Télédétection, 2006, vol. 6, n° 3, p. 205-213
© 2006 CONTEMPORARY PUBLISHING INTERNATIONAL
Publié sous l'enseigne *Éditions Scientifiques GB*

CONSIDÉRATIONS SUR LES LIMITES ACTUELLES DE L'ÉTAGE ALPIN DU MASSIF DE FĂGĂRAŞ (CARPATES ROUMAINES) EN UTILISANT LA TÉLÉDÉTECTION ET LES SIG

Marcel TÖRÖK-OANCE[1], Mircea VOICULESCU[1], Mircea ARDELEAN[1], Florin VUIA[1], Rodica TÖRÖK-OANCE[2]

[1]Université de l'Ouest de Timişoara.
Département de géographie, Bdul. V. Pârvan, 4
300223-Timişoara, Roumanie.
Courriel : torok@cbg.uvt.ro, mvoicu14@yahoo.com (voicu@cbg.uvt.ro), ardelean@cbg.uvt.ro, vuia@cbg.uvt.ro

[2] Université de l'Ouest de Timişoara.
Département de biologie, Bdul. Pestalozzi 16
300223-Timişoara, Roumanie.
Téléphone : 0040256592117 ; télécopie : 0040256592312
Courriel : rtorok@cbg.uvt.ro

L'objectif de cet article est l'analyse comparative de l'extension de l'étage alpin et de ses limites actuelles dans le massif de Făgăraş. L'étage alpin couvre 439 km2, soit 29 % de la surface du massif, qui est de 1 493 km2. La limite inférieure de l'étage alpin est définie par l'isotherme annuelle de 3o C, qui correspond à la limite supérieure de la forêt. Du point de vue géomorphologique, la limite inférieure de l'étage alpin coïncide avec celle des processus géomorphologiques périglaciaires. L'analyse a est orientée dans trois directions : l'interprétation des images satellitaires, l'utilisation des techniques de SIG et la recherche sur le terrain. Pour réaliser les cartes de l'extension de l'étage alpin, nous avons utilisé les images satellitaires ETM+ de Landsat à 30 m de résolution de l'année 2000. Pour déterminer la limite théorique de l'étage alpin, nous avons réalisé le modèle des températures moyennes multiannuelles de l'air, en utilisant un modèle numérique d'altitude et les données de neuf stations météorologiques des Carpates méridionales. Par comparaison de ces deux résultats, nous sommes parvenus aux conclusions suivantes : 1) il existe une coincidence des limites réelle et théorique ; 2) la limite inférieure de l'étage alpin est plus basse, à cause du facteur anthropique ainsi qu'à cause de la morphométrie ou des processus géomorphologiques ; 3) sur les versants exposés au sud et à l'ouest, la limite supérieure de la forêt dépasse la limite théorique à cause de conditions topoclimatiques particulières.

Mots clés : étage alpin, limite supérieure de la forêt, pression anthropique, télédétection, SIG, massif de Făgăraş, Roumanie.

SOME CONSIDERATIONS ON THE AREA AND RECENT LIMITS OF THE ALPINE LEVEL OF THE FĂGĂRAŞ MASSIF (ROMANIAN CARPATHIANS), USING REMOTE SENSING AND GIS

The present study analyses the physical - geographical as well as the anthropical factors responsible for the extension of the alpine level in the Făgăraş Mountains. We carried out a comparison of the present situation with the theoretical area of extension of the alpine domain. The lower limit of the alpine level corresponds to the upper timberline ; it is defined by the 3° C isotherm. Geomorphologically, it corresponds to the lower limit of the periglacial level.
The analysis was threefold : processing the satelite images, using GIS techniques and conducting field research. In order to derive the maps showing the present extension of the alpine domain in the Făgăraş Mountains, we used Landsat ETM+ images with a 30 m resolution acquired in 2000. To establish the theoretical lower limit of the subalpine domain, the average multiannual air temperature model was elaborated. For this purpose, we produced a Digital Terrain Model (DTM) and data were collected from nine meteorological stations in the Southern Carpathians located between 850-2 505 m. Because the air temperature values also depend on the slope and aspect of the surfaces, a correction of this model according to seven classes of slope and four classes of aspect (N, S, W, E) was made using data obtained experimentally. We extracted the area in which the yearly average temperatures are lower or equal to 3° C and which represent the theoretical area of the alpine level.
Comparing the two results, we arrived at the following conclusions : 1) the coincidence between the real and theoretical limits shows that in most areas the limit is still the natural one ; 2) the limit of the subalpine level is much lower due to both the anthropical factor (specially on the southern slope) and morphometric or geomorphological processes ; 3) in the case of the slopes exposed to the south and west, the upper limit of the timberline is over the theoretical limit probably due to some particular topoclimatic conditions.

Key words : alpine domain, timberline, anthropic pressure, remote sensing, GIS, Făgăraş Massif, Romania.

1. INTRODUCTION

Dans la littérature (Walter, 1974), on distingue plusieurs limites supérieures de la forêt, c'est-à-dire les limites théorique, orographique, climatique, édaphique et anthropique. Toutes ces limites sont déterminées par les caractéristiques de chaque composante de l'environnement : relief ou orographie, climat, structure édaphique ou activités anthropiques. C'est pourquoi, dans les Carpates roumaines, il n'existe pas de superposition entre ces

limites et la limite inférieure réelle, du domaine alpin. Les causes sont nombreuses : la déclivité et l'intensité des processus géomorphologiques ou la torrentialité et l'érosion. Ces facteurs ne permettent pas l'installation de la végétation forestière et, de plus, la végétation est perturbée par le pastoralisme et ses activités connexes : bergeries, huttes, alpages, marques pastorales et activités traditionnelles. Ces activités ont déterminé l'extension des surfaces des herbages, par le défrichement et les incendies de végétation de l'étage alpin ou de la limite supérieure de la forêt.

L'extension de l'étage forestier est limitée du point de vue climatique par l'existence de deux limites : une limite thermique et une limite hydrique (Chiriță, 1981 ; Voiculescu, 2002), toutes deux étant considérées aujourd'hui comme des limites théoriques. Pour le massif de Făgăraş, il faut retenir les aspects suivants (Voiculescu, 2002) :

- la température joue sans doute un rôle très important dans la répartition et dans le développement de la limite supérieure de la forêt sur les deux macroversants du massif de Făgăraş ;
- le facteur hydrique ne joue pas de rôle déterminant ;
- la limite supérieure de la forêt présente des variations locales déterminées par les processus géomorphologiques, par les aspects topoclimatiques et par les activités anthropiques, surtout pastorales.

Les premiers travaux sur les limites supérieures de la forêt et les modifications de ces limites proviennet de : 1) Voiculescu (2002) pour le massif de Făgăraş qui a utilisé les données climatiques et en a derivé quelques types de limites caractéristiques (orographiques, climatiques et anthropique) ; 2) de Török-Oance (2001) et Török-Oance et Török-Oance (2002-2003) qui ont utilisé pour la première fois les SIG et la télédétection pour le massif du Ţarcu (situé dans l'extrémité ouest des Carpates méridionales) et 3) de Török-Oance et Török-Oance (2005), pour les monts Retezat-Godeanu (situés dans la même partie des Carpates méridionales).

2. RÉGION D'ÉTUDE

Par sa position centrale en Roumanie, à l'intersection du parallèle de 45° 30' et du méridien de 24° 30', le massif de Făgăras, d'une superficie d'environ 1 500 km^2, est situé dans la moitié orientale des Carpates méridionales. Le massif a l'aspect d'une énorme crête orientée E-O, qui sépare deux grands macroversants : l'ubac et l'adret. La structure orographique est complexe. De la crête principale se détachent alternativement des crêtes parallèles : vers le nord elles sont courtes, abruptes et inaccessibles tandis que vers le sud elles sont allongées et plus larges, ce que met en évidence une asymétrie prononcée du massif. Les crêtes du sud ont un profil longitudinal en paliers représentant le reliquat de pénéplaines et pédiplaines haussées tectoniquement : 1) le complexe supérieur de Borăscu avec deux niveaux (2 000 – 2 300 m et 1 900 – 2 100 m) ; 2) le complexe moyen de Râu Şes aussi avec deux niveaux (1 600 – 1 700 m et 1 400 – 1 500 m) et 3) le complexe inférieur de Gornovița (800 – 1 100 m). La présence de ces surfaces peu inclinées a rendu possible un fort développement de l'occupation pastorale sur le versant sud, avec l'existence de quelques chemins pastoraux qui montent tout au long des crêtes secondaires jusqu'à 2 000 m d'altitude. Le massif de Făgăraş cumule quelques records géomorphologiques des Carpates Roumaines : les plus hauts sommets, comme le Moldoveanu (2 544 m) et le Negoiu (2 537 m) et quatre autres sommets de plus de 2 500 m ; la plus longue crête, de presque 70 km de longueur, dont une section de 50 km constitue une crête alpine ; la plus grande dénivellation : 2 200 m entre le sommet de Moldoveanu et la vallée de l'Olt, les plus grandes valeurs d'énergie de relief et le plus vaste et complexe relief glaciaire relique (Badea *et al.*, 2001). La haute altitude du massif a determiné l'apparition des étages de végétation : l'étage des forêts de hêtres, l'étage des forêts de hêtres avec des conifères, l'étage des forêts d'épiceas et l'étage alpin, avec deux sous-étages, l'alpin inférieur et l'alpin supérieur. Par ses altitudes dominantes, sa massivité et ses crêtes aigües, par ses aspects glaciaires hérités et périglaciaires actuels, il justifie pleinement sa dénomination d'*Alpes de Transylvanie* (figure 1) (Voiculescu, 2000). L'étage alpin proprement dit occupe une superficie de 439 km^2 (149 km^2 sur ubac et 290 km^2 sur adret), tandis que l'étage forestier occupe 1 045 km^2 (Voiculescu, 2002).

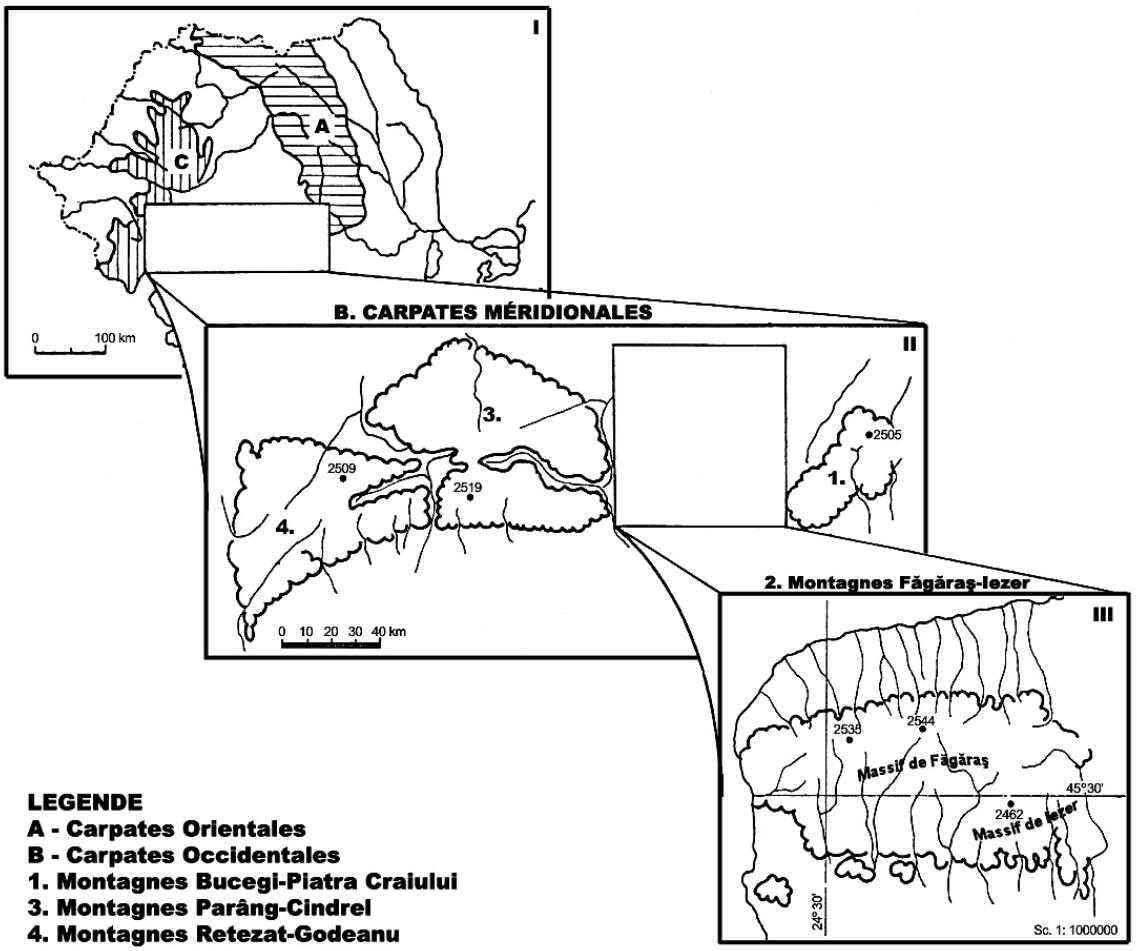


FIGURE 1 : Localisation du massif de Făgăraş. (Source : Voiculescu, 2000). *Geographical location of the Făgăraş Massif.*

3. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Pour comparer la situation réelle avec la situation théorique, nous avons réalisé, d'une part, une carte de l'extension actuelle de l'étage alpin et, d'autre part, un modèle numérique des températures moyennes multianuelles de l'air pour le massif de Făgăraş, qui ont constitué notre matériel d'étude et d'analyse.

Puis, nous avons orienté notre étude dans trois directions, qui constituent notre méthode d'analyse : l'utilisation des images satellitaires pour réaliser la carte actuelle de l'étage alpin du massif de Făgăraş, l'utilisation des SIG pour réaliser la carte théorique d'occurrence de l'étage alpin et, enfin, la recherche sur le terrain qui nous a facilité l'accumulation des données utilisées pour la sélection des régions-test et, en même temps, pour la vérification du processus de classification des images satellitaires. Nous avons utilisé les suivants programmes : IDRISI Kilimanjaro et ENVI 4.0.

3.1. Modèle numérique d'altitude

Nous avons utilisé un modèle numérique d'altitude (MNA) dans le processus de classification des images satellitaires pour éliminer l'effet topographique, la réalisation du modèle des températures moyennes multidates de l'air ainsi que la réalisation de modèles de déclivité et d'orientation de la pente et, bien entendu, la visualisation 3D des résultats.

Nous avons dérivé le MNA d'un fichier SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) à une résolution de 90 m. Nous avons réalisé les étapes suivantes : le géopositionnement du modèle dans le système de coordonnées UTM (zone 35 nord, ellipsoïde WGS84), le découpage de la région étudiée, la correction des erreurs d'altitude et la modification de la résolution du modèle, de 90 m à 30 m pour l'intégration dans le cadre des SIG des images satellitaires utilisées à la résolution de 30 m (figure 2).

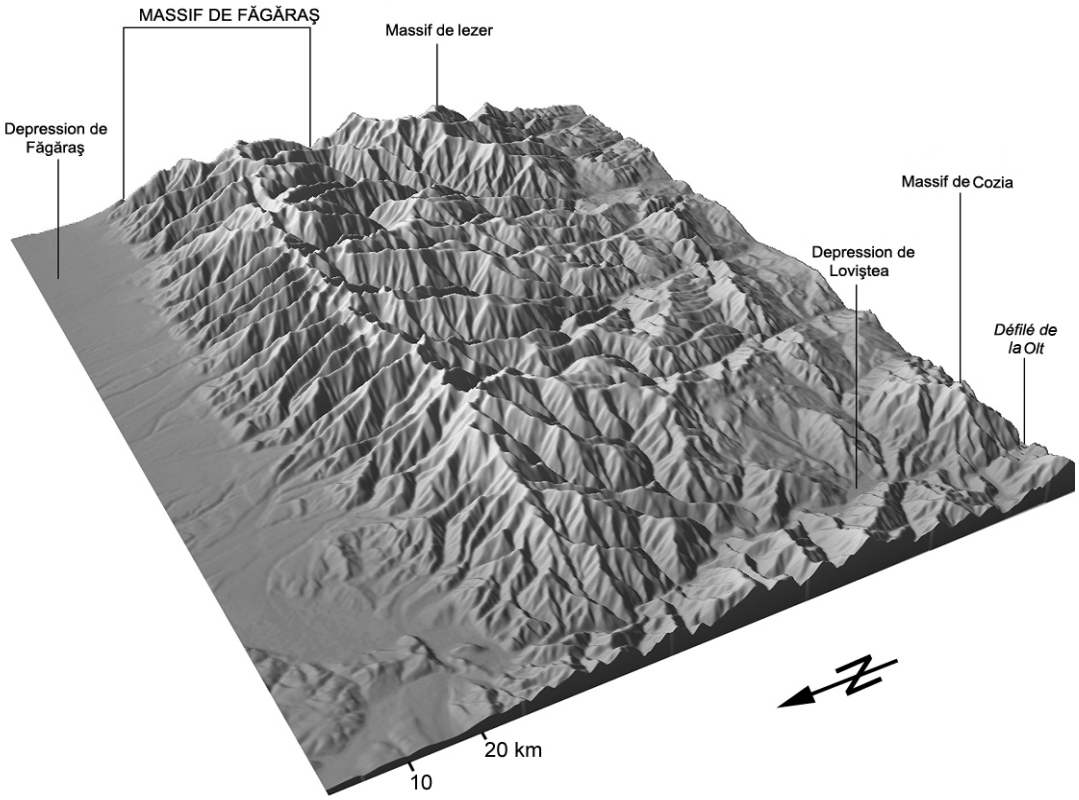


FIGURE 2 : Modèle numérique d'altitude 3D (résolution de 30 m) du massif de Făgăraş. *Digital terrain model (30 m resolution) in 3D of the Făgăraş Massif.*

3.2. Réalisation de la carte actuelle de l'étage alpin

L'utilisation des images satellitaires des différents capteurs Landsat pour obtenir les cartes de végétation et d'analyse des écosystèmes est déjà bien connue (Cohen and Goward, 2004). Pour réaliser la carte actuelle de l'étage alpin, nous avons utilisé les images de ETM+ (bandes 1, 2, 3, 4, 5, 7 et 8), acquises le 12 juin 2000, à la résolution de 30 m pour l'image multibandes et de 15 m pour l'image panchromatique. Des corrections atmosphériques ont été effectuées pour chacune des bandes.

3.2.1. Élimination de l'effet topographique

Dans les régions montagneuses à relief accidenté et très varié, comme c'est le cas du massif de Făgăraş, l'effet topographique est très fort et peut modifier les valeurs de la réflectance pour un même type de végétation (Price and Heywood, 1994). Nous avons donc éliminé cet effet. Parmi les nombreuses méthodes, à cause de son efficacité, nous avons choisi la méthode de modélisation de l'illumination en utilisant un MNA. Cette méthode repose sur les étapes suivantes (Eastman, 1999) :

- le calcul des valeurs moyennes de la réflectance pour chaque bande satellitaire utilisée ;
- la réalisation du modèle d'illumination naturelle à partir du MNA pour les mêmes valeurs d'azimut et d'altitude du Soleil au-dessus de l'horizon et le moment d'acquisition par le capteurs des images qui seront corrigées (azimut = 137,1989028 ; altitude du Soleil au-dessus de l'horizon = 61,8029487) ;
- le calcul des régressions linéaires entre le modèle d'illumination naturelle (facteur indépendant) et chaque bande (facteur dépendant) ;
- l'utilisation des coefficients de chaque équation de régression pour l'étalonnage de chaque bande et pour obtenir un modèle d'illumination induite par le terrain pour chaque bande.

Enfin, en faisant une soustraction du résultat antérieur de la bande originale et en additionnant la valeur moyenne à la bande respective, nous avons éliminé, dans les limites du possible, l'effet topographique.

3.2.2. Création des signatures spectrales et classification des images satellitaires

Pour le massif de Făgăraş, nous avons créé des signatures spectrales pour les deux sous-étages, l'alpin supérieur et l'alpin inférieur et, en même temps pour l'étage forestier. En tenant compte du fait que, lors de l'acquisition de l'image à la mi-juin, dans les hautes régions du massif, il y avait encore beaucoup de neige, nous avons aussi créé une signature spectrale de la neige (figure 3).

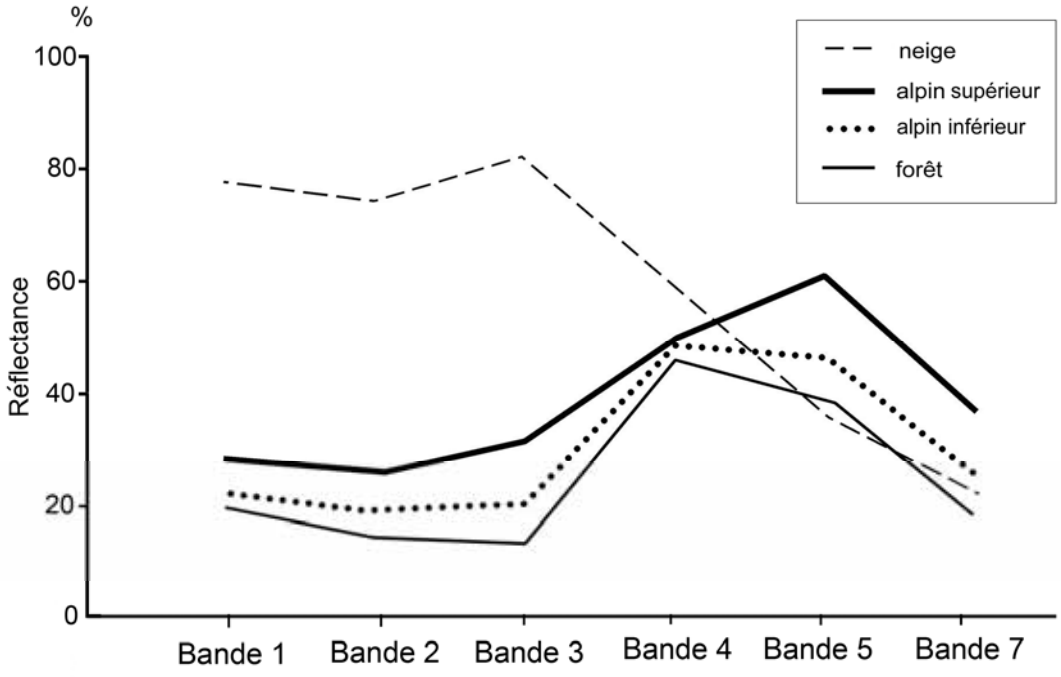


FIGURE 3 : Graphique de comparaison des signatures spectrales pour les catégories suivantes : neige, alpin supérieur, alpin inférieur et forêt. *Spectral signature comparison chart for the classes : snow, alpine, subalpine and forest.*

Dans ce contexte, nous avons utilisé comme échantillons de référence 35 sites connus. Pour faire la classification des images satellitaires, nous avons utilisé deux méthodes : la méthode du maximum de vraisemblance et la classification par la distance minimale au centre de la classe. Pour vérifier le résultat, nous avons utilisé 60 points disposés d'une manière régulière dans l'image. Pour chaque point, nous avons extrait la valeur obtenue à la suite de la classification et nous avons comparé avec la situation réelle sur le terrain. La méthode du maximum de vraisemblance a mis en évidence les meilleurs résultats car, pour 86 % des points, les valeurs sont réelles. L'explication pour les valeurs erronées réside au niveau de la similitude existant du point de vue spectral entre la végétation herbeuse de l'étage alpin et la végétation des clairières de l'intérieur des forêts ou des dépressions de Loviştea et de Făgăraş. D'autre part, l'explication est soutenue par le fait que, durant le mois de juin, les précipitations dans ces régions atteignent leur valeur maximale et la végétation herbeuse n'est pas sèche comme au cours des mois de juillet et d'août.

Parce que les régions où il y a des valeurs erronées ne constituent pas l'objet de notre étude, elles ont été éliminées du modèle final par la confection d'un masque. Nous avons unifié dans une seule classe les catégories de la neige et des deux sous-étages (alpin supérieur et alpin inférieur), en obtenant la carte actuelle du domaine alpin du massif de Făgăraş. Sa superficie totale couvre 506 km^2.

3.3. Délimitation de la région théorique d'occurrence du domaine alpin

La délimitation de la région théorique d'occurrence du domaine alpin a été réalisée à partir du modèle numérique de la température de l'air, duquel nous avons extrait par reclassification la région des températures inférieures ou égales à 3° C.

3.3.1. Réalisation du modèle de la température moyenne annuelle de l'air

Pour la construction du modèle de la température moyenne multidate de l'air, nous avons utilisé la relation entre l'altitude et la température. Ainsi, nous avons calculé la régression linéaire entre la température moyenne annuelle de l'air, enregistrée aux neuf stations météorologiques des Carpates méridionales, situées entre 850 et 2 505 m, pour l'intervalle 1975-2003 et leurs altitudes, en obtenant l'équation suivante :

Température = (-0,005527 × altitude) + 11,721105

La valeur du coefficient de corrélation de -0,98 met en évidence la relation étroite entre les deux paramètres et le fait que la relation température-altitude est presque linéaire (figure 4).

Parce que les Carpates méridionales sont étendues en longitude et étroites en latitude, et qu'elles présentent une orientation générale est-ouest, nous n'avons pas tenu compte de la latitude parce que les différences ne sont pas significatives, soit moins de

0,4 degrés. En utilisant les techniques de SIG, c'est-à-dire en réalisant les opérations mathématiques nécessaires à l'intégration des cartes et de l'équation où a été introduit comme variable d'altitude le MNA, nous avons obtenu le modèle numérique de la température de l'air.

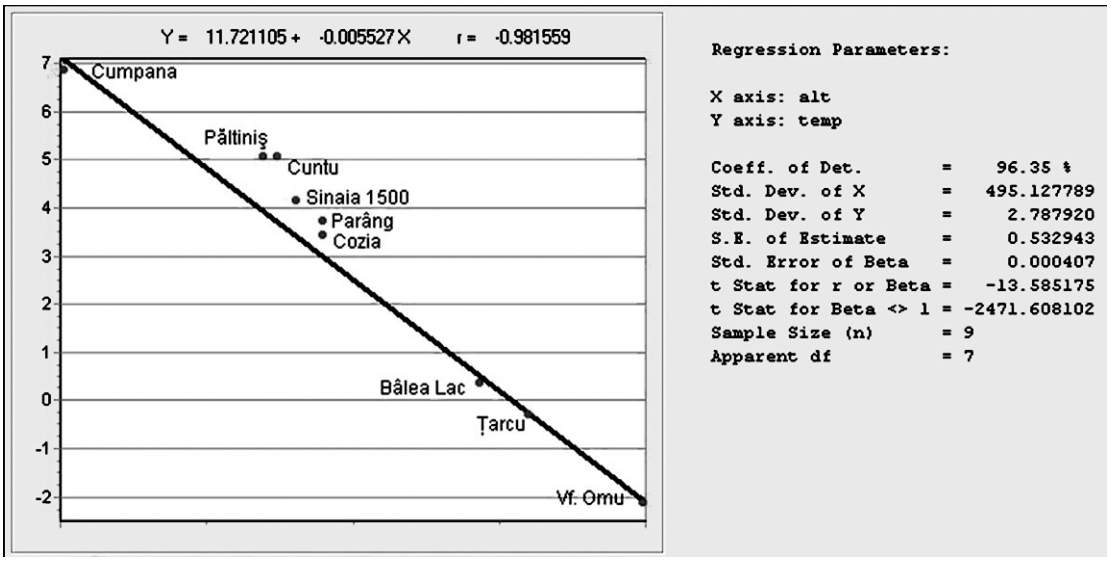


FIGURE 4 : Régresion linéaire entre la température moyenne annuelle de l'air et l'altitude des stations météorologiques des Carpates méridionales. *Linear regression between mean annual air temperature and altitude in the Southern Carpathians.*

3.3.2. Correction du modèle de température de l'air en tenant compte de la déclivité et de l'orientation de la pente

Bien que l'altitude modifie le régime thermique en fonction de la déclivité et de l'orientation de la pente, il y a des situations où les valeurs thermiques de l'air à la même altitude sont différentes. Le massif de Făgăraş présente deux macroversants (Voiculescu, 2000) : un versant nord ombragé et un versant sud bien ensoleillé. C'est pourquoi le modèle numérique de température de l'air ne reflète pas en totalité la réalité, mais seulement la dépendance entre la température et l'altitude. Donc, il est nécessaire de faire la correction en tenant compte de la déclivité et de l'orientation de la pente. Le nombre très réduit de stations météorologiques pour la grande surface des Carpates méridionales (15 000 km^2 environ) ne nous a pas permis de calculer des équations de régression pour chaque type d'orientation. Pour cette raison, pour réaliser les corrections, nous avons tenu compte des données expérimentales utilisées en écopédologie (Florea et Bălăceanu, 1987). Les données ont été obtenues à la suite des observations agrométéorologiques (y compris la mesure de la température de l'air), effectuées dans l'intervalle 1974-1989, en plusieurs points d'observation. Les points d'observation ont été situés dans toutes les unités de relief de Roumanie (plaine, plateau, colline et montagne), dans les situations altitudinales les plus diverses en termes de pente et d'exposition, ce qui a permis l'obtention de coefficients de correction de la température de l'air pour sept catégories de pente (5,01°-8° ; 8,01°-11° ; 11,01°-14° ; 14,01°-19° ; 19,01°-26° ; 26,01°-45° ; >45°) et pour quatre catégories d'exposition (nord, sud, ouest et est). Le MNA nous a permis d'obtenir un modèle des pentes et des orientations, utilisé pour la réalisation des corrections (Török-Oance, 2001). Le modèle des pentes a été reclassifié conformément aux catégories de pente précisées antérieurement et nous avons ainsi réalisé la carte de l'exposition des surfaces pour quatre directions. Par l'opération d'interclassification, nous avons obtenu une carte avec toutes les combinaisons possibles de classes de pentes et expositions. Pour chaque aire, nous avons appliqué le coefficient de correction correspondant, en obtenant finalement le modèle de la température de l'air corrigé en fonction des pentes et des expositions. À partir du modèle de température corrigé, nous avons délimité les zones de températures inférieures ou égales à 3° C. Ce modèle représente la région théorique d'occurrence du domaine alpin (figure 5). La surface couvre 405 km^2, soit une superficie inférieure à 100 km^2 par rapport à la surface actuelle.

3.3.3. Comparaison du modèle théorique avec la situation réelle

En superposant les deux couches, on observe que tant sur l'ubac que sur l'adret, la limite inférieure actuelle du domaine alpin est plus basse que la limite théorique, représentée par l'isotherme de 3° C (figure 5).

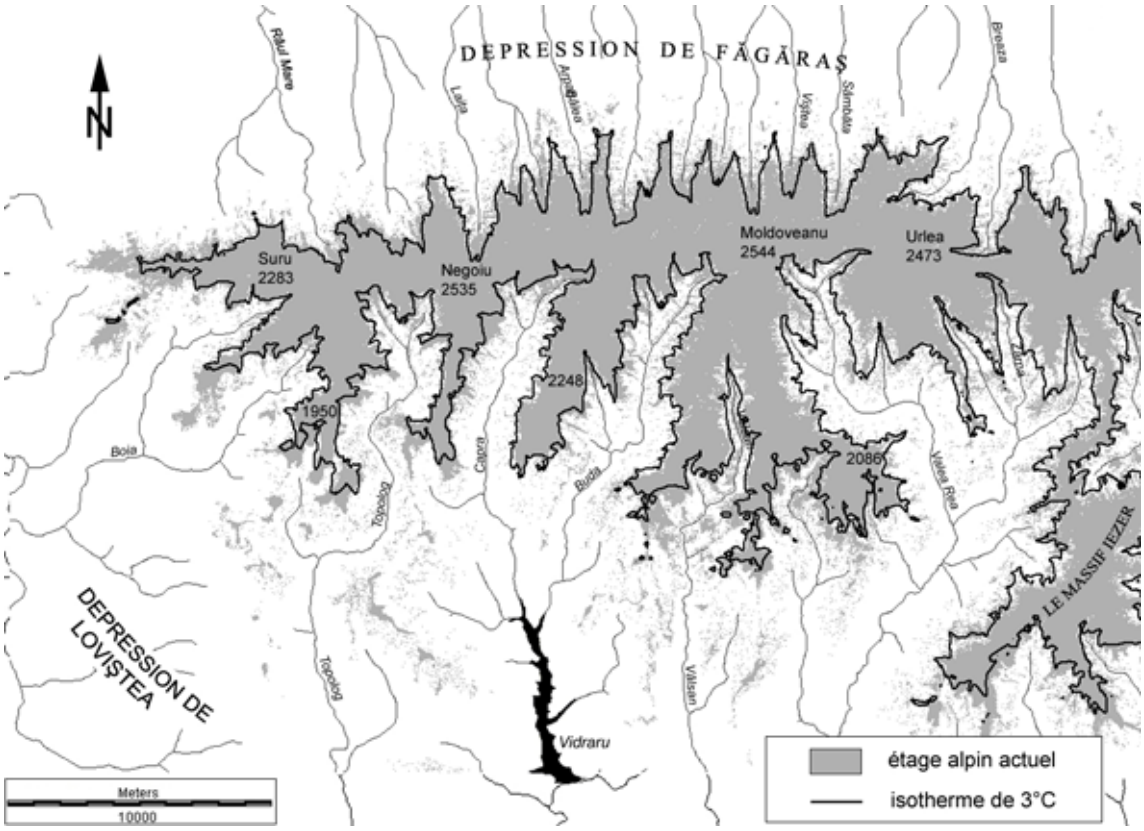


FIGURE 5 : Comparaison entre la surface actuelle occupée par l'étage alpin et celle du modèle climatique (isotherme de 3° C). *The difference between the present-day alpine level and the theoretical model (3° C isotherm).*

4. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

Notre premier résultat est représenté par la carte actuelle du domaine alpin pour le massif de Făgăraş (figure 5). Ce résultat nous permet de faire une évaluation plus exacte de l'extension en altitude mais également en superficie de cet espace très important des points de vue géomorphologique, biogéographique et même écologique. Le tourisme et les sports d'hiver ont connu au cours des dernières années une grande intensification dans le domaine alpin.

L'importance de cette carte est d'autant plus évidente que les cartes topographiques les plus récentes que nous utilisons pour diverses analyses remontent aux années 1970 et les dernières photographies aériennes datent des années 1980.

La réalisation du modèle théorique d'occurrence du domaine alpin met en évidence le rôle des facteurs géomorphologiques et anthropiques.

Nous avons constaté plusieurs fois sur le terrain l'absence de formations végétales typiques en passant de l'étage forestier à l'étage alpin. Par exemple, les buissons formés par *Pinus mugo*, *Juniperus communis, Rhododendron kotschyi, Alnus viridis* et *Vaccinium myrtillus* ont été détruits par les activités pastorales et remplacés par une végétation herbacée dominée par *Nardus stricta, Festuca ovina* ssp. *Sudetica* et *Juncus trifidus*. Nous avons constaté aussi l'absence de clairières en forêt, formées par des buissons et des individus isolés de *Picea abies* et *Pinus cembra*, le passage de la forêt au pâturage alpin se faisant brusquement. L'absence sur de vastes étendues de ces formations végétales, remarquée dès le début du XX^{e} siècle (Enculesco, 1924), fait que la limite climatique est un indice important qui suggère l'ancienne position de la limite naturelle entre les étages forestier et alpin.

La comparaison entre ces deux situations, réelle et théorique, auxquelles on a ajouté des vérifications sur le terrain, ont permis d'expliquer l'extension actuelle de l'étage alpin et de la position de la limite supérieure de la forêt.

Sur adret, la limite supérieure de la forêt varie entre 1 550 m dans les bassins hydrographiques de la Topolog et de la Boia et entre 1 950-2 000 m dans les bassins hydrographiques de la Zârna et de la Vâlsan. La plus grande différence altitudinale, soit entre 100 m et 400 m, correspondant aux deux limites se situe sur adret (figure 6).

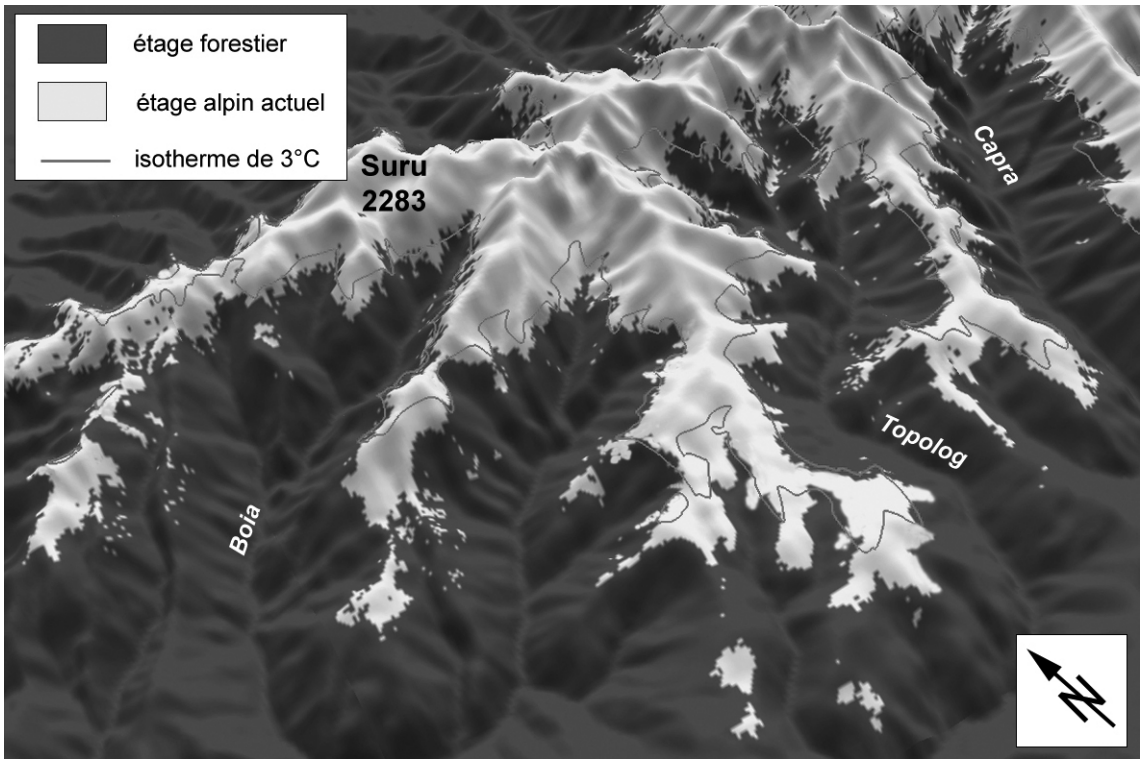


FIGURE 6 : Abaissement de la limite supérieure de la forêt sur l'adret du massif de Făgăraş à cause des activités anthropiques. *Lowering of the timberline on the southern macroslope of the Făgăraş Massif due to anthropic activities.*

Le fait s'explique par l'existence d'une forte activité pastorale pendant l'été, représentée par des pâturages très étendus développés dans le cadre des deux complexes sculpturaux de Borăscu et Râu Şes. La présence d'anciens alpages et la grande densité de bergeries, soit 4,7 bergeries / km^2 (Voiculescu, 2000), attestent de l'intensité et de la continuité de ces activités pastorales. La limite inférieure actuelle du domaine alpin est plus basse de 100 m par rapport à la limite théorique. De grandes différences ont été enregistrées dans les bassins hydrographiques de la Boia (400 m environ), de la Topolog et de la Vâlsan (entre 200-300 m). Dans la région d'origine des rivières Capra et Buda, on observe des couloirs d'avalanches qui pénètrent dans la forêt, la limite supérieure étant affectée par de nombreux processus géomorphologiques.

La limite supérieure de la forêt est plus basse sur ubac à cause des particularités topoclimatiques. Elle se maintient à l'altitude de 1 500 m dans les bassins hydrographiques de l'Avrig et de la Porumbacu et à l'altitude de 1 900 m dans les bassins hydrographiques de la Sâmbăta, de la Râu Mare et de l'Arpaş. L'ubac présente des particularités différentes : grandes déclivités, crêtes courtes et aigües, grandes surfaces rocheuses et surfaces de pâturages réduites. La basse altitude de la limite supérieure de la forêt est déterminée par l'orographie : il s'agit donc d'une limite géomorphologique (Voiculescu, 2002) (figure 7). Les processus de versant, les plus importants étant les avalanches, les chutes de pierres et l'érosion, jouent un rôle très important. La présence de couloirs d'avalanches, longs ou courts et parallèles, observés sur les images satellitaires (Török-Oance, 2005) représente une caractéristique très importante de l'ubac du massif de Făgăraş.

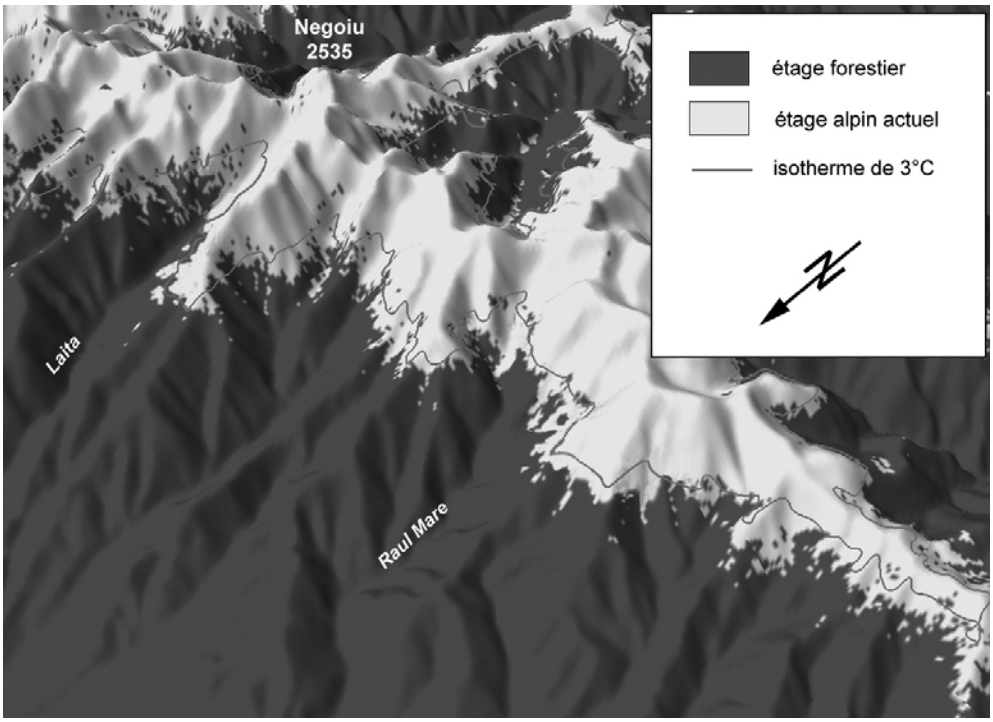


FIGURE 7 : Abaissement de la limite supérieure de la forêt sur l'ubac du massif de Făgăraş à cause de la morphométrie et des processus géomorphologiques actuels. *Lowering of the timberline on the northern macroslope of the Făgăraş Massif due to morphometry and present-day geomorphological processes.*

Les plus grandes différences, qui dépassent 200 m d'altitude entre la limite actuelle et la limite théorique de l'étage alpin, sont observées sur l'ubac à l'amont des vallées de la Râul Mare, de la Laița, de la Bâlea, de la Vişţea Mare et de l'Ucea Mare sur ubac (figure 7).

De grandes différences sont particulièrement observées dans les cirques et les vallées glaciaires à cause des effets cumulatifs de l'activité pastorale qui caractérise ces régions et de la grande déclivité qui accélère l'intensité des processus géomorphologiques (Voiculescu, 2002).

Sur adret, dans les bassins hydrographiques de la Dara, de la Zârna, de la Valea Rea et de la Brătila, on observe que la limite supérieure de la forêt se situe en plus haute altitude que l'isotherme de 3°C, l'étage alpin enregistrant une diminution en faveur du domaine forestier.

Ce fait n'a pas été expliqué et le manque de stations météorologiques dans ces régions permet seulement de faire des suppositions. Parce que ces situations sont caractéristiques de la partie est du massif, nous pouvons supposer qu'il y a un accroissement du degré de continentalité. En même temps, les conditions topoclimatiques spécifiques, l'orientation sud et la large ouverture vers le sud-ouest de la Valea Rea ainsi que les conditions d'abri créées par les monts Iezer (qui bloquent la circulation de l'est pendant l'hiver), situés au sud-est, représentent d'autres explications possibles.

Références

Badea, L., Niculescu, Gh., Roată, S., Buza, M. şi Sandu, M. (2001), Unităţile de relief ale României (vol. I). Carpaţii Meridionali şi Munţii Banatului. Edit. Ars Docendi, Bucureşti, 151 p.

Chiriţă, C. (1981) Pădurile României. Edit. Academiei, Bucureşti, 573 p.

Cohen, W. B. and Goward, S. N. (2004) Landsat's Role in Ecological Applications of Remote Sensing. Bioscience, vol. 54, n°6, p. 535-545.

Eastman, J. R. (1999) Guide to GIS and Image Processing. Clark University, Graduate School of Geography, Worcester (Massachusetts), 2 vol., 161 p.

Enculesco, P. (1924) Les zones de végétation ligneuse de Roumanie en rapport avec les conditions oro-hydrographiques, climatériques, de sol et de sous-sol. Memoriile Institutului Geologic al României, vol. 1, Cartea Românească, Bucureşti, 338 p.

Florea, N. şi Bălăceanu, V. (1987) Metodologia elaborării studiilor pedologice. Indicatorii ecopedologici. Academia de Ştiinţe Agricole şi Silvice, Bucureşti, 225 p.

Price, M. and Heywood, D. I. (1994) Mountain environments and GIS. Taylor & Francis, Londres, 309 p.

Török-Oance, M. (2001) Aplicaţii ale SIG în geomorfologie (I). Realizarea modelului digital de elevaţie şi calcularea unor elemente de morfometrie. Analele Universităţii de Vest din Timişoara, seria Geografie, vol. XI, p. 17-31.

Török-Oance, M. and Török-Oance, R. (2002-2003) Geographical Information Systems and Ecology. Case Study-Ţarcu Mountains (Southern Carpathians). Annals of the West University of Timişoara, Biology series, vol. V-VI, p. 177-188.

Török-Oance, M. (2005) Mapping the Snow-Avalanche Paths Using Remotely-Sensed Data. A Case Study in the Godeanu Mountains (Southern Carpathians, Romania). Annals of the West University of Timişoara, Geography series, vol. XIV, p. 187-193.

Török-Oance, R. and Török-Oance, M. (2005) The Analysis of the Human Pressure on Timberline in the Godeanu Massif (Southern Carpathians, Romania) Using GIS and Remote Sensing. P. 401-405, *in* Ionel, I. (réd., p.) Sustainability for Humanity & Environment in the Extended Connection Field Science-Economy-Policy. Edit. Politehnica, Timişoara, 445 p.

Voiculescu, M. (2000) Individualisation, humanisation et indices d'alpinité du Făgăraş (Carpates). P. 191-193 in Debarbieux, B. and Gillet, F. (réd.) Mountain regions : a research subject ? International Mountain Research Workshop, Autrans, June 2000, 234 p.

Voiculescu, M. (2002) Studiul potenţialului geoecologic al Masivului Făgăraş şi protecţia mediului înconjurător. Edit. Mirton, Timişoara, 373 p.

Walter, H. (1974) Vegetaţia Pământului în perspectivă ecologică. Edit. Ştiinţifică, Bucureşti, 236 p.