

TRANSCRIPTION DES USAGES DU SOL PAR LE MODÈLE DE POTENTIEL⁽¹⁾

Marc BINARD*
Jean-Paul DONNAY*
Istvan NADASDI*

RÉSUMÉ L'exercice cartographique proposé consiste en une application du modèle de potentiel au site de la ville de Luxembourg. Les catégories d'affectation du sol, urbaines d'une part, et végétales d'autre part, issues d'une procédure de classification supervisée d'une image SPOT, sont affectées d'une masse propre et soumises, séparément, au calcul de potentiel. Les deux images résultantes sont ensuite fusionnées par synthèse chromatique pour obtenir une représentation de l'environnement résidentiel de la ville.

ABSTRACT The paper deals with an application of the potential model to the urban environment of the city of Luxembourg. Specific loadings are assigned to urban and vegetable land uses, identified according to a supervised classification of remote sensed SPOT data. Then, the two sets of loadings are separately submitted to potential models and the resulting images are merged by chromatic synthesis to obtain a map of the residential environment of the town.

RESUMEN Este ejercicio cartográfico consiste en aplicar el modelo de potencial al territorio de la ciudad de Luxembourg. A las categorías de ocupación del suelo, urbanas por un lado y vegetales por otro, procedentes de un sistema de clasificación supervisada de una imagen SPOT, se les atribuye una masa propia y se le somete, separadamente, al cálculo de potencial. Luego, las dos imágenes resultantes son fusionadas por síntesis cromática para obtener una representación del marco residencial de la ciudad.

• ENVIRONNEMENT • LUXEMBOURG
(Ville) • MODÈLE DE POTENTIEL • USAGES
DU SOL

• ENVIRONMENT • LAND USES • LUXEM-
BOURG (City) • POTENTIAL MODEL

• LUXEMBURGO (Ciudad) • MEDIO AMBIEN-
TE • MODELO DE POTENCIAL •
UTILIZACIÓN DEL SUELO

La réalisation des cartes d'inventaire constitue une des exploitations privilégiées d'images satellitaires. En aménagement du territoire et en urbanisme notamment, la connaissance de la situation existante est une information de base pour l'élaboration des plans d'organisation de l'espace. Une partie essentielle du volet physique de cette information peut être restituée par l'exploitation des images satellitaires.

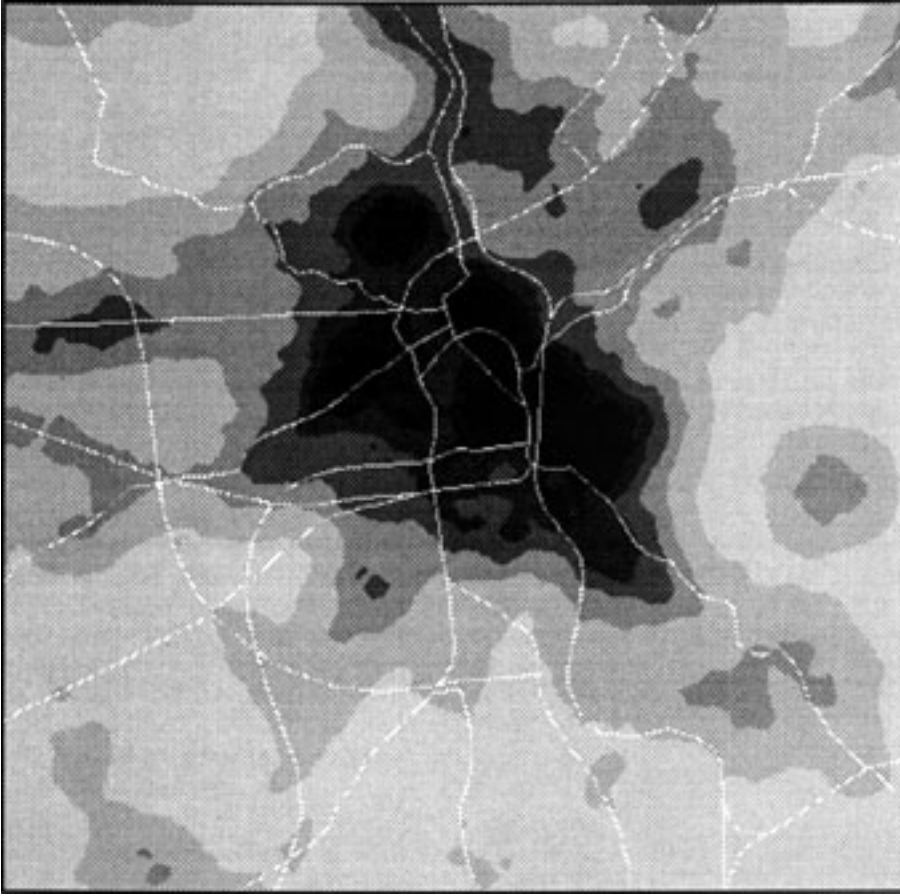
Généralement, la chaîne d'exploitation de ces images comporte les étapes suivantes: améliorations radiométriques, classifications supervisées, corrections géométriques, validation des résultats, réalisation des cartes d'inventaire, extraction des statistiques régionalisées, suivies éventuellement d'une nouvelle cartographie. Certaines réalisations peuvent être confrontées avec des informations géocodées issues d'autres sources et intégrées dans un système d'information géographique. Cette démarche permet d'améliorer les résultats de traitement et de

procéder à des combinaisons originales. Cependant, la modélisation, assurant une visualisation de la structure du phénomène examiné, permet parfois aussi d'éclairer le mode de fonctionnement de l'espace. Le souci de mise au point de modèles à partir d'images satellitaires n'étant que rarement rencontré par les utilisateurs, la présente communication a pour ambition de constituer une réponse partielle à cette préoccupation.

Objet et méthode de la modélisation

Le support de la modélisation est un extrait d'un fichier de 512 x 512 pixels d'une carte des affectations du sol dans le sud-ouest du Grand-Duché, couvrant l'agglomération de Luxembourg (fig. 4). Les résultats sont issus d'une classification supervisée et d'une correction géométrique d'une scène XS de SPOT. Les usages du sol sont, dans l'ordre de la légende de la figure 4: eau, habitat dense, habitat lâche, friches et

* SURFACES (Service Universitaire de Recherches Fondamentales et Appliquées en Cartographie et en Études Spatiales, Centre de Recherches de la Faculté des Sciences), Département de Géographie, Université de Liège, 7 place du XX août, Belgique.



1. Potentiel bâti de l'agglomération de Luxembourg

Utilisation de 2 catégories d'habitat de la classification des modes d'occupation du sol.

Échelle 1/77 000.

landes, prairies, cultures, forêt de conifères, forêt de feuillus et une dernière catégorie reprenant les pixels non classés par la procédure. L'espace représenté sur les 4 figures est limité à une zone de 462 x 462 pixels pour éliminer l'altération des bords introduite par le calcul du modèle.

D'une manière générale, les classifications permettent de distinguer trois catégories de couverture pouvant comporter plusieurs classes, à savoir: les plans d'eau, les surfaces végétales, cultivées ou spontanées, ainsi que les surfaces minérales, comportant notamment le bâti. Les intensités d'occupation des deux dernières catégories de couverture ont fait l'objet d'une modélisation. D'une structure simple et facilement développable, le potentiel se rattache à la famille des modèles de gravité. Relevant des moments d'ordre inverse, il est doué de propriétés statistiques remarquables et autorise des interprétations variées. Il est sollicité, tantôt comme une mesure de proximité, tantôt comme un indice de probabilité et d'intensité d'interaction.

Concrètement, la valeur de potentiel pour tout pixel de l'extrait de scène peut être définie comme suit:

$$P_i = [m_i / (0.5 r)] + \sum_{j \neq i} m_j / d_{ij}$$

$$j \neq i.$$

m_j est la masse attribuée à l'affectation du pixel j , tandis que d_{ij} correspond à la distance entre le pixel i et les pixels j . Le premier terme correspond au potentiel propre du pixel i , dans lequel r est le rayon d'un cercle dont la superficie est égale à celle d'un pixel et m_i est la masse du pixel i .

En fait, le potentiel opère la transformation d'une distribution discrète en une surface statistique caractérisée par la continuité. La transcription géographique du relief thématique est réalisée par des isolignes ou par l'application de teintes hypsométriques. La variation continue des grandeurs scalaires et vectorielles associées à la surface statistique restitue la structure de la répartition dans ses articulations géographiques et hiérarchique.

Bien entendu, l'application du modèle exige la définition, la mesure ou l'évaluation des masses et des distances. Même si cela implique l'isotropie et la continuité de l'espace, les distances introduites dans les modèles mis en œuvre sont euclidiennes. La sélection de l'exposant de la distance, expression de la friction de l'espace, peut être justifiée par un calibrage préalable. Dans les applications envisagées l'exposant (- 1), qui a l'avantage de faciliter les interprétations, a été choisi.

La définition de la masse est plus délicate. Les catégories d'utilisation du sol issues des traitements d'images sont des informations nominales (couvertures minérales, couvertures végétales) et subsidiairement ordinales (bâti dense, bâti moins dense ou phytomasses ordonnées des affectations végétales). Il est légitime d'affecter des masses sur base de normes ou d'observations concrètes, aux affectations associées aux pixels. Ainsi les masses retenues pour le potentiel végétal correspondent aux logarithmes naturels des phytomasses fraîches estimées des affectations des six classes considérées. Les

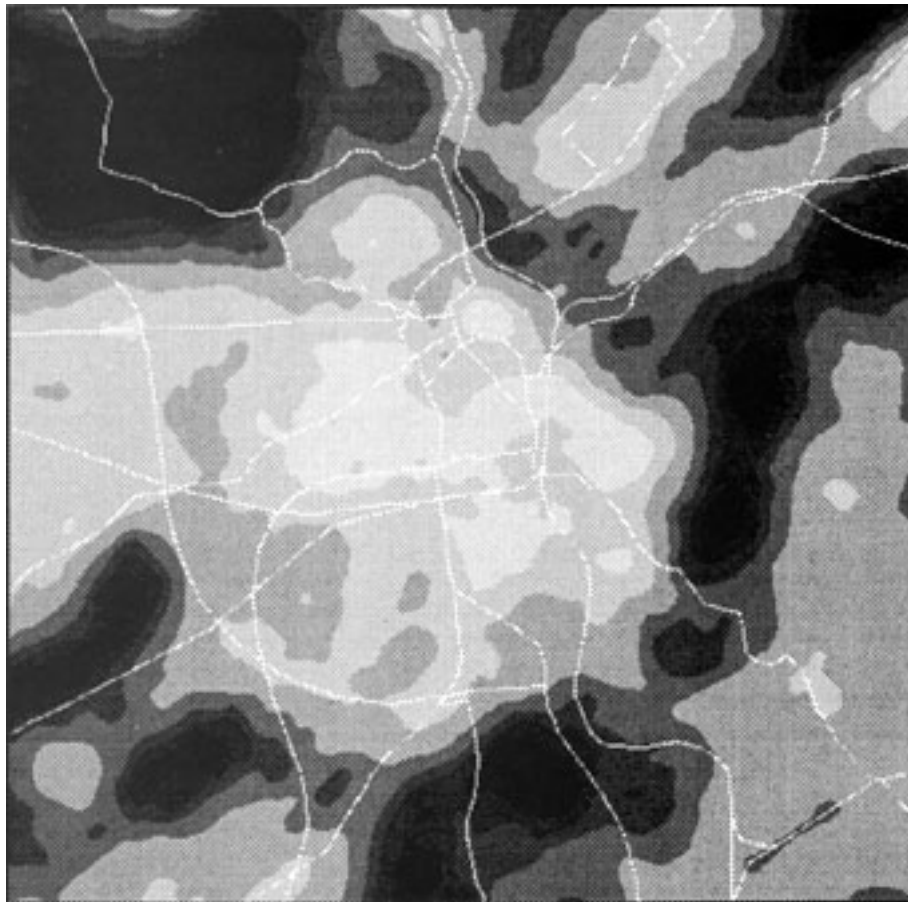
masses attribuées vont de (1,1) à (5), associées respectivement aux pelouses de l'habitat moins dense et à la forêt feuillue. Les masses attribuées aux prairies, aux cultures, aux landes ainsi qu'aux conifères sont dans l'ordre: (2,3), (2,7), (3,4) et (4,8).

La recherche des masses à attribuer aux classes du bâti est fonction de l'importance relative des surfaces minéralisées, souvent assimilable à la notion d'emprise au sol. Il est toutefois difficile de corréliser ces données avec les indices d'occupation du sol (IOS), la mesure de densité des urbanistes. Dans cette application, nous nous sommes contentés d'attribuer aux deux catégories d'habitat des masses dans un rapport de 1 à 2.

Résultats

• *Le potentiel bâti de l'agglomération de Luxembourg*

Le potentiel du bâti restitue une structure d'organisation radioconcentrique digitée et parfois éclatée de l'espace urbain (fig. 1). La structure urbaine de cette agglomération est largement conditionnée par son site et son développement historique. Le site est formé d'un plateau entaillé par les vallées étroites, profondes et sinueuses de l'Alzette et de ses affluents. Le site primitif, un site de défense remarquable mis en valeur par l'implantation d'une forteresse réputée, est constitué par l'espace restreint situé à la confluence des gorges de l'Alzette et de la Pétrusse. Les parcs publics implantés sur l'emplacement des puissantes fortifications forment dans le nord et l'ouest une zone tampon importante entre le centre historique et les extensions plus récentes. Au-delà, se développent les anciens faubourgs, noyés aujourd'hui dans des quartiers étendus et aux fonctions variées soit: Hollerich-Gare, comme centre secondaire, Bonnevoie au sud-est, Neu-Merl et Belair à l'ouest et Limpertsberg au nord. Plus vers l'extérieur, le mode d'urbanisation révèle une structure digitée, soutenue par la configuration du relief et par la disposition des voies de communication. Un des avantages du modèle réside dans la possibilité d'associer à chaque point de la surface statistique des valeurs



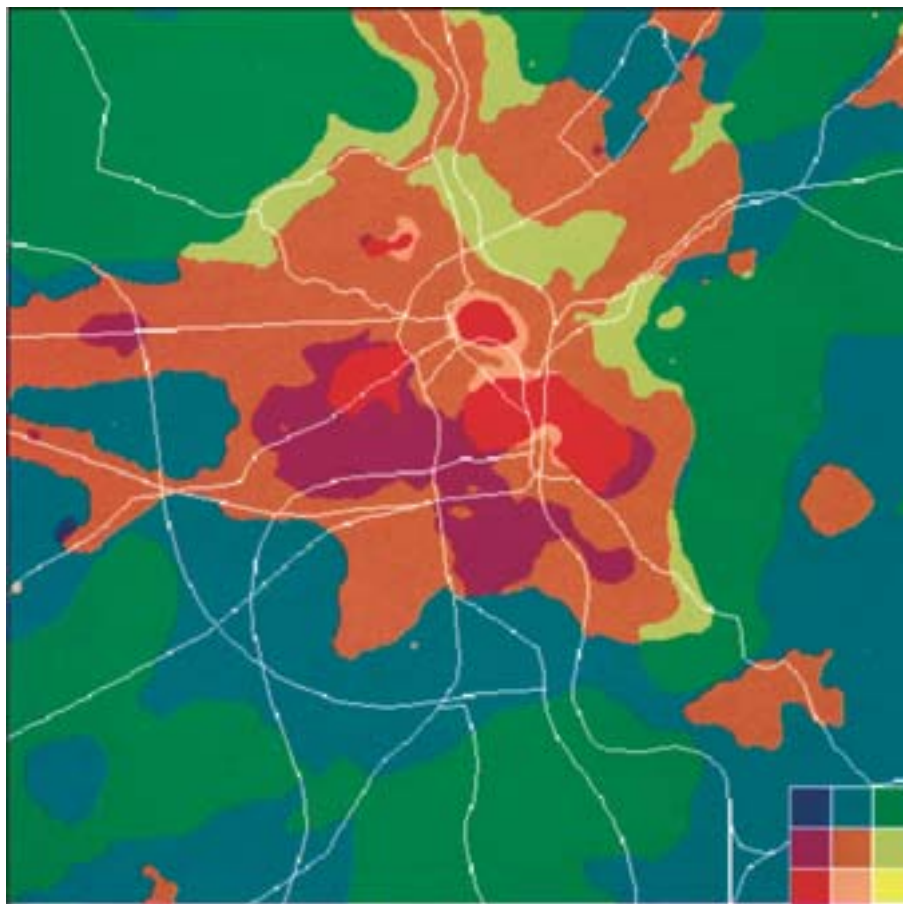
2. Potentiel végétal de l'agglomération de Luxembourg

Utilisation de 6 affectations comportant de la végétation parmi les 9 modes de la classification.
Échelle 1/77 000.

de potentiel traduisant la hiérarchie des centres urbains et des axes d'urbanisation. La variation du potentiel en fonction de la distance définit le gradient et, l'équidistance étant maintenue constante, il est inversement proportionnel à l'intervalle. Aux gradients de potentiel relativement faibles de l'ouest (Belair) s'opposent les gradients plus forts de l'est (Bonnevoie), où l'on passe rapidement des îlots de forte urbanisation aux espaces ouverts non urbains.

• *Le potentiel végétal*

À première vue, le potentiel végétal est une image négative du potentiel bâti (fig. 2). C'est particulièrement net pour ses valeurs extrêmes. L'agglomération est entourée par une ceinture verte interrompue seulement dans le secteur ouest de l'agglomération. Le maximum de potentiel végétal s'enregistre au cœur du massif forestier de Bamboesch. Au centre de l'agglomération, fortement urbanisé, correspond bien entendu une zone au faible potentiel végétal. Toutefois, les espaces agricoles



3. Évaluation de l'environnement résidentiel de l'agglomération de Luxembourg

Synthèse chromatique des potentiels bâti (rouge) et végétal (vert) subdivisés en 3 catégories.

Échelle 1/77 000.

proches de la ville ainsi que les parcs publics rehaussent souvent la valeur du potentiel végétal jusqu'à proximité du centre.

• L'évaluation de l'environnement résidentiel

La synthèse des deux images amplifie leur valeur informative. Dans la mesure où l'additivité, propriété remarquable des champs de potentiel, est difficile à exploiter faute d'unité de mesure commune, la solution peut être cherchée dans la fusion chromatique des deux surfaces statistiques. Chaque potentiel est classé en trois catégories ordonnées, traduites dans une couleur primaire additive par une gamme d'intensités faible, moyenne et forte, d'une part sur le rouge (potentiel bâti) et d'autre part sur le vert (potentiel végétal). Les deux images résultantes sont alors fusionnées. La construction conduit à neuf catégories d'environnement résidentiel, tandis que les propriétés d'additivité des couleurs aboutissent à une diagonalisation de l'image finale sur la couleur jaune. La figure 3 illustre cette construction, les neuf catégories de la

légende étant numérotées de 1 à 9, de gauche à droite et de haut en bas.

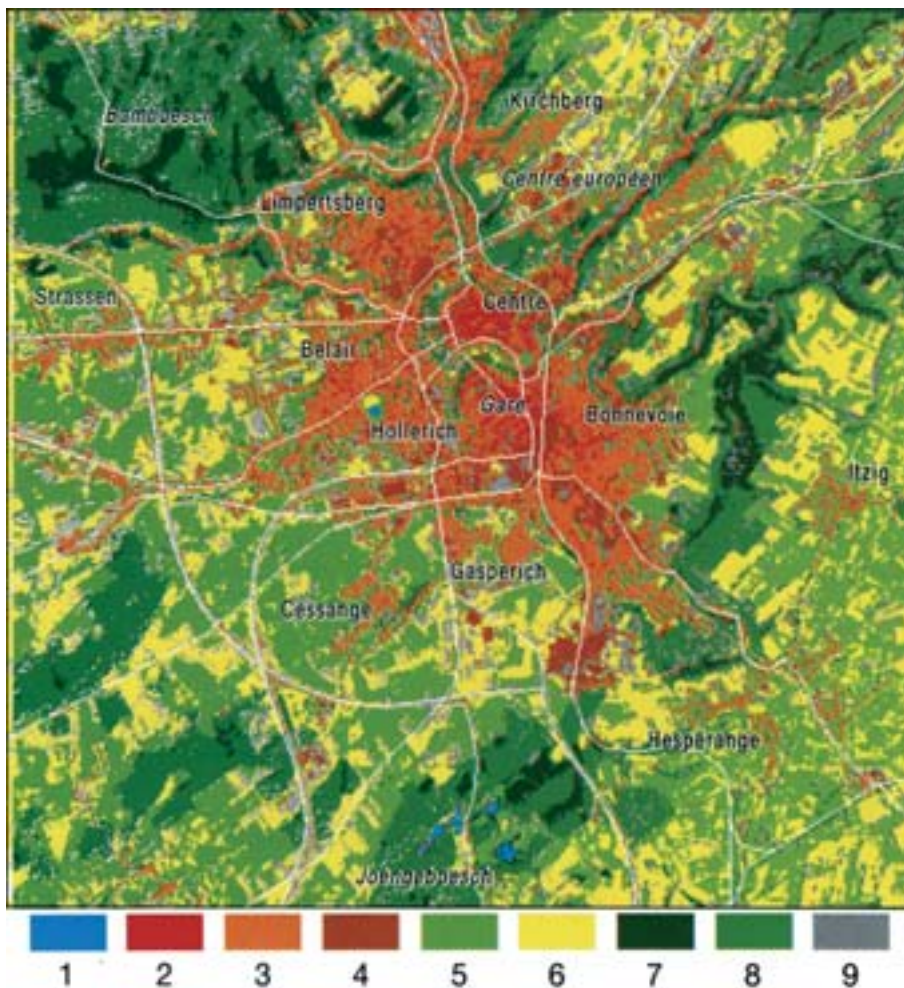
La catégorie 1 combine les intensités faibles des deux potentiels. Elle correspond pratiquement à l'absence d'habitat et de couverture végétale. A l'opposé, la catégorie 9 traduit la présence conjointe de potentiels urbains et végétal élevés. Les tissus urbains correspondant à ces catégories extrêmes sont plutôt théoriques et ne se vérifient pas sur le terrain. La catégorie 3 associe un potentiel végétal élevé à un potentiel bâti très faible. La catégorie 7 correspond à une structure opposée, avec un bâti dense qui ne laisse que très peu de place aux plantations. Les classes 2, 4, 5, 6 et 8 s'interprètent d'une manière analogue.

Il faut bien voir que le document issu de cette construction ne correspond plus à une surface statistique continue, transcrite par isolignes ou par teintes hypsométriques, mais bien à une représentation cartographique choroplèthe. Les plages colorées expriment un zonage, concept opérationnel

des urbanistes. L'image rend compte de la typologie de l'environnement résidentiel dans son agencement spatial concret. Les deux pôles urbains centraux, ainsi que certaines extensions résidentielles, correspondent à l'habitat collectif comportant très peu de plantations. Vers le sud-ouest, on observe une organisation en bandes grossièrement parallèles, soit dans l'ordre: un habitat relativement dense avec peu de végétation (catégorie 4), suivi vers l'extérieur d'une zone d'habitat assez dense et moyennement verdoyante (catégorie 5) et, enfin, des affectations riches en végétation et pauvres en habitat (catégorie 6). Les zones aux conditions résidentielles très favorables, associant un habitat en ordre lâche à une forte phytomasse, se trouvent en situation périurbaine dans le nord et l'est de l'agglomération, soit dans des secteurs urbains caractérisés par un relief accidenté. Le croisement des résultats avec les caractéristiques de pente et d'exposition, par l'intermédiaire d'un modèle numérique de terrain, contribuerait sans doute à affiner la qualification des conditions résidentielles.

Conclusions

La réalisation des cartes satellitaires d'inventaire peut être suivie de la modélisation d'une partie ou de la totalité du contenu thématique. Pour ce faire, il est possible de mettre à contribution les moments d'ordre inverse, conceptualisés en géographie par le terme de potentiel. Les surfaces statistiques disposent des attributs essentiels des modèles et se prêtent à une cartographie rigoureuse. Les constructions réalisées assurent une «perception globale et immédiate» de la structure des répartitions, avec des possibilités d'évaluation quantitative. La synthèse additive par application des couleurs fondamentales permet de fusionner deux modèles de répartition. Le contenu informatif de l'image s'en trouve amélioré et offre une possibilité d'interprétation typologique. Sans qu'il soit besoin de recourir à l'introduction d'informations exogènes à la télédétection, il est possible de créer des images synthétiques intéressantes tout à la fois la pratique cartographique, la géographie théorique et l'aménagement du territoire.



4. Classification des modes d'occupation du sol de l'agglomération de Luxembourg

Intitulés des affectations:

1. Eau - 2. Habitat dense - 3. Habitat lâche - 4. Friches et landes - 5. Prairies - 6. Cultures - 7. Forêt de conifères - 8. Forêt de feuillus - 9. Pixels non classés par la procédure.

Échelle 1/77 000.

Source: SPOT XS (46-250), 7 mai 1987. © CNES 1987.

(1) L'étude a été effectuée dans le cadre du «Programme de recherche scientifique dans le domaine de la télédétection spatiale» (TELSAT/II/06) pour le compte de l'État belge.

Références bibliographiques

NADASDI I., BAUDOT Y. et DONNAY J.P., 1988, «Une carte pilote de l'affectation du sol à Liège et des produits dérivés issus des traitements satellitaires SPOT», *Les Cahiers de l'Urbanisme*, n° 4, pp. 51-60.
POOLER J., 1987, «Measuring Geographical Accessibility: a Review of Current Approaches and Problems in the Use of Population Potential», *Geoforum*, vol. 18, n° 3, pp. 269-287.