

# ÉTUDE DE LA DYNAMIQUE DE LA ZONE URBAINE DE BUCAREST À L'AIDE DES DONNÉES TM DE LANDSAT ET HRV DE SPOT

**Conf.dr.ing. Zăvoianu Florea**

Laboratoire de Photogrammétrie et Télédétection, Faculté de Géodésie  
Université Technique de Génie Civil de Bucarest  
ROUMANIE

**Dipl.ing. Nișu Călin Daniel**

Direction Topographique Militaire  
ROUMANIE

Commission VII, Working group 10

**KEY WORDS:** Remote Sensing, Environment, Land Use, Multitemporal, Change Detection Classification, Landsat TM, SPOT.

## RÉSUMÉ

Ce travail examine les possibilités offertes par les enregistrements de télédétection satellitaire, de grande résolution spatiale, pour collecter de manière rapide et efficace des informations, sur des grandes surfaces, nécessaires dans les études de l'évolution de la zone urbaine et périurbaine, dans l'analyse de l'occupation du sol et dans la surveillance de la pollution des milieux urbains et périurbains. Pour cet étude, ont été consultées des cartes historiques et des cartes actuelles; on a utilisé, aussi, des images satellitaires TM de Landsat et HRV de SPOT à des différentes dates, de même que des photographies aériennes. Les changements détectés dans le développement de la zone urbaine et périurbaine, ainsi que les images classées, les indices de végétation, ont été insérés dans le cadre d'un système d'information du territoire de la zone urbaine et périurbaine (SITU). Les résultats obtenus jusqu'au présent, concernant l'analyse de la situation actuelle, l'analyse globale de la distribution des densités des constructions, des espaces verts et de l'occupation du sol, à partir des données satellitaires sur des grandes surfaces, de manière rapide et efficace, sont encourageants.

## ABSTRACT

In this paper there are searched the opportunities offered by satellite remote sensing images, with large spatial resolution, able to disseminate efficient and quickly the information about big surfaces. This information are needed for: studies about evolution of urban and per-urban areas, analyses of soil cover and for monitoring the pollution of urban and per-urban environment. For this paper there were studied historic and updated maps, satellite images LANDSAT TM and SPOT HRV images obtained at different periods and also aerial fotograms. The changes detected in development of urban and per-urban areas and also TM, HRV and classified images obtained from them were inserted in a land information system of urban and per-urban areas (SITU). The results, obtained up to now, which regards the analyze of the present situation, the global analyze of the distribution and density of the build-up areas, parks and soil cover using satellite data are very encourage because the surface is large and the method is quicly and efficient.

## 1. INTRODUCTION

Après les événements de 1989 de Roumanie, un changement s'est imposé dans la conception, la modalité d'élaboration et dans le contenu du projet de systématisation urbaine. L'organisation spatiale de la zone urbaine et périurbaine de la ville de Bucarest a connu un développement accéléré mais chaotique, désorganisé.

La zone urbaine est très complexe et ses changements sont rapides. Les décisions de systématisation de la zone urbaine et périurbaine ont comme base technique la situation actuelle et les directions du développement en

perspective de la ville. Les données de télédétection peuvent apporter un soutien technique à ces décisions sur deux niveaux:

a) peuvent être utilisées à la création, à l'actualisation de la base de données géométriques par l'insertion de celles-ci dans le cadre d'un SITU et

b) dans les études thématiques, pour la surveillance de la pollution du milieu urbain, l'établissement de la carte de biotope par la classification des données multispectrales etc.

Des nombreuses études ont été faites concernant les applications des données satellitaires dans le domaine urbain. Les données TM de Landsat et les différents indices de végétation sont utilisés par Achen, M., 1992 et par Carrara R.L. Ana, C. Foresti and J. R. dos Santos, 1992 pour la détermination du pourcentage de recouvrement par la végétation de la zone urbaine. Une analyse globale de l'espace urbain en ce que concerne la dynamique, les directions de développement, la surveillance de la pollution, on peut la faire, efficacement et rapidement, à partir des données satellitaires. Les études faites par Coulombe, A. et Seuthe, C., 1993 et Czeranka, M., 1992 pour mettre en évidence la dynamique urbaine à l'aide des données satellitaires. Par rapport aux méthodes classiques, l'utilisation des données de télédétection dans les études d'urbanisme a l'avantage de permettre la création d'une base de données géométriques sur de grandes surfaces, dans un mode efficace et rapide. L'insertion de ce type de données dans un SITU, est réalisée par Gerlach, P., 1992 et Chen, Jun, 1992 en vue d'analyser l'espace urbain et périurbain pour créer un support technique aux décisions de conservation, reconstruction ou de développement de la zone urbaine.

L'analyse spatiale des données satellitaires pour l'établissement de la carte de la situation actuelle, sera suivie par l'établissement d'une carte du biotope, de la surveillance de la pollution de la zone urbaine et périurbaine dans le cadre d'un projet plus ample qui continuera.

## 2. OBJECTIF

Pour l'élaboration du plan général d'urbanisme (PGU) il faut tenir compte de la situation actuelle, des directions et des possibilités de développement de la ville. C'est pour ça, que pour les études thématiques concernant l'occupation du sol, la surveillance de la pollution, l'établissement de la carte du biotope de la zone urbaine et périurbaine de la ville de Bucarest, un SITU est en train d'être créé. L'objectif de cet étude est d'analyser les possibilités d'enregistrement de la télédétection satellitaire pour répondre aux besoins imposés de la base des données géométriques du SITU et aux problèmes thématiques ci-dessus mentionnés.

## 3. DOCUMENTS DE BASE

Nous avons décidé d'utiliser les sources d'informations suivantes:

- des cartes topographiques aux échelles: 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000 et 1:10 000 aussi que des plans cadastraux établis directement sur le terrain par les géomètres;

- les enregistrements TM de 1988, HRV(xs) et HRV(p) de SPOT du 1<sup>er</sup> juillet 1990, de juillet 1994 et août 1994;

- les photographies aériennes de 1994 à l'échelle d'environ 1:6000 et les photographies aériennes de 1976 à l'échelle d'environ 1: 7 000;

- les données d'urbanisme en ce que concerne l'aménagement urbain et périurbain relatif à l'emplacement des industries, des zones vertes etc;

- les travaux de terrain ont été effectués pour la photo-interprétation.

## 4. TRAITEMENT DES DONNÉES

Pour le traitement des données numériques et analogiques ont été utilisés les moyens disponibles au niveau de nos possibilités.

Le traitement des données numériques a été fait à l'aide du système ERDAS et EASI/PACE installés sur un PC.

La photo-interprétation des photographies aériennes a été faite à l'interpréscope et pour l'actualisation des certaines cartes, on a utilisé un redresseur de type Rectimat.

### 4.1 Traitement des données TM de Landsat.

L'image TM de Landsat de juillet 1988 couvre la zone urbaine et périurbaine de la ville de Bucarest. De cette image, a été retenue une fenêtre de 700/700 pixels. Pour la superposition avec la carte à 1:50 000 et la comparaison avec HRV(xs) de SPOT, on est fait un rééchantillonnage par interpolation linéaire à 20 m. Pour la superposition avec la carte réalisée à l'aide du logiciel ERDAS, 26 points ont été identifiés sur la carte à 1:25 000 et sur l'image qu'ont été utilisés pour la transformation définitive de l'image. Les points de calage identifiés de manière erronée, ont été éliminés par l'utilisation de poids inversement proportionnels au module de l'erreur moyenne quadratique résiduelle de chaque point. La ville de Bucarest, étant située dans une zone de plaine, sans grandes différences d'altitudes, il n'a pas été nécessaire d'utiliser un modèle numérique altimétrique du terrain pour le recalage de l'image TM avec la carte à 1:50 000. En utilisant la transformation polynômiale de troisième ordre, on a obtenue une erreur moyenne quadratique de 0,43 pixels. Pour la réduction du volume des données TM à traiter, une transformation en composantes principales des bandes 1,2,3,5 et 7 a été faite et utilisée avec la bande 4 pour la classification dirigée par le maximum de vraisemblance qu'a été faite. Pour détecter les changements entre la situation existante sur la carte topographique

de 1968 et la TM de Landsat de 1988, la carte numérisée a été superposée sur l'image TM classifiée.

Les classes suivantes ont été retenues: zone dense construite, zone construite, plans d'eau, forêt et espace vert, terrain arable. L'analyse de l'espace urbain a été faite à l'aide des indices de végétation calculés à partir de l'image TM, aussi bien qu'à l'aide des compositions colorées obtenues avec les bandes 7-5-3 et 3-2-1 et la combinaison 6-5-3 pour mettre en évidence les zones industrielles.

Des nouveaux plans-images ont été créés par calcul: PVI ( Perpendicular Vegetation Index ),  $PVI = \cos \alpha TM4 - \sin \alpha TM3$  ; où  $\alpha$  est défini par Achen M., 1992; NDVI ( Normalised Vegetation Index ),  $NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$  ; SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)  $SAVI = [(TM4 - TM3) (1+L / 100)] / (TM4 + TM3 + L)$ .

L'analyse des images des indices de végétation a été faite pour établir le pourcentage de recouvrement avec la végétation de la zone urbaine de Bucarest.

L'évaluation des changements dans le couvrement de végétation a été faite par comparaison avec les résultats obtenus par cette analyse avec la photo-interprétation de l'image HRV(p) de SPOT de juillet 1990 et des images HRV(xs) et HRV(p) de SPOT de juillet et août 1994, classées. Cependant, la réponse radiométrique du capteur satellitaire est fonction de la complexité de la surface visée, particulièrement des ombres portées, de la densité et des dimensions des constructions.

Les valeurs radiométriques enregistrées par capteur ont des variations en fonction des ombres portées (fonction de la pente du terrain) et de la nature des matériaux de construction de la surface visée. La décomposition de la réponse radiométrique du capteur en fonction de ses composantes liées à la nature de la surface comme: bitume, plans d'eau, béton etc., a été effectuée par Forster, B. and Xieng Chen, 1992. Ces études ont mis en évidence la nécessité d'utiliser la texture dans le processus de classification des données multispectrales. Dans notre cas, à partir de la texture, calculée avec les relations données par Webster, J.C. and Bracken, J.I., 1992, un nouveau plan-image est créé et utilisé pour améliorer l'analyse et les résultats de la classification des images TM. La précision de la classification a été de 92%.

Dans les zones présentant des changements dans la structure du couvrement végétal de la zone urbaine et périurbaine étudiée entre la date de prise de l'image TM (1988), la date de prise de l'image HRV(p) de (1990) et HRV(xs) de 1994,

une analyse a été faite en considérant: les nouvelles zones construites pour l'extension de la ville sur la zone agricole, les chantiers ouverts sur les "périmètres" dits "de reconstruction", les nouveaux jardins artificiels et les zones vertes détruites par différentes conditions naturelles ou artificielles. Dans le cadre de cette analyse, une grande importance ont eu les erreurs géométriques résiduelles obtenues après la transformation des images. La calibration des images des indices de végétation a été faite à l'aide des zones test pour différentes classes de végétation: conifères, jardins artificiels, zones vertes naturelles et terrain arable et, d'autre part, asphalté, béton, matériaux de construction et terrain à nu.

#### 4.2 Traitement des données HRV(p) de SPOT

La reproduction sur film de HRV(p) de SPOT du 1<sup>er</sup> juillet 1990 couvre la région du Nord de Bucarest. Pour la photo-interprétation, le film a été transformé par redressement à l'échelle 1:100 000. Pour cette opération, un redresseur de type Rectimat a été utilisé. Les points d'appui ont été identifiés sur le cliché et sur la carte. Les cinq éléments indépendants du redresseur (les angles de basculement autour des axes x et y de la table de projection, les translations du négatif en x et y et l'échelle) ont été calculés à l'aide d'un programme de calcul. Sur le terrain, ont été identifiés les différents types de constructions, les zones industrielles, les zones vertes, les forêts etc. Les résultats de la photo-interprétation concernant les limites des différentes classes ont été retenus pour la classification des données TM.

#### 4.3. Travaux sur le terrain

Les travaux sur le terrain ont été exécutés pour l'identification des différentes classes d'occupation et des limites des zones urbaines afin de compléter les travaux de photo-interprétation des photographies aériennes faites à l'interpréscope. Les résultats ont été reportés sur la carte à 1:50 000 pour la numérisation et le calcul de surfaces, en vue d'établir les changements et la dynamique urbaine.

#### 4.4 Traitement des données HRV(xs) de SPOT

Deux aspects ont été suivis pour le traitement des données HRV(xs) de SPOT de juillet 1994: - la détection des changements significatifs concernant les zones de reconstruction ou d'extension de la zone urbaine de la ville sur le terrain agricole entre la carte de 1978, l'image TM de 1988, l'image HRV(p) de 1990 et HRV(xs) de 1994 et, d'autre part, la détection des changements dans le biotope urbain et la création d'une base de données pour l'étude de la distribution spatiale et temporelle de la pollution.

Pour la correction géométrique des images HRV(xs) de SPOT, 30 points d'appui uniformément répartis dans toute la zone ont été identifiés sur la carte à 1:25000 et sur l'image numérique. En utilisant une méthode rigoureuse de correction géométrique, une erreur moyenne quadratique de  $\pm 2,5$  m. a été obtenue.

La détection des changements peut être faite par la comparaison des indices de végétation (Achen, M. 1992); par comparaison des images multitemporelles du même capteur; par régression ou la comparaison des images classées en utilisant les mêmes classes pour les deux groupes de données. La dernière méthode a été utilisée dans notre étude. Les images HRV(xs) ont été classées par la méthode du maximum de vraisemblance en utilisant les mêmes classes que pour les images TM, fig.1. Plusieurs sites (25) d'entraînement considérés comme étant spectralement purs, ont été sélectionnés et associés aux classes retenues. Les pixels contigus montrent une corrélation spatiale élevée. Pour réduire leur influence, seulement des pixels d'entraînement purs ont été sélectionnés visuellement de façon individuelle, pour chaque classe. L'algorithme de classification utilisé est celui du maximum de vraisemblance. La

vérification de l'exactitude des classifications a été faite a partir des pixels test choisis au hasard, sur la carte obtenue par photo-interprétation, indépendamment des pixels d'entraînement. A partir des matrices de confusion produite, le coefficient de Kapa a été calculé pour estimer l'exactitude des classifications effectuées.

Pour l'étude de la dynamique de la zone urbaine, on a calculé VI (Vegetation Index) donné par :  $X(i,j) = XS2(i,j)/XS3(i,j) \geq T$  où T est un seuil établi expérimentalement. Les images obtenues ont été classées en vue d'être comparées avec les indices obtenus a partir des images TM.

## 5. ANALYSE DES RÉSULTATS

La comparaison des images classées et la représentation de celles-ci sur une carte ont permis la mise en évidence de la dynamique urbaine. La situation de départ (la carte de 1978 numérisée) superposée sur les images TM, permet l'identification des changements effectifs. Les zones d'incertitude sont situées dans les quartiers d'habitation résidentiels où les arbres couvrent les maisons dispersées.

Evolution de la zone urbaine

Tableau 1.

Classes d'occupation du sol				Surfaces totales				
1978	1988	1990	1994	Class e	1978 (ha)	1988 (ha)	1990 (ha)	1994 (ha)
A	A	A	A	A	1327	1542	1542	1542
F	F	F	F	F	1991	1960	1910	2005
ZC	A	A	A	ZC	4698	3944	3114	3210
ZDC	ZDC	ZDC	ZDC	ZDC	5352	6732	5527	6800
O	O	O	O	O	30732	29922	29712	28233
O	O	O	ZDC	ZI	-	-	2295	2310
O	ZDC	ZDC	ZDC	Extension de la zone urbaine				
O	ZC	ZC	ZC	1978-1988		1988-1990		1990-1994
O	O	ZC	ZC	extension urbaine				
O	O	O	ZC	840 ha -6,3%		210 ha 3,8%		180ha -3,2%
ZC	ZC	A	A	reconstruction urbaine				
				1978 ha-4,2%		1240ha-22,4%		520ha-9,3%
				rythme annuel				
				3,7% /année		13,1%/année		6,3%/année
A-plans d'eau; F- forêts et zones vertes; ZDC- zone dense construite; ZI-zone industrielle; ZC -zone construite; O- autres affectations.								

Une partie des changements de classes est due aux démolitions et aux reconstructions sur de grandes superficies, dans le but de l'extension de la zone industrielle ou pour la construction d'habitations collectives. Le développement de la ville a été fait radialement. Les zones industrielles qui, à un moment donné, étaient à la limite de la zone construite, sont aujourd'hui englobées dans les nouveaux ensembles d'habitations. Les nouveaux ensembles

d'habitations conçus et exécutés dans la période analysée, comme Aviatiei au Nord de la ville et Berceni Sud, ont été élevés sur l'emplacement d'anciennes constructions démolies. Les espaces verts n'ont pas subi de grandes transformations pour la période analysée. Les plans d'eau ont été agrandis par la réalisation, en amont de Bucarest, sur la rivière Dâmbovița, d'un barrage et d'un lac au détriment de la zone construite qu'a été démolie.

## RÉFÉRENCES

La surface couverte par la zone urbaine étudiée pour la période de 1978 à 1988 est d'environ 1480 ha, pour la période de 1988 à 1990 est d'environ 210 ha et pour la période de 1990 à 1994 est d'environ 180 ha. Les résultats sont donnés sur le tableau 1 et fig.2. Le développement s'est fait radialement et dans des proportions identiques dans les six secteurs administratifs. Des transformations profondes ont eu lieu dans le domaine du patrimoine architectural et des monuments historiques à la suite de la politique de systématisation pratiquée en ce temps-là. Ces types de changements n'ont pas été mis en évidence. Jusqu'au 1989, le développement des localités périurbaines s'est fait en mode planifié, dans des zones destinées aux nouveaux quartiers, et de façon arbitraire - après 1989. Les villages démolis avant 1989 sont en voie de reconstruction sur les anciens sites.

### 6. CONCLUSIONS

Les principales sources d'informations pour la création d'un SITU, pour de grandes surfaces, de façon rapide et efficace, sont les enregistrements de télédétection et les photographies aériennes. Les technologies de télédétection dans notre étude répondent aux nécessités pratiques suivantes:

- collecte de grands volumes de données;
- élaboration d'études concernant l'occupation du sol, emplacement d'industries, voies de communication, distribution spatiale des facteurs polluants;
- mise au point du support technique pour les solutions concernant la construction, la reconstruction, la conservation ou le développement de la zone urbaine et périurbaine.

Les résultats obtenus jusqu'au présent dans l'analyse de l'espace urbain sont encourageants.

Nos prochaines préoccupations seront orientées vers l'insertion des images KWR-1000 dans le SITU et vers l'étude du biotope, de la distribution spatiale et temporelle de la pollution dans la zone urbaine et périurbaine de Bucarest.

- Achen, M., 1992. Landsat-TM Data for Municipal Environmental Planning? Studies of Vegetation Indices in the Urban Areas. Archives internationales de photogrammétrie et de télédétection, Washington, D.C., U.S.A. Vol. XXIX, Tome B7, pp.201-208.
- Birkner, H.J., 1993. Satellite Imagery for Urban Ecology. Workshop and Conference "International Mapping from Space". December 1993, Hannover, Germany, Vol. 15, pp.309-314.
- Carara, R. L., Ana C. Foresti and J.R. do Santos, 1992. Analysis of Vegetation Indices in Urban Areas from TM-Landsat and HRV-SPOT Orbital Data. Archives de photogrammétrie et de télédétection, Washington, D.C., U.S.A., vol. XXIX, tome B7, pp.949-956.
- Chen, Jun, 1992. Improving Urban Planning by Integrated Utilisation of Remote Sensing and GIS's. Archives internationales de photogrammétrie et de télédétection, Washington, D.C., USA, Vol. XXIX, Tome B7, pp.598-600.
- Coulombe, A. et Seuthe, C., 1993. Nouvelles méthodologies d'exploitation de SPOT pour le développement en milieu urbain. Actes 8<sup>e</sup> Congrès de l'Association Québécoise de Télédétection, Sherbrooke 7-10 juin, Canada, pp.735-743.
- Czeranka, M., 1992. Monitoring and Analysis of Urban Trends of Greater Cairo Using Multitemporal Satellite - Imagery. Archives internationales de photogrammétrie et de télédétection, Washington, D.C., U.S.A., Vol. XXIX, Tome B7, pp.494-498.
- Forster, C.B. and Chen, X., 1992. Urban Spatial Attributes from Satellite Remote Sensing Using End Member Analysis and Variability Measures. Archives internationales de photogrammétrie et de télédétection, Washington, D.C., U.S.A., Vol. XXIX, Tome B7, pp.930-934.
- Gerlach, P., 1992. Integration of Primary Data Acquisition and Interpretation of Remote Sensing Data in Town-Planning and City-District-Renewal. Applications and Examples. Archives internationales de photogrammétrie et de télédétection, Washington, D.C., U.S.A., Vol. XXIX, Tome B7, pp.957-963.
- Webster, J. C. and Bracken, J. I., 1992. Exploring the Discriminating Power of Texture in Urban Image Analysis. Archives internationales de photogrammétrie et de télédétection, Washington, D.C., U.S.A., Vol. XXIX, Tome B7, pp.942-948.

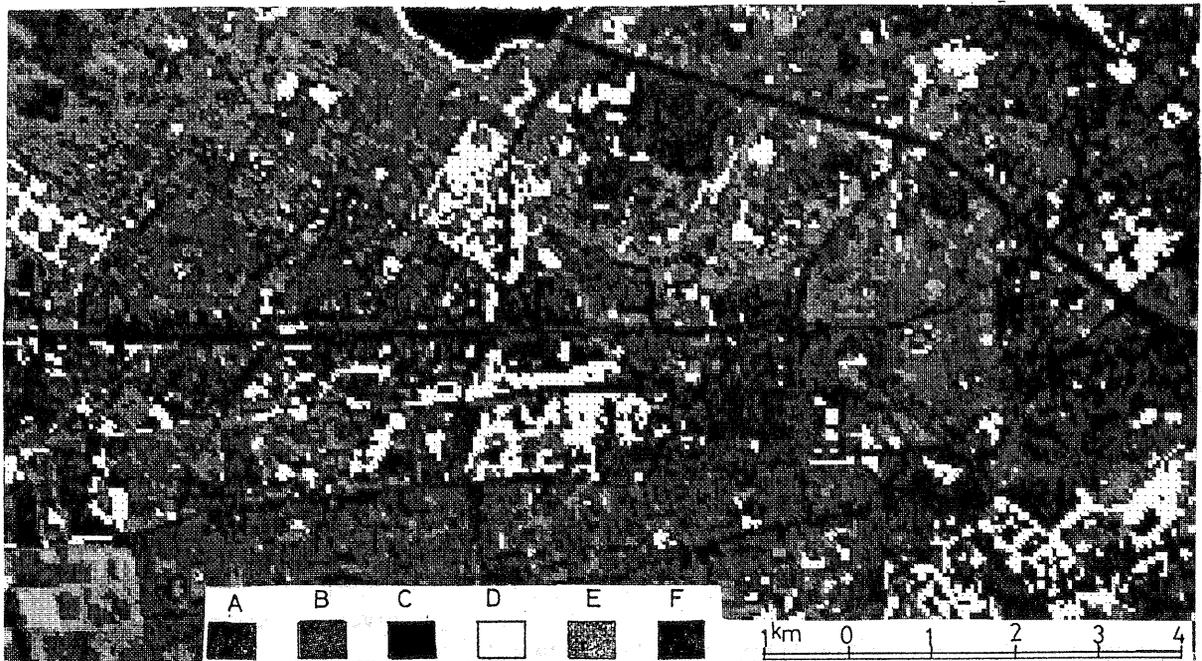


Figure 2. Image HRV(xs) classifiée (les même classes que pour l'image TM.) A- zone dense construite, B - zone construite, C - plans d'eau, D - chantiers ouverts, E-espaces vert, F -forêts

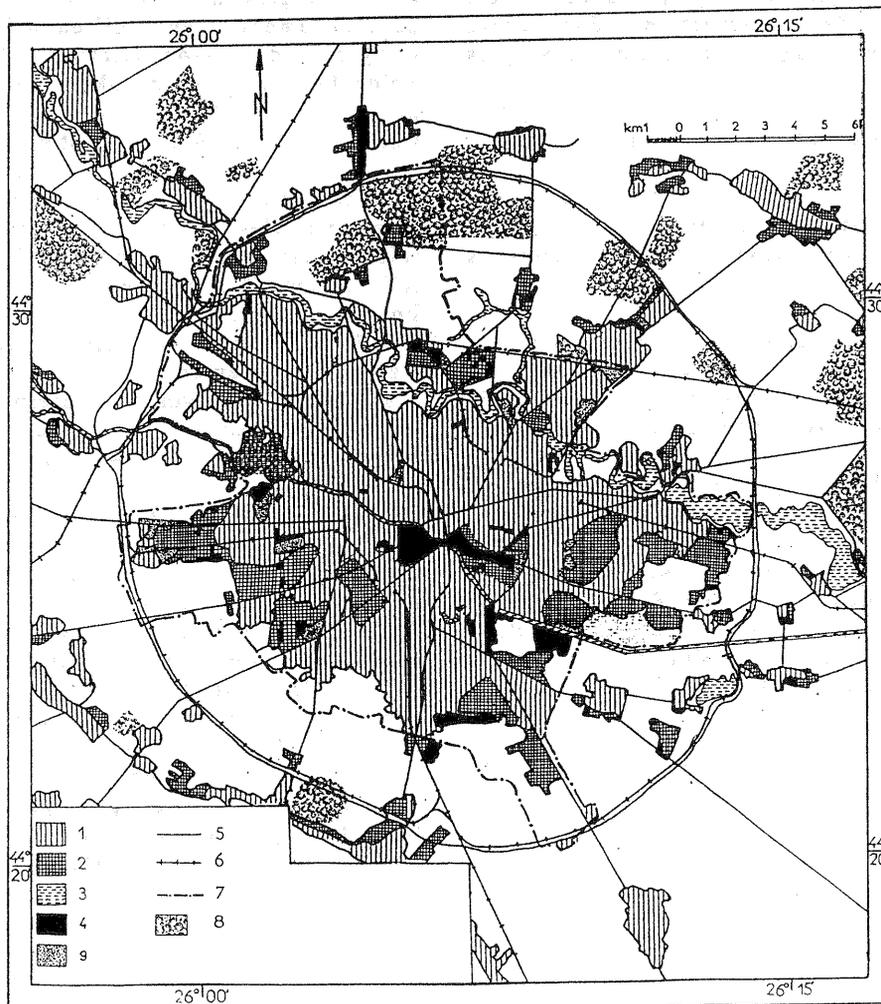


Figure 3. Développement urbain de la ville de Bucarest de 1978 à 1994 (d'après la carte topographique de 1978, TM 1988, HRV(p) de 1990 et HRV(xs) de 1994). 1 - zone urbaine en 1978; 2 - zone de développement de 1978 à 1988; 3 - plans d'eau; 4 - zone de développement de 1988 à 1990; 5 - routes principales; 6 - chemins de fer; 7 - limites administratives; 8- forêts; 9 - zone de développement de 1990 à 1994.