis que celles potentiellement favorables sont codées avec la valeur1.

Nous avons retenu quatre contraintes au peuplement de cet espace (figure 5) :

1) les lacs (oglat ed Deïra) et la zone salée (chott el Gharbi) : ces zones sont considérées comme inondables et donc défavorables au peuplement ;

2) les anciennes dunes : ces accumulations sableuses sont connues par la population pour qui il n'est pas facile de construire sur du sable ;

3) la réserve naturelle dans la zone frontalière avec le Maroc, cette réserve est protégée par les collectivités locales ;

4) en se basant sur les observations de terrain (mission de décembre 2004 et d'août 2006) et les différents témoignages des nomades expliquant que, vu l'étendue de la steppe, ils s'installent sur des terrains plats ou à faible pente, nous avons considéré qu'une zone est jugée défavorable à toute installation de populations si celle-ci se trouve sur une pente supérieure à 25 %.

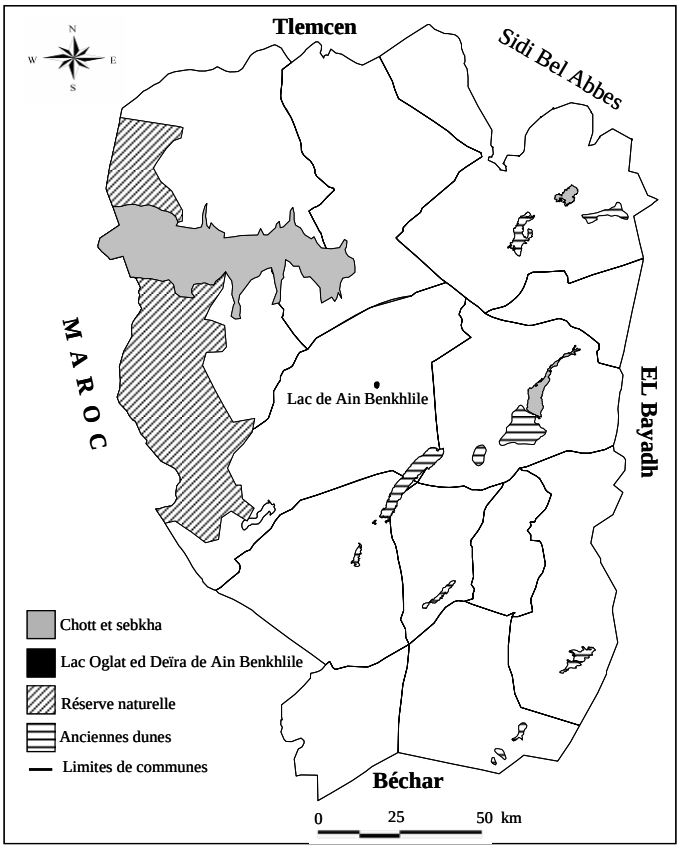


Figure 5 : Carte des contraintes naturelles au peuplement du département de Naâma. *Natural constraints map to population extension of the Naâma Department.*

4. ÉVALUATION MULTICRITÈRE ET PONDÉRATION

Après avoir déterminé l'ensemble des critères favorables à la présence d'une population en un endroit plutôt qu'à un autre, nous avons procédé à l'AMC basée sur la méthode linéaire pondérée (Daoud, 1997). Cette méthode est réalisée à l'aide de la fonction MCE d'IDRISI, qui représente la procédure de combinaison de critères prenant la forme :

$$C = S w_i x_i * P c_j$$

où C est l'indice composite, X_i est la valeur du facteur i, W_i est le poids de chaque facteur et C_j est la valeur de la contrainte j.

Toutefois, il importe de rappeler que, pour le fonctionnement de cette méthode, on doit normaliser les différentes échelles de mesure, et ce pour chaque facteur. À cet effet, tous les facteurs ont été exprimés dans une fourchette allant de 0 à 255. Ainsi, la valeur maximale (255) représente la meilleure évaluation et donc le meilleur endroit en fonction du critère considéré. Or, dans le cas des critères relatifs au réseau routier, à la pente, à la proximité d'une agglomération et de ressources en eau, les zones favorables sont représentées par les plus petites valeurs. Pour pallier ce problème, il suffit d'inverser l'échelle de mesure (min = 255 et max = 0) pour chaque facteur.

Pour la pondération des critères, nous avons utilisé l'approche dite de comparaison par paire développée par Saaty (1990) dans le contexte du processus décisionnel appelé AHP (*Analytical Hierarchy Process*). Cette technique est programmée dans le logiciel IDRISI avec la fonction WEIGHT. Cette fonction permet d'établir les poids relatifs pour un groupe de facteurs dans le cadre d'une évaluation multicritère. Les poids sont déterminés à partir d'une série de comparaisons par paires de facteurs en fonction de leur importance dans la détermination de l'aptitude pour produire des coefficients de pondération standardisés dont la somme est égale à 1. Ces poids peuvent ensuite être utilisés pour pondérer les facteurs dans le cadre d'une combinaison par pondération linéaire faisant appel à la fonction MCE.

Cette étape est très délicate et elle exige l'intervention des décideurs ainsi que des spécialistes dans le domaine du pastoralisme pour l'affectation d'un coefficient à chaque facteur. Donc, pour chaque paire de facteurs possibles, on introduit une évaluation dans une matrice couplée. Les poids sont alors déterminés à partir du vecteur propre principal de la matrice d'évaluation. Pour notre étude, nous avons utilisé les valeurs présentées sur la figure 6.

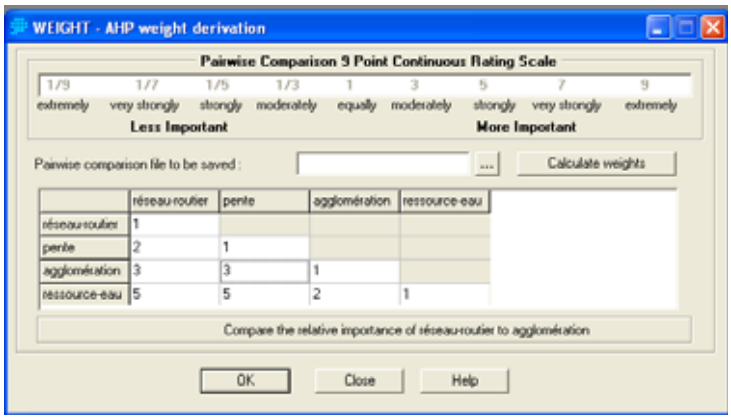


Figure 6. Matrice de pondération des critères. *Criterion weight matrix*.

Les valeurs de pondération sont calculées à l'aide de la fonction WEIGHT. Cette fonction permet aussi d'évaluer a posteriori la cohérence des jugements à l'aide de l'IGC (indice global de cohérence). Ce dernier mesure la proximité à des jugements cohérents. D'après Saaty (1990), si l'IGC est supérieur à 0,1, la matrice des évaluations devrait être réévaluée. Dans notre application, cet indice représente une valeur de 0,01 exprimant une cohérence satisfaisante des jugements (tableau 1).

Tableau 1 : Valeurs de poids pour les différents facteurs. *Weight values for the various factors.*

Facteurs	Poids
Réseau routier	0,0837
Pente	0,1190
Agglomération	0,2824
Ressource en eau	0,5149
Indice global de cohérence	0,0100

5. RÉSULTATS

En exploitant les images ETM+ et l'AMC, nous avons établi une carte de la pression anthropique du département de Naâma. En fonction des critères utilisés précédemment, cette carte fait ressortir les zones anthropiques dans la région sud-ouest des hautes plaines oranaises. Ces zones sont au nombre de quatre : 1) très sensible, 2) sensible, 3) moyennement sensible et 4) peu sensible.

D'après l'analyse de la figure 7, nous constatons que les zones les plus exposées à la dégradation par l'influence humaine se situent autour des grandes agglomérations, le long des routes nationales R.N.6 et R.N.22 ainsi que dans les communes à vocation agricole (Ain Benkhlile, Naâma, Ainsefra). La plaine d'Ain Benkhlile apparaît comme un espace de grande étendue favorable à toute installation humaine. Ainsi, à elle seule, la commune de Ain Benkhlile présente une superficie de 149 127 ha de zones très sensibles à sensibles à une influence humaine, soit un pourcentage de 5 % par rapport à la superficie totale de la région. La commune de Mekmen Ben Amar vient en première position avec un pourcentage de 6 % de la superficie totale.

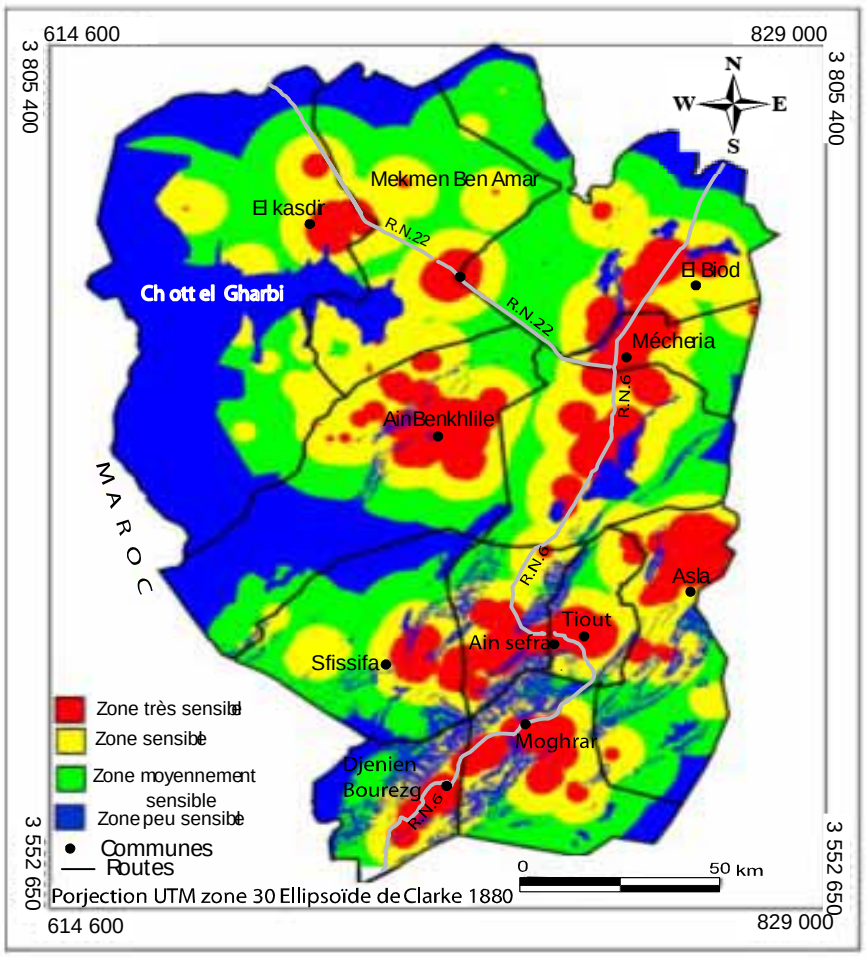


Figure 7 : Carte de pression exercée par la population. *Map of the pressure exerted by the population.*

6. DISCUSSION

Sur le plan technique, les données de télédétection deviennent de plus en plus performantes et prépondérantes. En effet, à partir des images ETM+, nous avons pu mettre à jour les données cartographiques (réseau routier, limite spatiale d'une ACL) provenant des cartes topographiques anciennes (IGN, 1957) à l'échelle du département de Naâma. En effet, la position centrale d'Ain Benkhlile dans l'espace entre Mécheria, Naâma, Mekmene Ben Amar et Sfissifa lui confère un rôle de grande importance dans le développement agropastoral et dans la valorisation de l'écosystème steppique. À cela s'ajoutent d'autres atouts indéniables qui lui permettent d'acquérir un flux migratoire de population qui fuit les grands pôles urbains (Mécheria et Ainsefra) de la région.

La présence de l'eau (aquifères de djebels Hafid et Gaaloul) dans cette zone est l'un des atouts qui renforcent la présence humaine. Depuis 1984, le nombre de puits est passé de 50 à 300 (DPAT, 2004). Cette augmentation est liée au FNRDA (Fonds national de régulation et de développement agricole), octroyé par le Ministère de l'agriculture aux nouveaux agropasteurs dans sa nouvelle politique agricole (DPAT, 2004).

7. CONCLUSION

L'AMC basée sur la méthode linéaire pondérée, en utilisant quatre critères (proximité du réseau routier, pente, proximité d'une ACL et proximité d'une ressource en eau) ainsi que la carte des contraintes, a permis d'établir une carte de pression exercée par la population sur un espace steppique.

Cette carte est un document cartographique destiné à éclairer les décideurs et les aménageurs sur les zones les plus exposées au phénomène de dégradation des terres de parcours steppiques par la pression anthropique. Face à ce document, les décideurs ainsi que les aménageurs peuvent définir à court terme les premières actions d'intervention prioritaire.

Toutefois, la robustesse et la fiabilité de cette méthode d'AMC reposent sur la précision des critères pris en compte lors de la modélisation ainsi que sur leur pondération. La moindre sous-estimation dans la pondération d'un facteur de grande importance peut être fatale à la qualité du résultat espéré.

Toutefois, la diversité du milieu et le grand nombre d'acteurs impliqués dans la gestion durable de la steppe rendent tout processus de décision concerté plus complexe. En effet, il est difficile voire impossible de prendre en compte tous les paramètres au vu de leur importance dans la sélection spatiale des zones les plus menacées par la population (comportements individuels et communs, modélisation des règles de décision de chacun des acteurs en se basant sur sa propre représentation de l'espace, etc.).

D'autres considérations échappent à toute modélisation comme, par exemple, la mobilité clandestine des pasteurs par les moyens de locomotion d'un endroit à un autre. À cela s'ajoute le phénomène de l'incursion clandestine de certains agropasteurs venant des départements voisins pour profiter des terres mises en défens dans le département de Naâma. D'ailleurs, dans la commune de Sfissifa, c'est le Maire en personne qui patrouille les terres de sa commune la nuit. D'après lui, un cheptel trouvé à l'intérieur de ces terres protégées sera confisqué et une amende sera attribuée à leurs propriétaires.

En plus de ces difficultés, la méthode de pondération linéaire présente deux inconvénients : sa sensibilité 1) à la transformation d'échelle d'un critère et 2) à la compensation entre les critères. En effet, un pixel ayant des valeurs très décevantes sur la majorité des critères peut compenser par une très bonne évaluation sur un critère de plus grande importance. À cet effet, l'utilisation de plusieurs méthodes d'analyse multicritère (la logique floue et les méthodes Electre) (Daoud, 1997 ; Bensaid, 2006) peut affiner et compléter ce travail. Finalement, cette méthode reste valable pour la mise en oeuvre des spatiocartes pour la modélisation des données socio-économiques. La difficulté réside dans le choix des critères pertinents et dans la pondération de ces mêmes critères. En réalité la pondération et le choix des critères doivent être réalisés en collaboration avec les spécialistes et les techniciens dans le domaine de la gestion steppique.

Il faut mentionner que la carte de pression exercée par la population va être utilisée comme une donnée importante dans la suite de notre recherche qui permettra l'élaboration de la carte de sensibilité à la dégradation des terres de Naâma en utilisant les données physiques et socio-économiques.

Remerciements

Ce travail n'aurait pas été réalisé sans l'allocation de recherche octroyée par l'AUF (Agence universitaire de la Francophonie), dont a bénéficié l'auteur principal pendant trois ans et qui lui a permis de séjourner en France. Nous tenons à remercier Gilles-H. Lemieux et Jean-Marie Dubois pour avoir lu, corrigé et permis la publication du présent article. Nous dédions ce travail à la mémoire du grand professeur en télédétection Ferdinand Bonn.

Références

Abdelguerfi, A. et Laouar, M. (1996) La privatisation du foncier : impact sur l'environnement et sur les ressources génétiques en Algérie. Options Méditerranéennes, n° 32, p. 203-207.

Aidoud, A. et Touffet, J. (1996) La régression de l'alfa (*Stipa tenacissima*) graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. Sécheresse, vol. 7, n° 3, p. 187-193.

ANAT (Agence nationale de l'aménagement du territoire) (1998) Les villes dans la revitalisation des espaces des hauts plateaux. Ministère de l'équipement et de l'aménagement du territoire, Alger, 315 p.

Benabadji, N. et Bouazza, M. (2000) Contribution à une étude bioclimatique de la steppe à Artémisia herba-alba Asso dans l'Oranie (Algérie occidentale). Sécheresse, vol. 11, n° 2, p. 117-123.

Bensaid, A. (2006) SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naâma (Algérie). Thèse de doctorat, Université de Grenoble 1, France, 318 p.

Bessaoud, O., Bourbouze, A. et Campagne, P. (2000) Problématique de développement rural des zones sèches dans la région Moyen-Orient et Afrique du Nord. Contribution à la mise à jour du rapport (*From vision to action for rural development*), Banque mondiale, Washington ; Centre international de hautes études agronomiques méditerranéennes (CIHEAM) et Institut agronomique méditerranéen (IAMM), Montpellier, 37 p.

Bouchetata, T. et Bouchetata, A. (2005) Dégradation des écosystèmes steppiques et stratégies de développement appliqué à la wilaya de Naâma (Algérie). Revue développement durable et territoires, n° 44, p. 45-67.

Chavez, G.L. (1982) Statistical method for selecting Landsat MSS ratio. Journal of Applied Photographic Engineering, vol. 8, n° 3, p. 23-30.

Daoud, B.H. (1997) Intégration de l'analyse multicritère dans les systèmes d'information géographique : développement d'un prototype MapInfo-Electre. Thèse de magister, Centre national des techniques spatiales, Arzew (Algérie), 93 p.

DPAT (Département de Planification et de l'Aménagement du Territoire) (2004) Bilan et perspectives de développement. Compte rendu de la conférence sur les perspectives de développement de la wilaya de Naâma. Naâma (Algérie), 26-27 décembre 2004, 65 p.

Hadeid, M. (1996) Croissance et développement de petites agglomérations et leur rôle dans l'organisation de l'espace de la steppe sud oranaise d'Algérie. Thèse de magister, Université Es-Senia, Oran (Algérie), 159 p.

IGN (Institut géographique national, France) (1957) Cartes topographiques à 1 : 200 000. Quatre feuillets, Ainsefra, Béni ounif, Chott el Gharbi et Mécheria.

Le Houérou, H.N. (1991) La Méditerranée en l'an 2050 : impacts respectifs d'une éventuelle évolution climatique et de la démographie sur la végétation, les écosystèmes et l'utilisation des terres. La Météorologie, n° 36, p. 34-37.

Locatelli, B. (2000) Pression démographique et construction du paysage rural des tropiques humides : l'exemple de Mananara (Madagascar). Thèse de doctorat, École nationale du génie rural, des eaux et des forêts (ENGREF), Montpellier, 397 p.

Mahboubi**,** B. (2002) La désertification et les problèmes d'ensablement dans les hautes plaines Oranaises. Thèse de magister, Université Es-Senia, Oran (Algérie), 110 p.

Melzi, S. (1993) Évolution de la végétation et du milieu dans la région présaharienne des steppes algériennes. Sécheresse, vol. 4, n° 2, p. 113-116.

Nedjraoui, D. (1981) Évolutions des éléments biogènes et valeurs nutritives dans les principaux faciès de végétation des hautes plaines steppiques de la wilaya de Saïda. Thèse de 3^{e} cycle, Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene (USTHB), Alger, 156 p.

Ramade, F. (1987) Les catastrophes écologiques. McGraw-Hill, Paris, 403 p.

Saaty, T.L. (1990) How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research, vol. 48, p. 9-26.

Seltzer, P. (1946) Le climat de l'Algérie. Éditions Carbonel, Alger, 219 p.

Vincke, P. (1989) L'aide multicritère à la décision. Éditions de l'Université de Bruxelles, Bruxelles, 178 p.