

## SUIVI PAR TELEDETECTION DE LA SECHERESSE DE L'ANNEE 2000 DANS LA DEPRESSION DE TRANSYLVANIE

**I. H. HOLOBĂCA V. SOROCOVSCHI**

*Université Babeş-Bolyai., Faculté de Géographie  
5-7, rue Clinicilor, 3400 Cluj-Napoca, Roumanie  
[holobaca@geografie.ubbcluj.ro](mailto:holobaca@geografie.ubbcluj.ro), [svictor@geografie.ubbcluj.ro](mailto:svictor@geografie.ubbcluj.ro)*

**V. DUBREUIL**

*COSTEL (UMR 6554 CNRS, LETG) Université Rennes 2  
[Vincent.dubreuil@uhb.fr](mailto:Vincent.dubreuil@uhb.fr)*

### Résumé

L'est de l'Europe et surtout la Roumanie et la Bulgarie ont gravement subi les conséquences de la sécheresse en 2000. La façon dont cette sécheresse a été ressentie en Transylvanie a été analys e en utilisant un indice climatique calculé en prenant en considération le bilan de l'eau et l'indice de végétation **NDVI** (Normalized Difference Vegetation Index) dérivé à partir des images satellitaires (N O A A - A V H R R) . L'analyse comparative entre les deux indices nous a permis d'analyser les caractéristiques spatio-temporelles de la sécheresse à l'intérieur de la Chaîne des Carpates. Les deux méthodes déjà utilisées en France ont prouvé qu'elles sont applicables dans la Dépression de la Transylvanie, en offrant une perspective nouvelle pour le suivi des  pisodes secs.

### Abstract

The 2000 drought affected Eastern Europe, especially Romania and Bulgaria. The way that it was experienced in Transylvania was analyzed using two indices: a climatic index calculated with a water balance base and a satellite index called N D V I (Normalized Difference Vegetation Index). The satellite index is derived from the N O O A - A V H R satellite images. The comparative analysis between the two indices allowed us to investigate the space and time characteristics inside the Carpathian Arch. Both methods, used in France already, proved valid in the Transylvanian Depression offering a perspective for monitoring the drought cycles.

Mots-clés : sécheresse, NDVI, Bilan de l'eau, Transylvanie.

Keywords : drought, NDVI, water budget, Transylvanian Plateau.

### Introduction

La sécheresse estivale est une contrainte majeure en climatologie: en affectant les ressources en eau, elle constitue une contrainte pour la croissance du couvert végétal. Dans des régions où l'agriculture reste prédominante et fragile, elle peut avoir des répercussions sérieuses sur l'ensemble de l' conomie. Comme il s'agit d'un phénomène climatique touchant des espaces vastes (  la différence des inondations), le recours aux données de télédétection est particulièrement opportun, non seulement pour palier les insuffisances géographiques du réseau de mesures conventionnelles, mais également pour assurer un suivi temporel en continu. Ce travail propose d'utiliser les synthèses mensuelles des indices de végétation N O A A - A V H R R pour effectuer une étude de la sécheresse de l'année 2000 dans la dépression de Transylvanie (Roumanie) en confrontant les données satellitaires aux relevés ponctuels de bilan de l'eau.

## 1. Cadre d'études et méthodologie

La dépression de Transylvanie est située au centre du territoire de la Roumanie, à l'intérieur de l'arc des Carpates. Cette vaste région dépressionnaire (environ 26000 km<sup>2</sup>) a des traits climatiques distincts par rapport aux régions extracarpatiques. La dépression de Transylvanie s'inscrit dans le climat tempéré continental aux nuances océaniques. La température moyenne annuelle varie entre 7.5°C et 9°C. La circulation d'ouest et l'abri offert par la chaîne montagneuse qui borde la dépression à l'ouest permettent l'apparition d'effets de type foehn; la hausse des altitudes d'ouest en est, concourt à l'augmentation des quantités des précipitations dans la même direction (moins de 500 mm dans l'ouest, plus de 700 mm dans les hautes régions collinaires de l'est). Partout, le régime pluviométrique est marqué par un maximum estival et un minimum hivernal (figure 1). Les particularités physiques qui individualisent la dépression parmi les autres unités géographiques de la Roumanie sont: sa localisation à l'abri des Carpates Roumaines, le relief à prédominance collinaire, l'altitude moyenne de 650 m, la présence des larges vallées orientées est - ouest, l'utilisation du sol à prédominance agricole sur la plupart du territoire analysé (Holobaca et Croitoru, 2000).

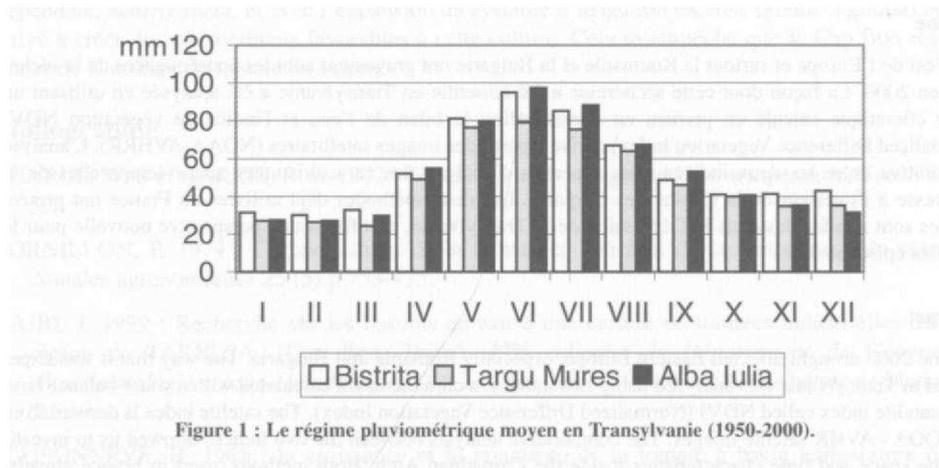


Figure 1 : Le régime pluviométrique moyen en Transylvanie (1950-2000).

Pour étudier la sécheresse de l'année 2000, le traitement statistique repose d'abord sur les données enregistrées dans 8 stations météorologiques, qui ont toutes les données climatiques nécessaire pour calculer l'ETP (Evapotranspiration Potentielle) avec la formule Penman: température, insolation, humidité relative, vitesse du vent (Brochet et Gerbier, 1975; Choisnel, 1992). Pour toutes les stations la réserve utile a été fixée à 100 millimètres et sa décroissance au cours de la période déficitaire est de type logarithmique pour le calcul de l'ETR (Evapotranspiration Réelle). Le bilan de l'eau permet de caractériser l'intensité climatique de la sécheresse de l'année 2000 par rapport aux années antérieures pour un nombre limité de stations: l'indice retenu est le déficit (ou déficience) d'évaporation défini par:  $DE = ETP - ETR$  (Dubreuil, 1994).

Afin de spatialiser de façon détaillée les régions touchées par la sécheresse en fonction de l'utilisation du sol et des paysages, on utilise les images fournies par les satellites N O A A (National Oceanic and Atmospheric Administration) dont la résolution spatiale est de 1,1 kilomètre. Les synthèses mensuelles du NDVI (Normalized Différence Végétation Index) par la méthode du "maximum value compositing" sont obtenues à partir des fichiers décennaires fournis par le SATMOS. Ce type de traitement permet de limiter les effets des variations spatio-temporelles des angles de visées et de la couverture nuageuse en ne retenant, pour chaque pixel, que la valeur maximale de l'indice de végétation observée sur la période (Dubreuil et Le Du, 1997). Les valeurs mensuelles des indices de végétation sont

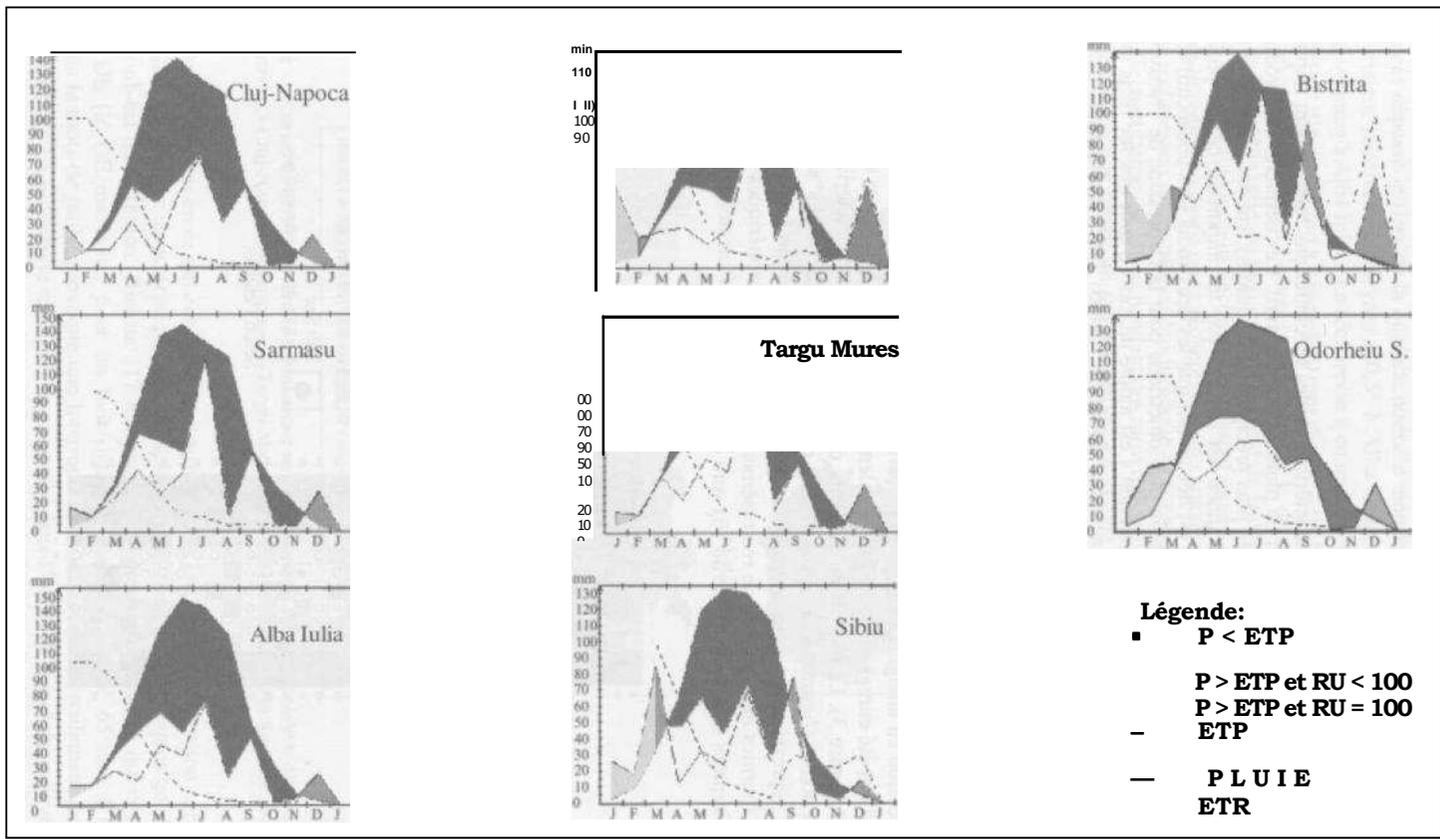


Figure 2 : Bilan de l'eau de l'année 2000.

ensuite confrontées aux données climatiques stationnelles: ETP, Déficit d'évaporation (Viau et al., 2000; Mac Vicar et Bierwirth, 2001).

## 2. Résultats

Le début de l'année 2000 a été caractérisé par des précipitations relativement importantes sous forme de neige en janvier et février et de pluie en mars et avril. Ces dernières ont produit des inondations au printemps (fonte des neiges plus précipitations liquides), sur les principaux bassins-versants de Transylvanie. Le reste de l'année est marqué par un important déficit pluviométrique. L'originalité de la sécheresse de 2000 est liée au fait que les deux mois secs consécutifs (mai et juin) correspondent normalement au maximum pluviométrique pour la Dépression de Transylvanie et à la pleine saison de végétation. A cette situation s'est ajouté un mois d'août très sec dans toutes les stations météorologiques, (comparable au mois d'août de l'année 1945) et les mois d'octobre et de novembre, avec des précipitations quasi - inexistantes. Le déficit en eau est tel que jusqu'à la fin de l'année aucune des huit stations analysées n'enregistre de reconstitution de la réserve utile du sol avant le début de l'année suivante (figure 2).

Les conditions locales déterminent le fait que la sécheresse est ressentie d'une manière différenciée dans la dépression. Dès le mois de mai 2000 les conditions climatiques sont favorables au déclenchement de la sécheresse. Le déficit d'évaporation dépasse 60 mm au nord-ouest, à l'ouest et au centre de la dépression en atteignant des valeurs élevées pour ce mois (plus de 80 mm à Cluj): ce sont des valeurs qui ont été enregistrées trois fois seulement, durant les 50 dernières années, en 1986, en 1990 et en 2000 (figure 3). La plupart du territoire de la dépression est caractérisé par des valeurs de DE entre 30 et 60mm (figure 4 a) au mois de mai, ce qui peut être qualifié de "subsec" (ER-30, 1981). A l'est de la dépression on enregistre une exception avec seulement un faible déficit lié aux précipitations plus fournies dans la zone de redressement des fronts atmosphériques sur les versants occidentaux des Carpates Orientales (Bistrita 161 mm de précipitations mensuelles).

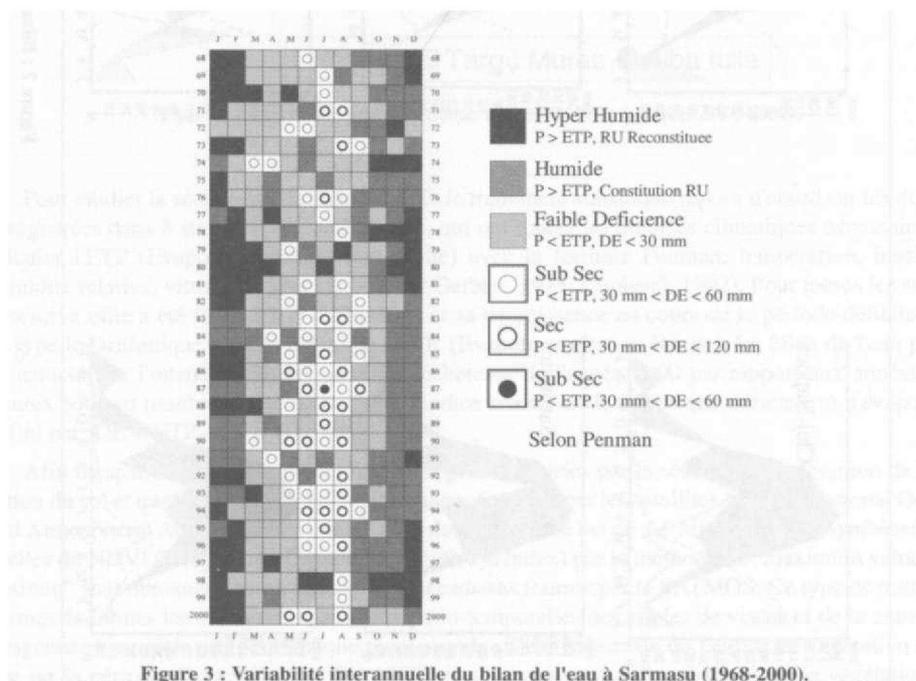
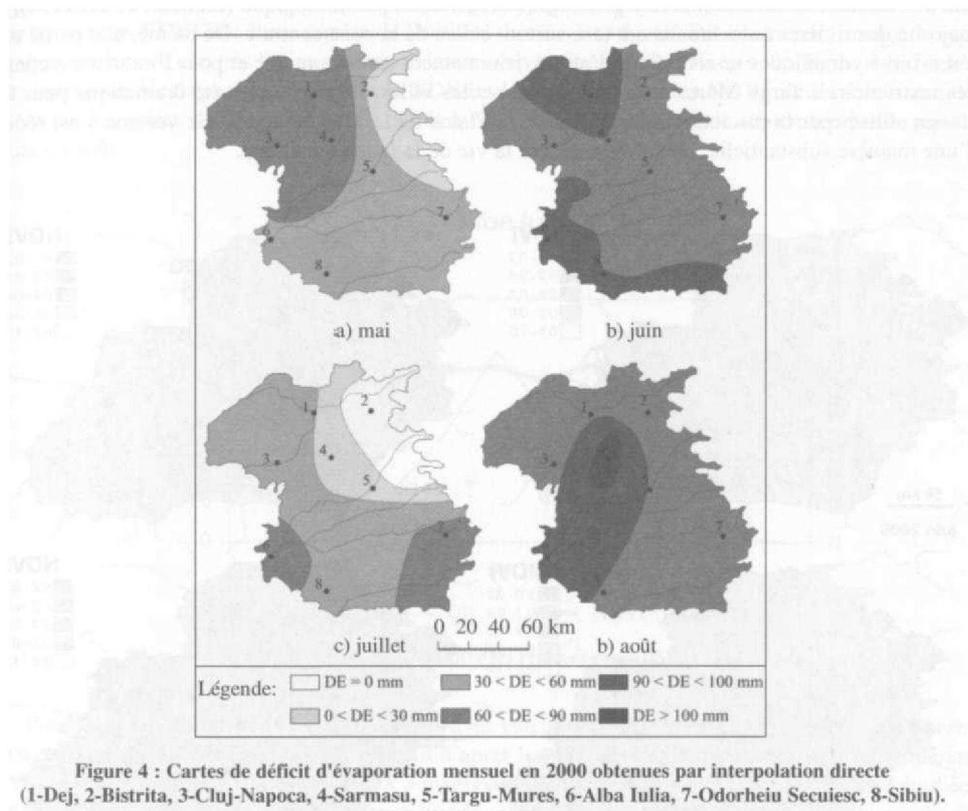


Figure 3 : Variabilité interannuelle du bilan de l'eau à Sarmasu (1968-2000).

Le mois de juin apparaît comme un mois de sécheresse dans toute la Transylvanie, les précipitations n'ayant pas dépassé le tiers de la quantité normale mensuelle (seulement 26 mm à Dej) et les températures étaient relativement élevées (20,5° à Alba-Iulia), l'insolation atteignant des valeurs record (337 h, toujours à Alba-Iulia). La sécheresse a eu un caractère excessif dans les extrémités nord et sud, où le déficit d'évaporation a dépassé 90 mm (figure 4 b). Les valeurs du déficit restent élevées, dépassant le niveau de 80 mm à l'ouest et au centre de la dépression de la Transylvanie, ainsi une bonne partie de la réserve utile est déjà épuisée. A l'est de la dépression on enregistre les plus basses valeurs de DE (62 mm à Odorheiu Secuiesc), dépassant quand même le seuil de 60 mm. A l'exception de l'est de la région analysée où la sécheresse a un caractère modéré, toute la dépression connaît deux mois de sécheresse consécutifs ce qui implique la consommation presque totale de la réserve utile du sol. L'accumulation du déficit pendant des mois qui sont d'habitude les plus humides sur une période pendant laquelle le besoin en eau des plantes est grande a comme conséquence l'aggravation des effets de la sécheresse sur le plan agricole.



Des grandes différences en ce qui concerne la distribution du DE dans la dépression apparaissent au mois de juillet. Ce mois se caractérise par des précipitations un peu plus abondantes qui dépassent 100 mm au nord-est de la région (Bistrita 117 mm précipitations mensuelles), ce qui conduit à la réduction du DE (le DE maximum pour les huit stations examinées est de 65 mm à Odorheiu Secuiesc). Mais le mois de juillet provoque une interruption de la sécheresse seulement au nord-est (DE 0 mm à Bistrita). La sécheresse continue en revanche dans l'ouest et le sud de la Transylvanie (figure 4 c), régions qui se trouvent sous le vent dominant. Ces régions ont un caractère "subsec" ou

même "sec" au sud-est et au sud-ouest de la zone dépressionnaire (DE 65 mm à Odorheiu Secuiesc, 64 mm à Alba Iulia figure 3 c). On a donc en juillet 2000 un gradient important dans la distribution du déficit entre les extrémités nord-est et sud-est de la dépression.

Le mois d'août apporte des nuances d'aridité dans la Dépression de la Transylvanie. Ce fut un mois très chaud, les températures moyennes dépassant de 3 à 4° les températures normales (22,7 °C à Alba-Iulia). Les précipitations ont été déficitaires, d'environ 25 % par rapport aux quantités normales pour ce mois et l'insolation totalise plus de 300 h pour les 8 stations analysées. On enregistre donc de fortes valeurs de l'ETP Penman et le déficit d'évaporation monte à des valeurs élevées (107 mm à Sarmasu). Les conditions thermo-pluviométriques du mois d'août 2000 sont assez exceptionnelles, des situations identiques ne sont apparues que deux fois pendant les 50 dernières années (1 986 et 1994, figure 3). Le déficit d'évaporation dépasse 100 mm au centre de la Transylvanie et 90 mm à l'ouest (figure 4 d). Même dans la zone marginale de l'est de la dépression, le déficit dépasse 80 mm. La consommation de la réserve d'eau du sol et même des ressources souterraines ont contribué à l'installation de la sécheresse pédologique mais aussi potamologique (Lambert et al., 1990), la majorité des rivières autochtones ont tari, surtout celles de la zone centrale. De même, une partie des réservoirs hydrauliques se sont vidés, l'approvisionnement en eau potable et pour l'industrie a connu des restrictions à Targu Mures et dans d'autres petites villes. La situation a été dramatique pour les étangs utilisés par la pisciculture du centre de la Plaine de la Transylvanie: leur volume s'est réduit d'une manière substantielle, mettant en danger la vie de la faune aquatique.

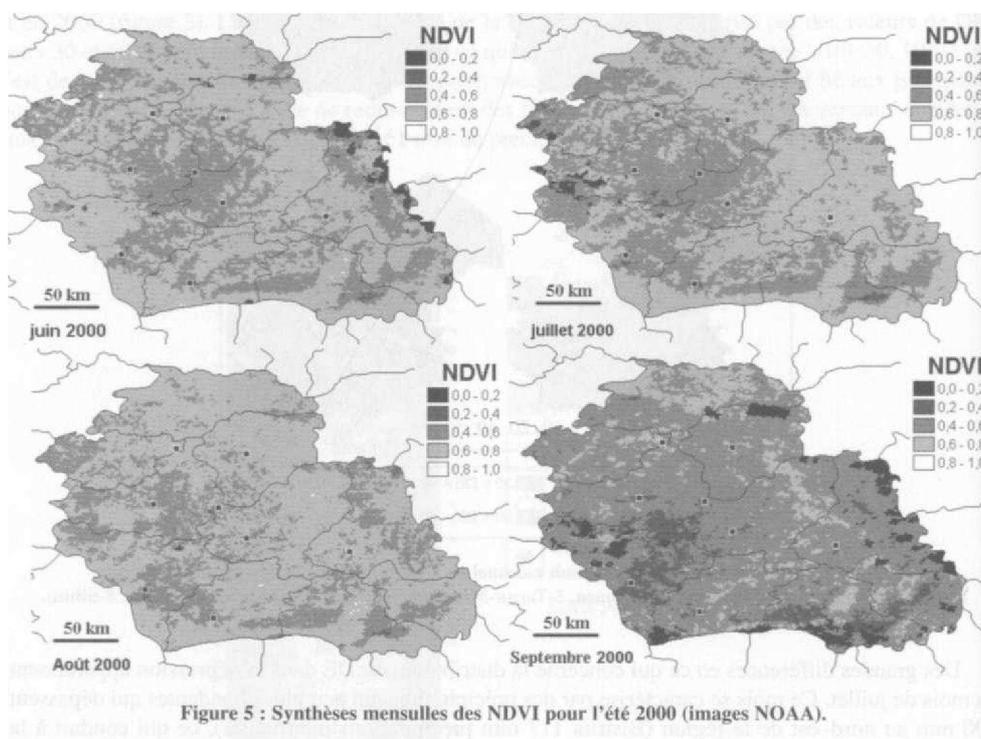
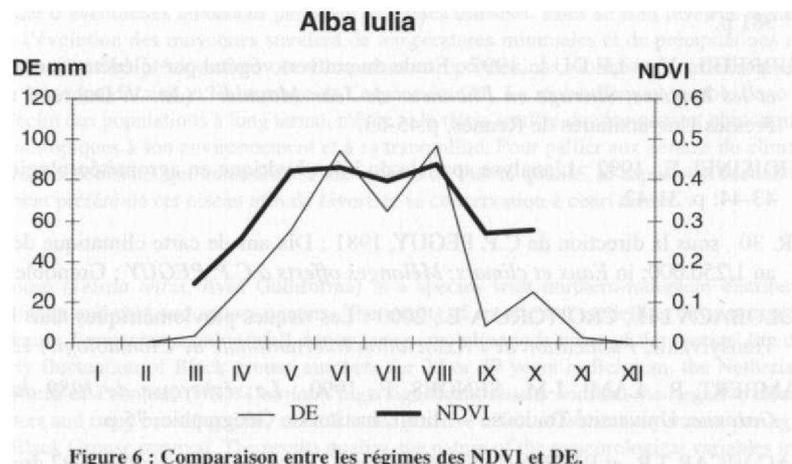


Figure 5 : Synthèses mensuelles des NDVI pour l'été 2000 (images NOAA).

L'automne de l'année 2000 a aussi été sec. Après le mois de septembre pendant lequel les précipitations ont été excédentaires deux mois se sont succédés avec des précipitations réduites (Cluj-Napoca 5 mm en deux mois). Le mois d'octobre de l'année 2000 détient le record pour les

50 dernières années en ce qui concerne le déficit d'évaporation (plus de 30 mm à Cluj et Odorheiu Secuiesc). La sécheresse d'automne n'a pas permis la reconstitution de la réserve en eau du sol et les conséquences se sont aggravées, surtout en ce qui concerne la sécheresse hydraulique. Au total, les précipitations relativement abondantes des mois de juillet et de septembre intercalées entre les périodes sèches n'ont pas été suffisantes et en janvier 2001 la réserve utile n'était que de 95 mm à Bistrita et seulement 19 mm à Alba Iulia.

En comparant les images satellites avec les cartes de déficit d'évaporation mensuel on observe que l'image du juin 2000 montre une bonne correspondance entre les valeurs du déficit mensuel d'évaporation et celle du NDVI. Les régions de l'ouest et du sud de la Transylvanie, dont le couvert végétal est moins dense (sombre sur l'image de la figure n° 5) sont également celles qui connaissent un important déficit hydrique. En juillet la reprise des précipitations n'entraîne pas l'augmentation de valeurs du NDVI, on a même des valeurs plus faibles au sud et au centre. En revanche, l'image d'août semble montrer des indices de végétation plus forts (clairs sur l'image de la figure n° 5) qu'un mois plus tôt, dépassant le seuil de 0,5, alors que c'est en août qu'il a plu le moins. Les pluies du juillet ont entraîné une hausse des NDVI liée à une reprise de l'activité du couvert végétal. Par contre sur l'image de septembre on observe une très bonne correspondance avec la situation du DE en août (figure 4d). En fait on observe un décalage d'un mois entre le NDVI et le déficit en eau: les NDVI élevés d'août s'expliquent par les pluies de juillet (tombées plutôt à l'est); les faibles NDVI de septembre par le peu de pluie en août.



Pour pouvoir comparer de manière objective les valeurs climatiques avec les données satellitaires on a calculé un NDVI moyen mensuel extrait d'après les synthèses mensuelles NDVI en considérant la valeur moyenne pour une fenêtre de 3 X 3 pixels centrée sur chaque station météorologique étudiée. On peut ainsi observer l'apparition du stress hydrique, mis en évidence par l'inflexion de la courbe de variation du NDVI (ex. Alba Iulia figure 6). Cette inflexion apparaît comme la répercussion de la réduction des valeurs du NDVI à la suite de la sécheresse. On observe, en utilisant des données mensuelles, que les valeurs climatiques et satellitaires n'évoluent pas de façon synchrone: il existe un décalage d'un mois entre les valeurs minimales de NDVI et les valeurs maximales de DE, qui confirme la comparaison visuelle entre les images satellites avec les cartes de déficit d'évaporation mensuel. Ce décalage est lié à la réponse progressive de la végétation aux précipitations et à la méthode utilisée (maximum value).

## Conclusion

La sécheresse de l'année 2000 a été l'une des plus intenses du X X<sup>e</sup> siècle en Transylvanie. Le déficit en eau est arrivé durant la période où habituellement les précipitations sont maximales: le mois d'août caniculaire et la fin de l'automne pratiquement sans précipitations ont eu comme conséquence l'impossibilité de reconstituer la réserve en eau du sol à la fin de l'année. L'utilisation des images satellitaires NOAA-AVHRR a permis l'identification détaillée des régions atteintes par la sécheresse. En utilisant d'une manière combinée les méthodes satellitaires et climatique on peut affirmer que les régions les plus affectées par la sécheresse ont été celles de l'ouest, du centre et du sud de la Transylvanie, situées sous l'abri des Carpates. Les deux méthodes ont prouvé leur applicabilité dans les conditions de la Dépression de la Transylvanie. L'utilisation des valeurs ponctuelles de NDVI comme indicateur de l'intensité de la sécheresse a des résultats limités mais la comparaison avec le déficit d'évaporation est intéressante dans la perspective de l'analyse d'un nombre plus grand de stations pendant une période de temps plus longue.

## Bibliographie

- BROCHET, P. et GERBIER, N., 1975 : L'Evapotranspiration. *Monographie N° 65 de la Météorologie Nationale*, Paris, 65 p.
- DUBREUIL, V., 1994 : *La sécheresse dans la France de l'ouest: Etude d'après les bilans hydriques et les données satellite NOAA - AVHRR*. Thèse de doctorat, Tome I, Université de Rennes 2, 381 p.
- DUBREUIL, V. et LE DUL, 1997 : Etude du couvert végétal par télédétection, in "*Le climat, l'eau et les hommes, ouvrage en l'honneur de Jean Mounier*" (dir. V. Dubreuil et J. P. Marchand), Presses Universitaires de Rennes, p.45-63.
- CHOISINEL E., 1992 : L'analyse spatiale du bilan hydrique en agrométéorologie. *La Météorologie*; 43-44: p. 31-42.
- E.R. 30, sous la direction de C.P. PEGUY, 1981 : Dix ans de carte climatique détaillée de la France au 1/250.000; in *Eaux et climats: Mélanges offerts à C.P. PEGUY*; Grenoble; pp. 41-84.
- HOLOBACA I-H., CROITORU A-E., 2000 : Les risques pluviométriques dans la Dépression de la Transylvanie. *Publication de l'Association Internationale de Climatologie*, **13**, 128-135
- LAMBERT, R., LAMI, J-M., SENEGES, F, 1990 : *La sécheresse de 1989 dans le bassin de la Garonne*. Université Toulouse - Mirail, Institut de Géographie, 75 p.
- MAVICAR T.R. et BIERTWIRTH P. N., 2001 : Rapidly assessing the 1997 drought in Papua New Guinea using composite AVHRR imagery, *International Journal of Remote Sensing*; 21-11; p. 2109-2128.
- SATMOS: Acquisition des données NOAA-AVHRR, CMS, Lannion, <http://www.satmos.meteo.fr>.
- VIAU, A. A., VOGT, J. V, BEAUDIN I., 2000 : Potentiel de l'imagerie satellitale pour le suivi et la caractérisation de la sécheresse en Andalousie. *Publication de l'Association Internationale de Climatologie*, **13**, 234-243.