

L'APPORT DES DONNÉES SATELITAIRES DE JOUR A L'ÉTUDE DE L'ENVIRONNEMENT DU PLATEAU DE FĂLTICENI

Simona Niculescu

Mots clés : technique de cartographie thermographique quantitative, dynamique saisonnière et inter-annuelle des paysages du Plateau de Falticeni.

REZUMAT

Imaginile satelitare caracteristice lungimilor de unda din infraroșu termic se dovedesc a fi un instrument excelent pentru producerea, cuantificarea și spațializarea a două tipuri de informații geografice cu privire la mediul înconjurător propriu Podisului Falticeniilor. Este vorba despre distribuția spațială a temperaturilor radiative a « obiectelor geografice » la sol, sau altfel spus, de obținerea hărții « impulsului termal » a suprafeței podisului, în date diferite (18 august 1989 și 2 iunie 1997), precum și crearea unui material cartografic referitor la decupajul teritoriului podisului în câteva unități peisagere legate de ocuparea și utilizarea terenului acestuia. Observarea variațiilor termice radiative permite nu numai « izolarea », deci cartografierea unor anumite categorii de ocupare și utilizare a teritoriului, ci și abordarea și interpretarea lor într-o manieră diacronică.

Introduction

Il est connu que toute l'analyse d'images de télédétection oblige les utilisateurs à tenir compte de la complexité de l'environnement et des interrelations entre les composantes du milieu naturel et celles du milieu humain. Il n'est en effet pas possible d'effectuer une interprétation de l'environnement d'images spatiales sans tenir compte des rétroactions dynamiques entre le climat, les sols et la végétation, ainsi que de l'influence humaine sur le paysage. Tous ces aspects constituent le cœur de l'écologie des paysages à plusieurs échelles.

Notre application a été menée dans cet esprit-là, en mettant en évidence les relations spatiales dynamiques entre un paramètre climatique dérivé – la température radiative des objets géographiques au sol et quelques aspects de l'écologie des paysages, de l'occupation du sol¹ et ce l'utilisation du territoire² dans le Plateau de Falticeni à diverses échelles temporaires et spatiales (inadaptées ou adaptées à l'étude des paysages par l'agrégation spatiale). Le support informationnel de notre étude est

¹ L'équivalent anglais est *land cover*. Le levé de l'affectation (ou occupation) du sol fait partie des inventaires agricoles réalisés à diverses échelles (nationale, régionale et communale) et en divers degrés de détail – un levé de détail pouvant atteindre la précision taxinomique de l'espace cultivée. En effet, l'affectation ou occupation du terrain n'est pas synonyme de l'utilisation.

² L'équivalent anglais est *land use*. Ce terme exprime « la notion plus dynamique d'une séquence d'opération dans le cadre d'un usage ou d'une production déterminée ».

représenté par deux images LANDSAT TM5, prises du jour en deux époques saisonnières et historiques différentes, l'une du 18 août 1989 et l'autre du 2 juin 1997, sur la longueur d'onde caractéristique à l'infrarouge thermique ($\lambda = 10.4-12.5\mu$) du canal six à une résolution spatiale initiale de 120x120m.

Données, méthodologie et informations

Pour être en mesure d'interpréter de façon précise et quantitative les données satellitales acquises par la télédétection, y compris les données en infrarouge thermique, en tenant compte que l'atmosphère peut varier spatio-temporellement (en fonction des aérosols) et peut amener des différences dans le trajet effectué par le rayonnement solaire (notamment les vapeurs d'eau pour les ondes en l'infrarouge thermique), il faut faire subir aux images numériques des corrections radiométriques ou atmosphériques avant de les analyser. Ainsi, toutes les deux images ont été corrigées en terme de luminance vraie (L_v), autrement dit, on a transformé les données numériques des bandes Landsat TM5 (luminance vraie) en valeurs physiques significatives (températures d'émissions au sol, valeurs vraiment représentatives pour la surface terrestre) pour le canal six du TM thermique. On calcule la température radiative au sol selon un algorithme qui met en jeu la température de brillance obtenue par calibration du capteur du satellite TM5. Les équations de corrections atmosphériques (radiométriques) que nous avons utilisé sont les suivantes : $T = [K1/\log(K2/L_v)+1] - 273$, où K1 et K2 sont les constantes de calibration du capteur et elles représentent : K1 = 1260.56 et K2 = 60.776 et L_v se calcule à partir de la luminance apparente (L_a) selon la formule : $R = ax+b$, où $a = (L_{max} - L_{min})/Q_{calmax}$ et $b = L_{min}$, $a = 0.0056321$ et $b = 0.1238$ et $x = DN$ (digital number ou valeur relative de niveau de gris). La précision est de 1 degré centigrade. Une fois les corrections radiométriques appliquées, des programmes de rééchantillonnage appropriés aux types de données, nous permettent d'avoir une résolution spatiale comparable (30mx30m). En somme, la thermographie consiste dans l'enregistrement sur bande magnétique des niveaux d'intensité d'énergie émise par les corps. L'énergie émise peut être mesurée à l'aide de la luminance correspondante à l'émission d'énergie thermique (flux thermique) par le corps considéré, mettant en évidence, finalement « l'impulse » thermal de la surface terrestre ou tout simplement on met en évidence la distribution spatiale des températures radiatives des objets géographiques au sol au moment de l'acquisition des images, respectivement du 18 août 1989 et du 2 juin 1997. La suivante étape de traitement est purement visuelle et sert à faciliter l'interprétation des images. Ainsi, nous avons divisé les 256 niveaux radiométriques de chaque image en neuf classes ou neuf « plages » de températures radiatives au sol (23-25°C, 26-27°C, 28-29°C, 30-31°C, 32-33°C, 34-35°C, 36-37°C, 38-39°C, >40°C), qui finalement correspond à une classification par échelle de température radiative où chaque limite constitue en fait une isotherme.

Le choix d'un gradient nécessite un traitement statistique élémentaire, notamment la production d'un histogramme des fréquences obtenues pour un intervalle thermique donné (cf. les histogrammes). Il est possible ainsi de déterminer les valeurs les mieux représentées, celles qui risquent de constituer les zones homogènes les plus importantes.

La deuxième partie de notre démarche technique répond au besoin d'adaptation de l'échelle d'observation³ à l'étude des paysages par agrégation spatiale⁵, ce qui impose une analyse des discontinuités et/ou des continuités spatiales à partir de critère de distribution spatiale de ce paramètre dérivé du climat, la température radiative au sol. De la sorte, par ce traitement d'agrégation spatiale⁶ (cf. l'organigramme) on a regroupé, homogénéisé la première classification en deux grandes « plages » de températures radiatives (froid et chaud) afin de pouvoir raisonner finalement, en terme d'unités paysagères⁷ (donc on passe à un autre niveau d'approche, celui de « région/zone ») quant à quelques catégories d'occupation et d'utilisation du territoire caractéristique à ces deux étapes historiques mises en discussion. Ainsi, on détache ces températures caractéristiques aux zones humides et à la végétation ligneuse de 18-28°C et des températures caractéristiques aux terres labourables de 28-40°C, même plus de 40°C. Ceci nous a permis de choisir, selon la variabilité des températures de surface d'une région, l'échelle la plus adéquate pour chacune des régions étudiées.

Alors, par corrélations des paramètres physiographiques, agricoles et thermiques, il a été possible de préparer une esquisse de zonage différencié (cf. les images agrégées à l'échelle adaptée pour l'étude des paysages) qui correspond au découpage spatial en principales unités paysagères de l'utilisation du territoire caractéristiques à ces deux époques historiques différentes : unité paysagère céréalière, unité paysagère forestière ou de végétation ligneuse, unité paysagère minéral (bâtiment urbain), unité paysagère de terre labourable.

Suite à la mise en place de ces algorithmes (cf. l'organigramme) on a produit deux types d'informations géographiques, quantifiés et spatialisés quant à l'environnement de Plateau de Falticeni : la distribution spatiale des températures radiatives au sol ou la carte de « l'impulse » thermique du plateau concerné à deux dates différentes et le découpage spatiale du territoire du plateau en quelques unités paysagères liées à l'utilisation du territoire pendant le régime de l'influence communiste et celui post-communiste. Alors, les variations thermiques observées permettent non

³ Les échelles de temps et d'espace des phénomènes naturels sont reliées entre elles (J. Tricart, 1965).

⁴ Le paysage est défini comme unité d'observation terrestre.

⁵ En télédétection, suite à une segmentation on obtient des zones ou un objet géographique a les probabilités de même conditions d'existence, donc de même signal par hypothèse. Il s'agit de l'adaptation de l'échelle à l'analyse des paysages par agrégation spatiale, par calcul des moyennes et de variance avec une fenêtre de balayage de 5x5 pixels ayant au centre la valeur 7. Ainsi, on obtient des zones homogènes (du point de vue de la température radiative), températures caractéristiques aux différents types de paysages, en effet aux différents types d'utilisation du territoire.

⁶ Par agrégation de l'information géographique. Cette notion est encore connue sous le nom de zonage qui se définit comme le partage d'un territoire en portion de structure uniforme, selon divers critères ou bien sous la dénomination de segmentation en ensembles de « n » éléments/objets qui ont des conditions d'existence plus au moins similaires et de relations spatiales spécifiques.

⁷ L'état et l'évolution des paysages sont directement liés à l'état et l'évolution de certains secteurs économiques ; il s'agit d'une « production passive » du paysage.

seulement d'isoler certains types d'utilisation du territoire mais également d'en approcher leur dynamique.

Interprétation des résultats

En somme, l'information apportée par la télédétection dans l'infrarouge thermique, la température de surface, résulte de l'équilibre des échanges d'énergies (bilan radiatif, flux de chaleur dans l'air et le sol, évapotranspiration) au niveau de sol et du couvert végétal. Elle dépend à la fois des caractéristiques thermiques et de l'état hygroscopique du sol ou du couvert végétal et de facteurs météorologiques, tels que la vitesse du vent, la température et l'humidité de l'air au moment de l'acquisition de l'image.

La télédétection multispectrale à des dates et échelles variées permet de cartographier les paramètres les plus susceptibles d'être liés à la thermographie. L'apport essentiel de la cartographie thermographique quantitative est représenté, sans doute, par le fait qu'elle permet d'analyser de façon plus complète la signification des températures de surface par rapport à celle de l'air afin de permettre une meilleure extrapolation entre les données des stations météorologiques du plateau (Suceava, Falticeni, Dolhasca, Pascani, Roman), même s'il s'agit que de la cartographie des températures radiatives des objets au sol de moment, en effet du moment de prise de l'image. Cependant, l'information recueillie par satellite n'est pas de la même nature que celle des stations météorologiques. De fait, les données provenant d'un capteur en infrarouge thermique renferment une information relative aux propriétés thermiques de la surface mesurée complétée aux caractéristiques de l'atmosphère au-dessus de lieu. Cette information est donc plus représentative du climat au voisinage du sol et sa variabilité est accrue comparée à celle sur la température de l'air.

Dans cette situation, l'accent de l'étude est mis sur la délimitation spatiale des phénomènes micro-climatiques par l'utilisation des données en infrarouge thermique. Il est important de comprendre les relations qui existent entre l'information sur les microclimats, le relief et le type de couverture au sol qui conditionnent la valeur de la température de surface. Les premières observations permettent d'établir un lien étroit entre les signatures thermiques de terrain et la topographie, l'occupation du sol (le périmètre aquatique, forestier et urbain-« îlots de chaleur urbains », Escourrou, 1994) et l'utilisation du territoire (d'habitation en agriculture). De façon générale, les variations des températures apparentes entre le plateau proprement dit et la dépression de Liteni ou bien le couloir de Siret et de Moldova ne sont pas très marquées. Ceci nous laisse croire que les variations engendrées par le relief sont des phénomènes très localisés et presque imperceptibles à l'écart altitudinale propre au plateau concerné (350-400m). Elles dépendent de l'environnement naturel immédiat, tout comme le cas de la colline de Mihoveni (altitude absolue de 496m), bien boisée qui est toujours plus « froide » (23-25°C pour la date du 18 août 1989 et 18-20°C pour le 2 juin 1997) par rapport à la colline de Teisoara (altitude absolue de 527,9m), cultivée et « chaude » (35-39°C le 18 août 1989 et 34-36°C le 2 juin 1997). Donc, les cartes issues de cette étude font ressortir les variations de températures de surface en fonction des éléments de l'occupation du sol qui en générale mettent en évidence des topo-climats, comme le topo-climat des lacs, des vallées et de leurs berges. Même dans le sein de ce topo-climat on remarque des

micro-climats, tout comme le cas du lac situé le plus proche des sources de Somuzul Mare, au nord (tout près de la localité de Pocoleni - Iazul Calugarului), des températures plus réduites (23-24°C le 18 août 1989 et 18-19°C le 2 juin 1997) par rapport aux températures des eaux des autres accumulations alimentées par la même rivière (25-26°C pour la première date et 24-25°C pour la deuxième date).

Ensuite, le topo-climat de forêt, de verger et leur environnement, il est caractéristique aussi à toutes les deux dates. On observe également les différences de températures entre ces deux dates (23-30°C le 18 août 1989 et 18-28°C le 2 juin 1997), différences considérées tout à fait normales, en connaissant la différence naturelle entre l'activité chlorophyllienne du mois de juin plus intense et celle du mois d'août moins intense et donc une quantité de l'eau plus importante dans les cellules des feuilles des arbres, au mois de juin. Un autre type d'information toujours sur la végétation ligneuse on l'obtient à partir des différences des températures entre les diverses espèces qui composent la forêt : les conifères (rarement rencontrées dans le plateau - quelques petits areas anthropiques sur la vallée du Somuzu Mic) sont plus « froides » que les feuillus et par conséquent on déduit leur localisation spatiale exacte, leur périmètre et bien sur leur dynamique, en matière de superficie au laps de temps étudié. A ce niveau-là, de l'estimation de superficie de déboisement ou de dessouchage au cas de vergers, on peut constater que selon la distribution spatiale des températures radiatives au sol des objets géographiques, la forêt de feuillus par ensemble du plateau n'a pas été vraiment « attaquée », après l'application de la loi 18/1991. Quand même, à partir des températures au sol, on signale des déboisements en petites areas dans la forêt de Lingurari (au nord-est du village de Probota), aussi dans la forêt de La Oades (au sud-est du village de Udesti) et de Cristesti-Homita. Le sens de l'exploitation est notamment celui de l'extérieur des massifs forestiers vers l'intérieur et liée à la « petite » exploitation (prélèvement du bois de chauffage), ayant en vue également que la population d'origine gitane n'est pas négligeable dans ces régions-là. C'est claire que l'exploitation irrationnelle de celle-ci s'est manifestée notamment dans les régions boisées en espèces de conifères, dans les Carpates, en tenant compte de la valeur de commercialisation de cette essence. Quant au dessouchage des vergers après la chute du communisme, en exploitant toujours ce type de données on a localisé le phénomène sur le versant droit de la vallée du Leucusesti (affluent de droite du Somuzu Mare) et sur le versant de gauche de la vallée de Vulturesti (affluent de gauche du Somuzu Mic). Dans tous les deux cas de figures, les raisons de dessouchages ne sont pas tout à fait claires.

Le type de topo-climat le plus important qui peut être observé sur ces cartes est le topo-climat de villes avec des microclimats des quartiers industriels de ces villes (Suceava, Falticeni, Pascani et Roman) et des quartiers verts. Ces « îlots de chaleurs » ont des contours bien précisés grâce à leurs températures radiatives de plus de 36°C en général et plus de 40°C pour les zones ou quartiers industriels. Du coup, on arrive à localiser avec précision les plateformes industriels des villes et même l'intensité de leur activité industrielle en contraste évident avec les quartiers « verts » et/ou avec d'accumulations d'agrément (comme dans la ville de Pascani, le lac d'agrément qui se trouve tout près de la gare). Est-il possible d'interpréter les températures plus importantes des quartiers industriels des villes du 18 août 1989 par rapport à celles du 2

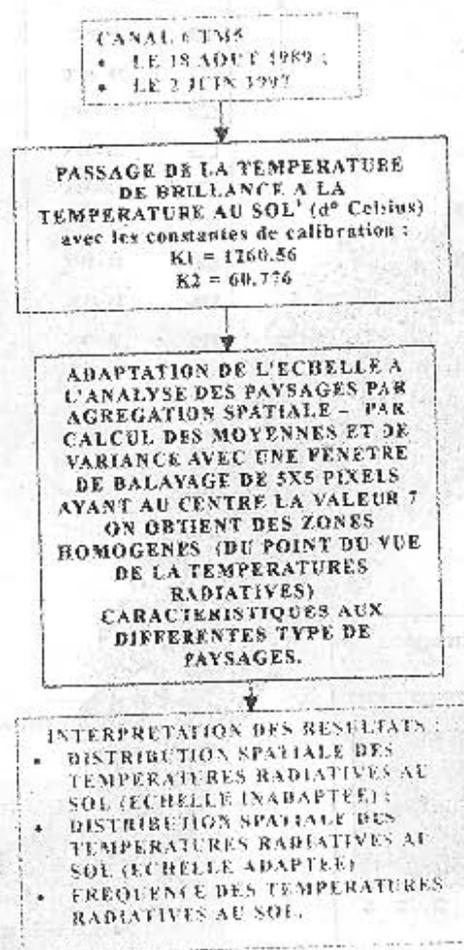
juin 1997, comme un indicateur de l'activité industrielle intense de la période d'avant la chute du communisme ? Certainement, qu'il faut prendre en calcul aussi les conditions saisonnières différentes qui déterminent la distribution spatiale des températures radiatives au milieu urbain. Même dans ce cadre général d'interprétation, les différences remarquées à ce niveau-là, restent toujours importantes et donc un bon indicateur de l'activité industrielle des plateformes industrielles des villes concernées.

Plusieurs classes de températures radiatives au sol sont en corrélation parfaite avec les structures agricoles et le mode de gestion des parcelles, donc avec l'utilisation du territoire. Plus une parcelle est végétalisée, moins elle accumule pendant le jour (pour des raisons d'évapotranspiration) d'énergie solaire. Les effets radiatifs variables des parcelles couvertes de céréales qui émettent un signal thermique plus chaud (dans tous les deux cas, $>38^{\circ}\text{C}$) que les parcelles en maïs ou en plantes fourragères avec un signal beaucoup plus froid (dans tous les deux cas $>31^{\circ}\text{C}$) permettent une localisation correcte de ce type de parcelles. En corroborant cette information avec le calendrier des cultures spécifique à ces dates différentes de l'année agricole, il est possible de discriminer et d'identifier le contenu sémantique/thématique d'une série des paysages agricoles du Plateau de Falticeni. Ainsi, en étudiant les variations thermiques on isole les parcelles cultivées en céréales-pailles et en même temps on approche leur dynamique au pas de temps étudié (août 1989 et juin 1997). Selon ce principe, on remarque un changement important quant à l'utilisation du territoire dans la région de la forêt de Unguri et Cozrăesti, plus précisément autour des localités, comme Stolniceni-Prăjescu, Brătești et Miroslavesti. La « barre froide » (d'après la carte des températures radiatives) de pommes de terres (d'après la carte d'utilisation du territoire du mois d'août 1989) est remplacée par une « barre chaude » de céréales pour la période d'après la chute du communisme. Par ensemble du plateau et à partir du découpage territorial en principales unités paysagères, on constate la régression de la superficie des terres labourables après la chute du communisme à la faveur de la végétation spontanée (surtout sur les principales vallées - avant elles étaient mieux prises en culture), des prairies et même des sols nus, non-cultivés, rarement au sud du plateau.

L'intérêt de l'étude

La télédétection satellitaire peut être un excellent outil pour étudier la variabilité spatiale des structures thermiques sur un plateau d'environ 2100km^2 , comme le Plateau de Falticeni. Le domaine de l'infrarouge thermique possède un potentiel considérable d'applications au niveau de la climatologie, notamment de la cartographie des microclimats, au niveau de l'agriculture (l'utilisation du territoire) et de l'influence humaine sur l'environnement (extension urbaine, industrialisation, pollution etc.). A côté de ces éléments abordés dans notre étude, on y mène également une réflexion diachronique sur quelques aspects de la dynamique saisonnière et inter-annuelle des paysages du Plateau de Falticeni à travers les données de l'infrarouge thermique.

DISTRIBUTION SPATIALE DES TEMPERATURES RADIATIVES DES OBJETS AU SOL A L'ECHELLE INADAPTEE ET ADAPTEE A L'ETUDE DES PAYSAGES (AGREGATION SPATIALE)



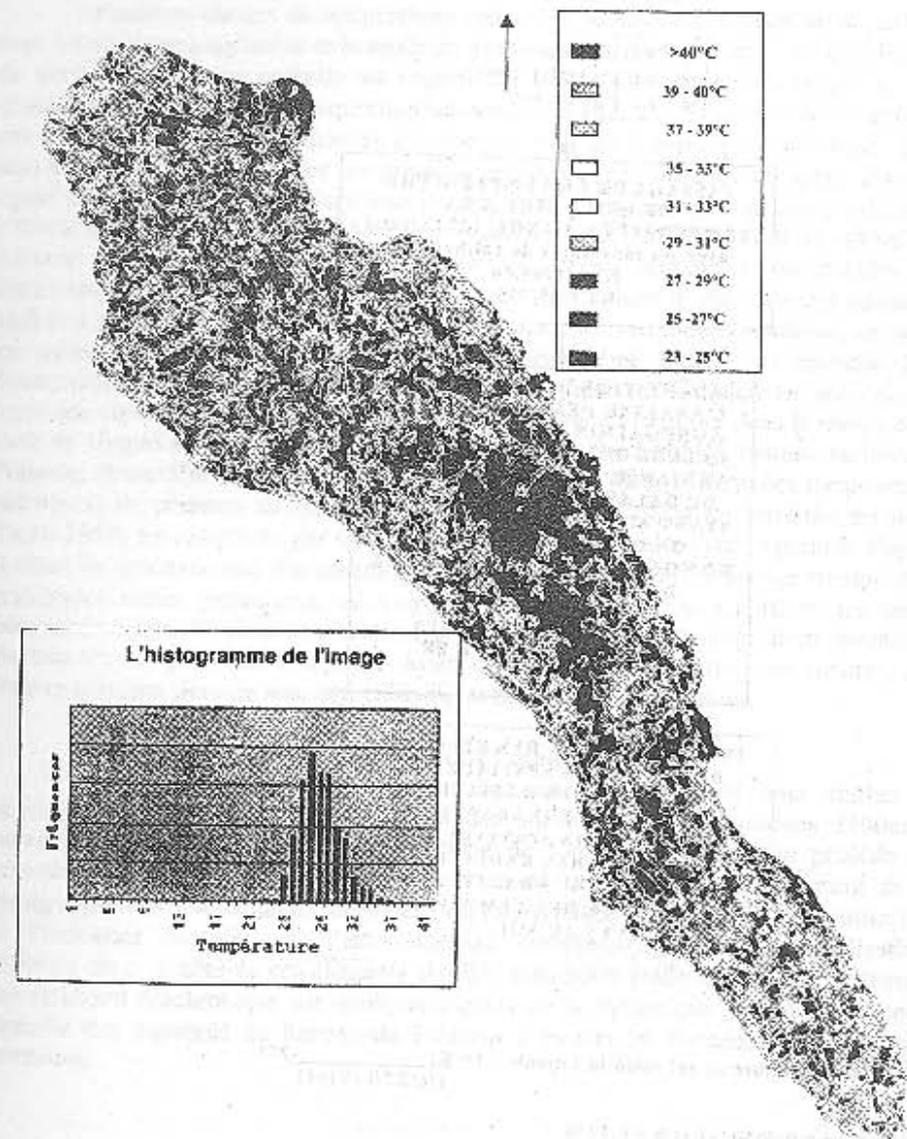
On calcule la température au sol selon la formule : $T = \frac{K1}{\log(K2/\beta \cdot (V+1))} - 273$,

ou $L(v) = ax + b$, $a = 0,0056321$ et $b = 0,1238$.

LE PLATEAU DE FALTICENI

DISTRIBUTION SPATIALE DES TEMPERATURES DES OBJETS AU SOL

AOÛT 1989

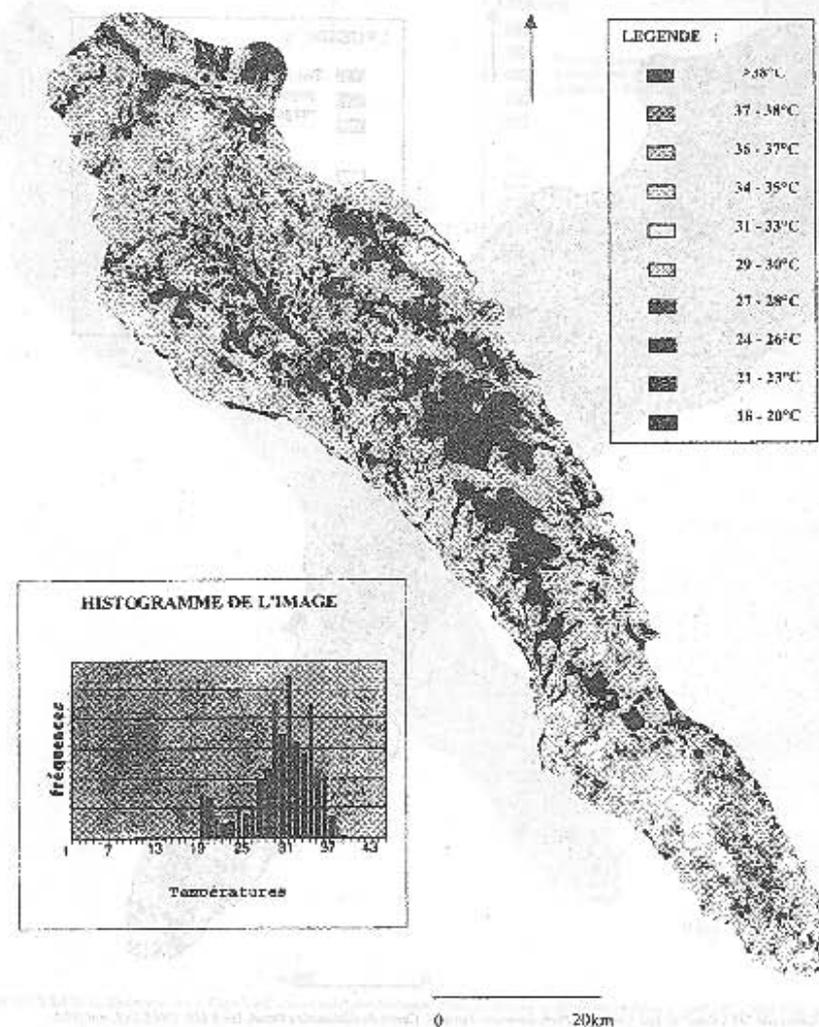


LE PLATEAU DE FALTICENI

LE PLATEAU DE FALTICENI

DISTRIBUTION SPATIALE DES TEMPERATURES DES OBJETS AU SOL

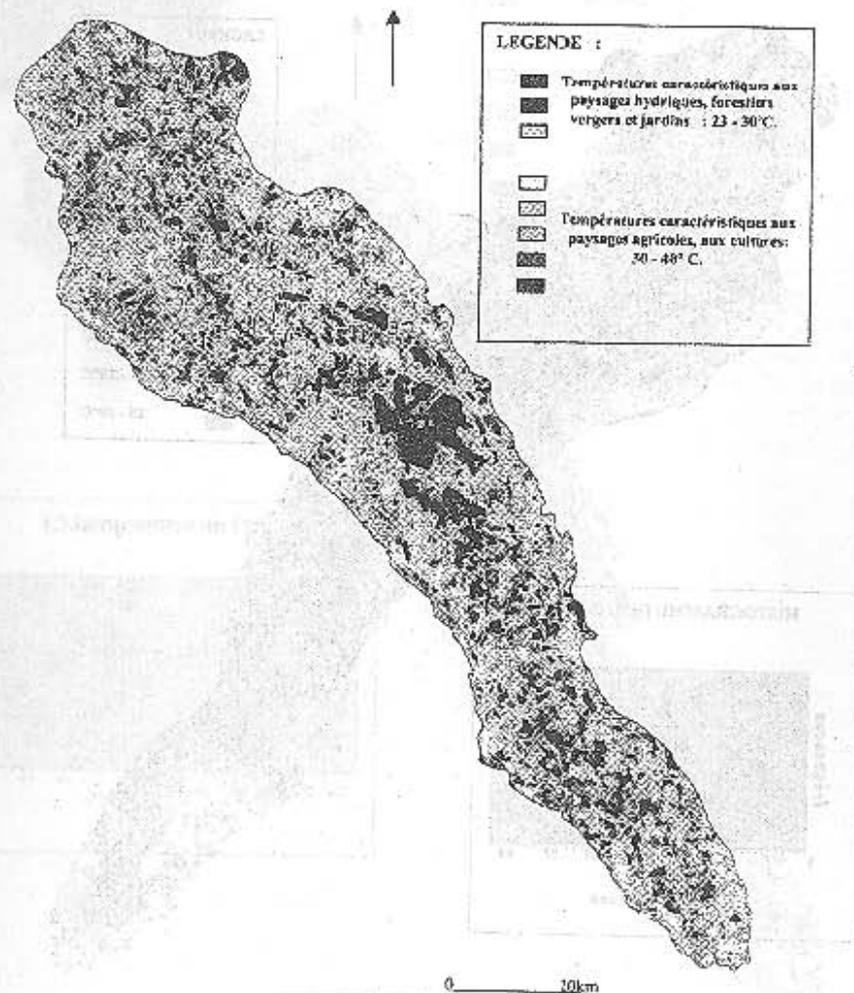
JUIN 1997



LE PLATEAU DE FALTICENI

DISTRIBUTION DES TEMPERATURES DES OBJETS AU SOL

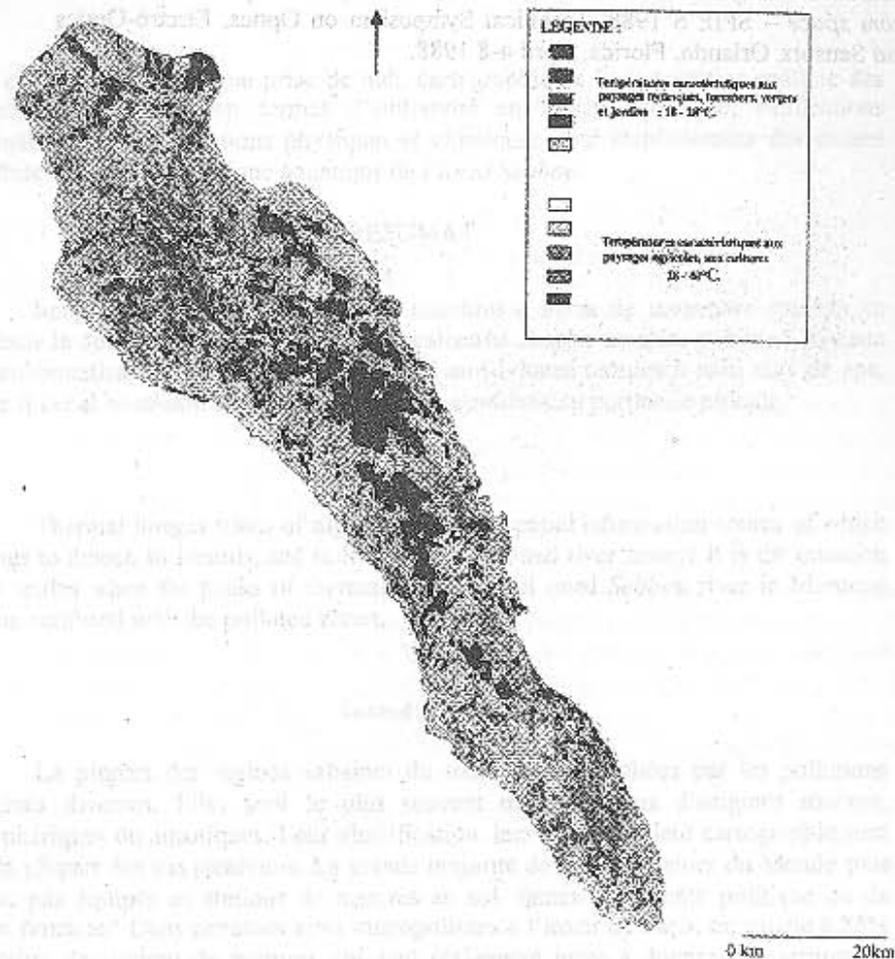
ECHELLE ADAPTEE A L'ANALYSE DES PAYSAGES
AGREGATION SPATIALE
LE 18 AOUT 1989



PLATEAU DE FALTICENI

DISTRIBUTION DES TEMPERATURES DES OBJETS AU SOL

ECHELLE ADAPTEE A L'ANALYSE DES PAYSAGES
AGREGATION SPATIALE
LE 2 JUIN 199



BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

1. Bonne, F., Brochu, R. et Lajeunesse, M. (1977) - *Téledétection des caractéristiques thermiques des surfaces végétalisées - essai de clef d'interprétation*, IVème Symposium canadien sur la Téledétection, Québec.
2. Gilg, J.-P. et Bildgen, P. (1992) - *Les signatures spectrales des objets, leur interprétation géochimique et leur contrôle en téledétection spatiale*, Stage de formation CNRS-CAMS, Paris.
3. Royer, A., O'Neill, N.T., Davis, A., Hubert, L. (1988) - *Comparison of Radiative Transfer models used to determine Atmospheric Optical Parameters from space* - SPIE'S 1988, Technical Symposium on Optics, Electro-Optics and Sensors, Orlando, Florida, April 4-8 1988.