

ÉVALUATION D'UN PAYSAGE À L'AIDE D'INDICES DE DIVERSITÉ

Jules WILMET, Vinciane TIRTIAUX & Jean-Pierre HEYLEN

« Il me semble, Usbek, que nous ne jugeons jamais des choses que par un retour secret que nous faisons sur nous-mêmes »
(Montesquieu, Lettres persanes, 1721)

Summary

In the framework of a systemic conception of the geographic landscape, a study of its diversity is performed using textural indices issued from remote sensing images. Among several tested relations, the entropy and the density of land cover boundaries seem to be the most efficient parameters. They have been computed into circular landscape units of 81,7 ha of size. A PCA has been realized in order to obtain a synthesis of the landscape structure. The first component was selected explaining more than 80% of the total variance. It is weakly correlated with a digital elevation model. The latter was elaborated as a roughness indicator in order to enhance the attractivity of the landscape. In conclusion, these two parameters seem to be complementary indicators well suited to evaluate this attractivity.

MOTS-CLÉS : paysage, indices texturaux, télédétection, entropie, mesures de densité

KEYWORDS : landscape, textural indices, remote sensing, entropy, density measurements

1. INTRODUCTION

Les géographes ont consacré le terme de paysage en l'inscrivant dans l'épistémologie de leur discipline. Pourtant la signification de ce mot demeure ambiguë. Selon Avocat [1], son origine remonterait au XVI^e siècle coïncidant avec l'élaboration de nouveaux rapports spatiaux entre l'homme et le monde qui l'entoure. Ce terme est utilisé dans des acceptions diverses par les Ecoles de géographie, tant chez Vidal de la Blache que dans la littérature allemande, où dès le XIX^e siècle apparaît le terme de Landschaft, ou en Angleterre avec la notion de Landscape. Selon Rimbert [21], il existe deux façons d'aborder un paysage, selon que l'on prend l'individu comme point de départ ou que l'on privilégie l'espace objectif sur lequel porte l'observation. Quel que soit le point de vue auquel on se place, observer en science c'est choisir, sélectionner les caractéristiques qui nous paraissent les plus judicieuses pour décrire la surface terrestre. L'observation est donc inséparable du but poursuivi, c'est-à-dire de l'hypothèse scientifique. Il convient donc de s'entendre sur l'« hypothèse paysagique ».

2. PAYSAGE ET SYSTÈME

Si la vision du paysage est conçue par rapport à l'individu, celle-ci ne peut être partagée que dans le cadre d'une culture identique par des observateurs différents. Chaque culture développe à une époque déterminée une certaine logique spatiale. Celle-ci s'inscrit dans un système relationnel maintes fois décrit en géographie régionale [4], [10]. Le paysage en est une forme de représentation. Dès lors, le choix des variables structurant celui-ci est déterminant : l'observateur sera sensible à celles qui répondent à cette logique spatio-temporelle.

2.1. Praxis actuelle du paysage

Notre époque est celle de la diversité, du contraste. Elle favorise la personnalité, le chant du « moi », héritage tardif du Romantisme. Alors que les esprits cartésiens favorisaient la recherche de l'unité, dans ses aspects rationnels, centraient le monde sur l'homme et la rigueur d'une pensée censée être universelle, on a découvert l'extrême diversité des organisations physiques et humaines, même si fondamentalement nous tentons de structurer celles-ci en « modèles » généralisables tant soit peu ou tant bien que mal. Ainsi tout à la fois, nous tentons de poursuivre un rêve analytique et globalisant. Ces deux courants sont bien ceux non seulement de la

géographie actuelle, mais des sciences en général. La représentation du paysage n'a pas échappé à cette dualité qui a inspiré successivement l'urbanisme et l'aménagement du territoire. D'une conception anthropocentrée et étroitement rationalisante, on est venu à considérer l'homme comme participant à un « environnement » naturel profondément perturbé par l'influence des civilisations successives mais possédant une structure propre qu'il faut retrouver. Conception illusoire elle aussi, puisque, comme l'enseignait F. Dussart, il n'existe pas d'Urlandschaft, de paysage physique préalable. Il en résulte que nos contemporains sont sensibles à la diversité, à la différenciation dans l'élaboration de leur paysage. Cependant, si le pragmatisme est pressenti, le souci d'ordre et de clarté dans l'analyse paysagique persiste, particulièrement chez les géographes physiiciens ou naturalistes. C'est le cas des Ecoles australiennes et russes avec les land-systems et géosystèmes (Landschaftovedenie) dont Rougerie et Beroutchachvili [22], nous ont donné naguère une synthèse brillante. Le même souci avait poussé l'École allemande de Leipzig à promouvoir la Landschaftsgliederung et la Landschaftsökologie. Toutes ces tendances témoignent d'un besoin de rationalité dans le découpage paysagique et de la recherche d'une systématique dans la caractérisation de ce que Brunet appelle des chorèmes [6], [7], ou structures élémentaires de l'espace.

2.2. Télédétection, S.I.G. et évaluation des paysages

Cette volonté de définir des ordres c'est-à-dire d'abstraire, de chercher des modèles généralisables trouve un puissant adjuvant dans la télédétection au sens large et dans les systèmes d'information géographique (S.I.G.). Certes, il s'agit bien là d'outils mais ils permettent une analyse plus fine de la surface terrestre en vue de former l'hypothèse structurale qui sous-tend la synthèse ultérieure. Il faut rappeler ici que les pionniers des « land-facets » et des « land-systems » comme Webster, Christian, Troll, Ruellan, Tricart, et bien d'autres furent d'abord des photo-interprètes. Nous situons l'utilisation de ces outils dans le contexte de l'évaluation des paysages. Celle-ci constitue souvent un élément important d'une étude d'aménagement ou de remembrement d'une zone rurale.

Qui dit évaluation postule aussitôt critères d'appréciation; ceux-ci sont intimement liés au but poursuivi.

Ch. Christians [8], dans une première contribution pose le problème de la perception du paysage par

l'agriculteur, fort différente de celle du citadin en quête de loisirs ruraux : c'est la question importante de la « signification fonctionnelle et culturelle des paysages ruraux » [id., p. 2]. Mais à l'appréciation du touriste temporaire est venue s'adjoindre aussi celle du « rurbanisé ou du résident secondaire : « les gestionnaires du périmètre villageois sont essentiellement les ruraux non agricoles qui l'habitent ». Dans un deuxième article [9], il précise son point de vue qui est celui du géographe appliqué, au sujet de l'intégration ou de la prise en compte de l'intérêt paysagique et de l'écologie dans les opérations de remembrement. C'est dans un tel cadre qu'il situe l'évaluation des paysages et des sites remarquables. Cependant l'étude doit déborder des périmètres de remembrement pour évaluer les éléments de site de manière objective [id., p. 170]. Les critères proposés sont : esthétiques et sociaux (en tenant compte du caractère agricole propre à la région), économiques (production agricole), et écologiques (équilibres biologiques naturels). Bien entendu, une telle prise de position tient fortement compte de la survie d'un monde d'agriculteurs et non pas seulement de la valeur touristique ou d'environnement résidentiel du paysage. Elle s'oppose, comme le montrent les comptes-rendus d'une table ronde tenue en 1990 à Ath [20], à une perspective uniquement ou principalement orientée vers le tertiaire périurbain (ou « rurbain ») ou vers le tourisme et les besoins de délasserment. Ces points de vue sont très différents, le monde paysan ayant du paysage une vision plus fonctionnaliste et économique, même si une part d'esthétique ne lui échappe pas. Celle-ci sera accrue dans l'avenir si l'aménagement paysagique des campagnes intègre l'agriculteur comme agent économique et social d'embellissement ou de conservation des sites.

Ce point de vue est aussi celui de G. Neuray [18], [19] qui conçoit l'évaluation des paysages en fonction de l'aménagement des zones rurales au sens large. Il propose une politique paysagère grâce à une stratégie d'espaces ouverts, notamment agricoles, au maintien d'un patrimoine architectural, à l'assainissement et la conservation des sites de vallées, à la mise en évidence des reliefs. Une convergence se manifeste ainsi entre ces deux auteurs dont l'expression réside dans le maintien ou la restauration de la diversité des éléments de site. Cette diversité est explicitement ou implicitement recherchée par de nombreux chercheurs, qu'il s'agisse de schémas globalisants évaluation [13], [16], [17], [26], voir une synthèse de ces travaux dans Avocat [op. cit.] ou Flattrès-Mury, [14], ou de méthodes statistiques (CSW, Schéma Directeur de la vallée de l'Oise, [27]).

3. ÉTUDE DE LA DIVERSITÉ PAYSAGÈRE À L'AIDE D'INDICES

Dans une contribution à l'aménagement touristique de la Fagne, un travail de fin d'études a envisagé l'utilité de la télédétection et des systèmes d'information géographique pour la mise en évidence de cette diversité [25]. Le résumé de ce travail servira de fil conducteur à un essai sur la mesure paysagère. En effet, bien que le paysage et son évaluation contiennent une part indéniable de subjectivité, il convient de tenter d'exprimer ce jugement par des critères sur lesquels il est possible de trouver un consensus : ces critères doivent donc être aussi mesurables que possible, que cette mesure soit cardinale ou ordinale. Dans notre cas, le but est d'évaluer la diversité intrarégionale des paysages à l'aide d'indices. C'est une des vertus du système d'information géographique que de permettre un tel calcul.

Les critères sont en l'occurrence :

- l'affectation du sol exprimée par des classes et dérivée d'une image-satellite SPOT;
- le réseau hydrographique;
- un modèle numérique d'élévation (D.E.M.), extrait d'une carte topographique à 1/25.000.

La zone étudiée comprend les communes de Cerfontaine et Philippeville et couvre l'ensemble des retenues des barrages de l'Eau d'Heure (figure 1). Pour la classification au maximum de vraisemblance, on a choisi un certain nombre d'échantillons à l'aide d'une classification non supervisée [3], [7], [11]. Elle comporte 10 classes (feuillus, résineux, champs nus, deux types de céréales, cultures fourragères, prés, prairies pâtures, surfaces d'eau, espaces bâtis et carriers). Après vérification et rectifications, huit classes furent retenues et géoréférencées.

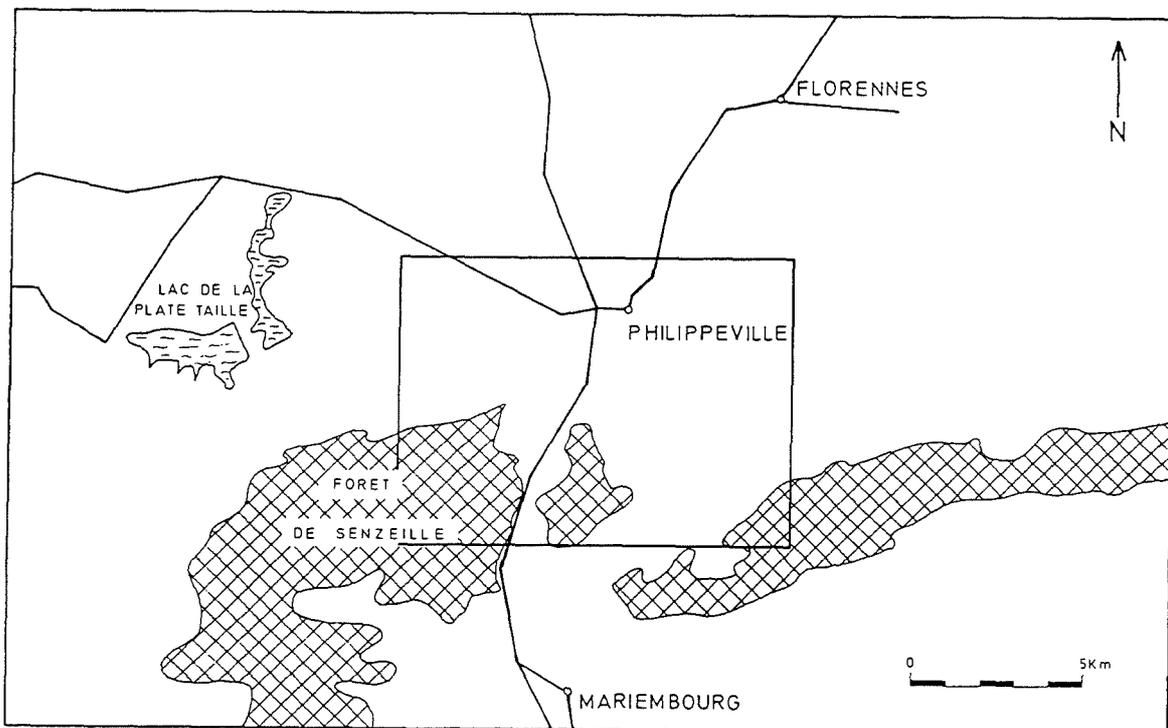


Figure 1 - Localisation du périmètre étudié

Le réseau hydrographique a été numérisé à l'aide du logiciel AUTOCAD puis rasterisé; le modèle d'élévation de terrain, établi par numérisation et interpolation des courbes de niveau à la résolution du fichier-satellite (20 m). Une procédure polynomiale, puis de rééchantillonnage au plus

proche voisin ont permis une coréférenciation des 4 couches du futur S.I.G. (affectation, réseau hydrographique, surfaces en eau, modèle d'élévation de terrain). Ces techniques sont classiques et on ne s'y attardera pas.

Par contre, le choix de l'unité paysagique est important, car la diversité est fonction notamment de la surface prise en considération. La gamme des rayons envisagés pour l'établissement de fenêtres circulaires mobiles figurant les champs de vision s'échelonne de 60 à 620 m (logiciel ERDAS). Ces fenêtres sont mobiles sur la grille matricielle (1.200 lignes. 1.700 colonnes). Le graphique du nombre de classes d'affectations incluses en fonction de la taille de la fenêtre a une forme logarithmique (figure 2). Le diamètre de 340 m (9,1 ha)

correspond à une fenêtre supérieure à la taille du parcellaire d'affectation. Cette limite est cependant insuffisante pour une étude de diversité paysagique. Le parcours de la région, l'aide de la carte topographique ont montré que la limite de diversité moyenne calculée de 5.75 correspondant à 500 m de rayon ou 81,7 ha fournissait un niveau de synthèse suffisant tout en permettant de distinguer dans la région des paysages aux caractéristiques propres (écart-type : 1,28).

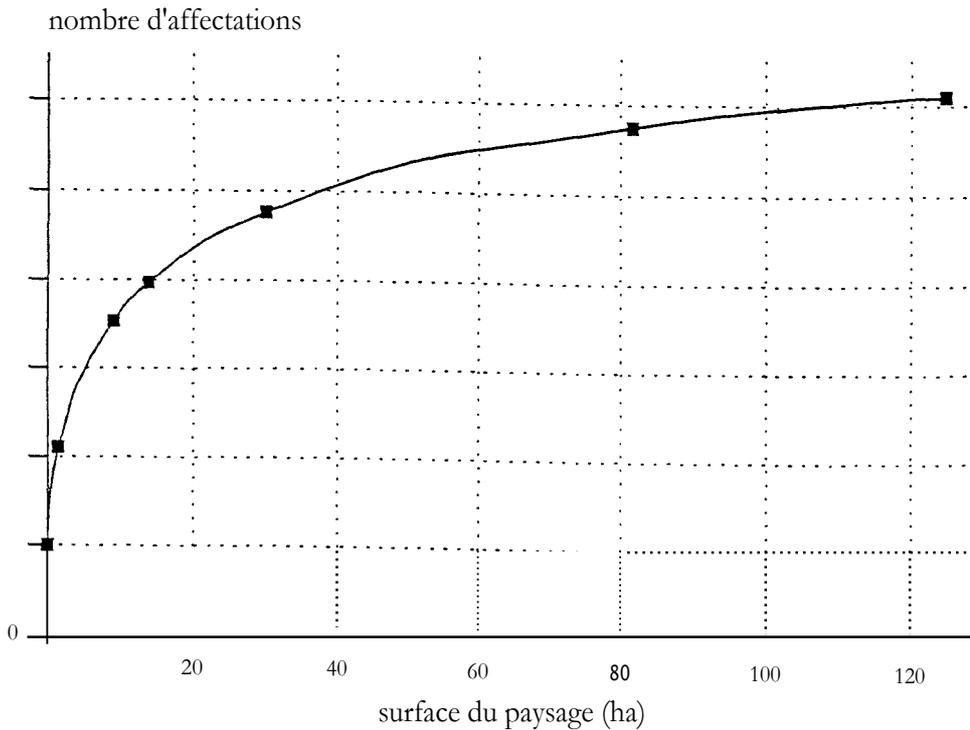


Figure 2 - Évolution du nombre d'affectations avec la taille de l'unité de paysage

3.1. Utilité des notions d'entropie et de dominance paysagères

La notion de diversité paysagère est basée sur le calcul de deux indices : l'entropie et la dominance. Le premier, dérivé de la théorie de l'information [23], [15], [25], [2] exprime la diversité d'une texture ou d'une structure. On le définit par :

$$N_i = \sum_{j=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}$$

où ici, pour un lieu (fenêtre centrée sur le pixel i), p_{ij} représente la proportion de la classe j présente dans cette fenêtre, n étant le nombre d'affectations considérées dans celle-ci (figure 3).

Complémentairement à cet indice de diversité, on a calculé un indice de similitude exprimant la proportion de pixels de même valeur que celle du pixel central de la fenêtre. La comparaison des valeurs prises par cet indice avec celles de l'entropie montre, comme on pouvait le présumer, une décroissance de la diversité avec la croissance de cet indice : il est clair que pour de fortes valeurs de similitude, la dominance d'un type d'occupation du sol prévaut.

Cependant, si on établit une relation (figure 4) entre les valeurs locales (unités de paysage) de l'indice de similitude et celles de l'entropie exprimées en pourcent, on peut faire les observations suivantes : la majorité des points du nuage se disperse entre deux courbes-enveloppes complexes. L'entropie

minimale coïncide, bien entendu, avec un indice de similitude égal à 100%. Mais le maximum de variabilité de l'entropie (80%) correspond à des valeurs de similitude comprises entre 5 et 35%. Ceci signifie qu'une grande variété de combinaisons de

classes d'occupation du sol peut exister dans le paysage quand le nombre de pixels semblables au pixel central est faible.

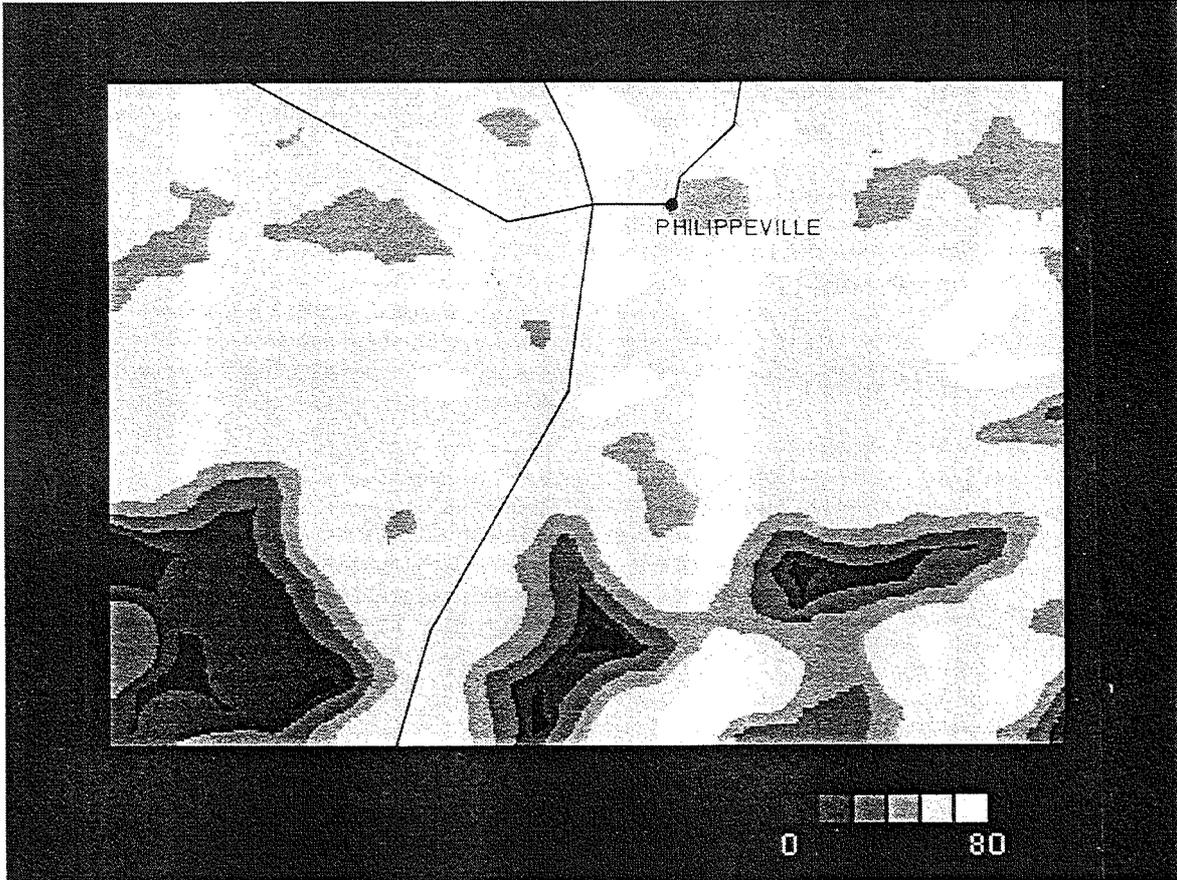


Figure 3 - Indice d'entropie (H)

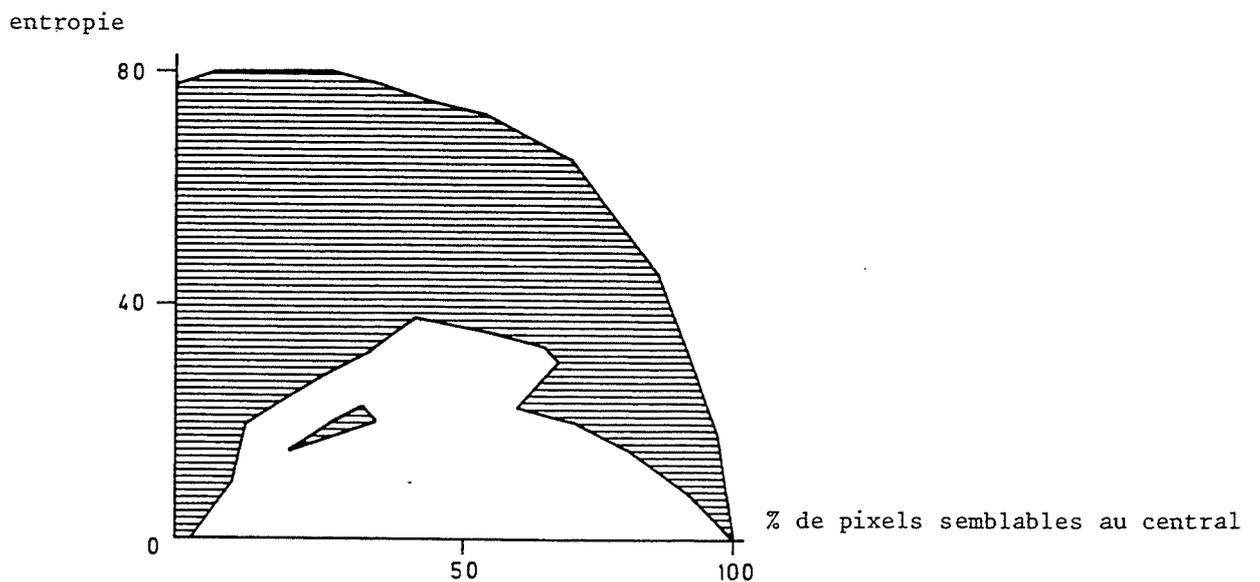


Figure 4 - Variation de l'entropie avec le pourcentage de pixels semblables au pixel central

Par ailleurs, le calcul du coefficient de corrélation entre l'entropie et la richesse relative de ces micropaysages en classes d'affectation du sol possède une valeur de 0,73; le degré d'association entre les deux variables est donc faible .

Cette faible dépendance de l'indicateur de diversité par rapport au nombre relatif de classes permet donc d'avancer la conclusion suivante : l'entropie est un bon indicateur des fréquences spatiales de chaque classe.

On pourra, en conséquence calculer un indice de dominance locale d'une ou plusieurs classes. Il s'exprime par l'écart entre l'entropie maximale (100%) et l'entropie du paysage micro-régional considéré.

3.2. Densité des lisières d'affectation

Si l'entropie rend compte de la bonne représentation de chaque catégorie, elle ne révèle rien du découpage de la surface et sur les arrangements spatiaux. C'est pourquoi, on a calculé la densité des lisières d'affectation en s'inspirant d'un travail de De Keersmaecker et al., [12]. Cette densité a été exprimée à l'unité de surface après totalisation des pixels de frontière dans l'unité de paysage (pour rappel, 500 m de rayon); les cours d'eau furent considérés seulement dans les espaces ouverts (non forestiers), compte tenu du but paysager de l'étude. Une densité élevée est évidemment caractéristique d'un paysage morcelé. La corrélation de la densité des limites d'affectation avec la richesse relative du paysage est faible (0,69). Ceci signifie que 48% seulement de la variance de la fragmentation du paysage sont expliqués par des variations du nombre relatif d'affectations.

3.3. Types de frontières d'affectation

Il s'agit ici de mesurer l'imbrication des affectations ou, en d'autres termes, l'hétérogénéité spatiale dans la répartition des classes. Un premier pas consiste à établir les combinaisons possibles des classes prises deux par deux parmi les huit types d'affectations retenus, soit 28.

Ensuite, on dénombre les frontières dans chaque unité de paysage. On divise ce nombre par 28 (maximum possible) et on multiplie le résultat par 100. On obtient ainsi un indice d'imbrication régional des affectations, soit :

$$E = (N/N_{max. \text{ régional}}) \times 100$$

Les combinaisons existantes sont obtenues aisément par masquage sur la classification de départ, à l'aide

d'un filtre 3 x 3. Vingt-huit fichiers sont ainsi superposés. Si on effectue une régression du nombre relatif de frontières sur le nombre relatif d'affectations, on obtient un coefficient de détermination égal à 0,80. Le nombre relatif de frontières est donc bien fonction du nombre relatif d'affectations. Par contre, une corrélation avec le parcellement est plus faible (54,6% de la variance de E est expliquée par celui-ci). On en conclura que le découpage de l'espace en affectations et l'imbrication de celles-ci sont deux indicateurs différents de la variété des paysages.

Dans le même ordre d'idées, on peut calculer l'hétérogénéité locale en analysant le nombre de pixels différents du pixel central dans une fenêtre circulaire de taille supérieure à la taille moyenne des parcelles. On obtient ainsi une moyenne micro régionale pour les unités de paysage. Celle-ci sera significative si une affectation domine dans chaque zone du paysage; au contraire, on ne pourra en tirer aucune conclusion si la répartition des affectations est homogène dans toutes les zones (dans le cas étudié, les huit affectations seront présentes avec une fréquence spatiale semblable). Cet indice sera évidemment fortement corrélé à l'entropie (ici 0,732) puisqu'ils expriment chacun l'hétérogénéité, soit au niveau local, soit au niveau régional.

3.4. Texture du paysage, contrastes et masses

On se réfère ici tout d'abord à une notion de texture proposée par Neuray [op.cit.]. Il s'agit de la rugosité du paysage exprimée par la réflectance des affectations vue à partir du point d'observation. Malheureusement, comme la couleur, elle varie selon les saisons. Ces deux indicateurs ne peuvent donc être pris en compte par la télédétection que dans la cas d'une étude multitemporelle à base saisonnière. Le même auteur introduit aussi la notion de rapport entre éléments ayant une certaine masse (forêts, fermes, rochers, ...) et les espaces ouverts. On l'abordera ici par le biais du parcellaire d'affectation pour lequel on introduit une pondération des limites verticales entre éléments de tailles différentes et en considérant, comme l'avait fait Neuray, les masses vivantes et construites (espaces bâtis). Les voies de communication importantes sont envisagées aussi comme coupures nettes et classées comme les espaces bâtis. Il en va de même des carrières (calcaires) selon qu'elles sont abandonnées (recolonisation par la végétation et envahies par l'eau) ou non. Les cours d'eau (aux rives souvent arborées) constituent également une limite observable. Chaque pixel a donc été codé selon son appartenance aux surfaces ouvertes ou aux

limites ci-dessus précisées. Une étude ultérieure permettrait de ventiler ces divers types de limites dans le codage. Dans le cas présent, les valeurs totales résultantes ont été attribuées par paysage-type au pixel central de celui-ci.

4. SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

Les quelques indices développés ci-dessus n'ont pas la prétention d'exprimer toutes les formes de

diversité d'un paysage régional. Une synthèse des principaux d'entre eux, comme la richesse en affectations, l'entropie, le découpage, le nombre relatif de frontières, la proportion de croisements entre limites d'affectations, la moyenne des hétérogénéités locales sur les unités paysagères ou encore les contrastes issus des limites verticales entre éléments massifs du paysage, a été réalisée par analyse en composantes principales.

Tableau 1 - Pourcentage de variance pris par chaque composante et saturations des indices sur les composantes

	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8
% variance	81.46	7.39	4.44	3.21	1.64	1.07	0.65	0.12
saturation								
richesse	0.822	0.359	-0.073	0.315	-0.089	-0.034	0.005	0.005
entropie	0.972	0.096	-0.146	-0.205	-0.152	0.014	-0.004	-0.004
découpage	0.948	-0.194	-0.093	0.032	0.072	-0.059	-0.061	-0.061
découpage + rivières	0.970	-0.210	-0.010	0.000	0.067	-0.056	0.059	0.059
type de frontières	0.892	0.479	0.155	-0.123	0.192	0.036	0.000	0.000
croisements	0.792	-0.147	0.584	0.000	-0.094	-0.044	0.000	0.000
hétérogénéités locales	0.729	-0.483	0.000	0.530	0.097	-0.051	0.000	0.000
contrastes	0.921	-0.244	0.010	0.122	0.010	0.233	0.000	0.000

Celle-ci conduit aux résultats suivants :

- La première composante explique une part considérable de la variance totale (plus de 80%); les autres sont peu ou pas corrélés avec les indices et ne rendent compte que d'une faible part de celle-ci (de 7,39 à 0.12%).
- Au sein de la première composante, l'entropie et le découpage par les affectations (proportions des limites entre classes) expriment le mieux la diversité paysagère en raison de la forte corrélation qu'ils possèdent avec celle-ci. C'est donc, semble-t-il, sur la carte de l'entropie ou sur celle des densités de limites d'affectations que doit prioritairement se porter la réflexion.

En outre, un indicateur basé sur la topographie a été élaboré : il considère le maximum et le minimum des dénivelées dans une fenêtre 3 x 3 pixels. Les valeurs ainsi obtenues ont été codées pour exprimer l'attractivité engendrée par le relief. Comme il fallait s'y attendre, cet indice est corrélé faiblement et négativement avec la première composante principale exprimant la diversification du paysage par les affectations, un relief important étant souvent caractérisé par la seule affectation forestière. Ces deux indicateurs sont donc complémentaires et leurs interrelations devraient faire l'objet d'une étude ultérieure.

Ainsi les indices de diversité fournissent un élément important pour l'évaluation des paysages. Complétés par une étude diachronique tant saisonnière qu'inter annuelle, ils contribuent à une perception consensuelle de ceux-ci. Cependant, le choix des éléments retenus pour les construire est tributaire du contexte social et économique, donc d'une époque et d'une culture.

RÉFÉRENCES

- [1] AVOCAT, C., 1982, Approche du paysage, *Revue de Géographie de Lyon*, 4, 333-342.
- [2] BEGUIN, H., 1979, *Méthodes d'analyse géographique quantitative*, LITEC, Paris.
- [3] BRUNEAU, M., KILIAN, J., 1984, Inventaires agro-écologiques, paysage et télédétection en milieu tropical, *L'Espace Géographique*, 3, 215-224.
- [4] BRUNET, R., 1972, Pour une théorie de la géographie régionale, *Mélanges offerts au Professeur Meynier*, Rennes, 649-662.
- [5] BRUNET, R., 1980, La conception des modèles dans l'analyse spatiale, *L'Espace Géographique*, IX, 4, 253-265.

- [6] BRUNET, R., 1980, Mondes nouveaux, *Géographie Universelle*, (R. Brunet & O. Dollfus, éd.), 1, Hachette-Reclus, 551 p. (chapitres 6 et 8).
- [7] CAMPBELL, J.B., 1987, *Introduction to Remote Sensing*, Guilford Press, New York, 551 p.
- [8] CHRISTIANS, C., 1978, Les paysages ruraux wallons, *Revue de la Société d'Etudes et d'Expansion*, 278,787-795.
- [9] CHRISTIANS, C., 1979, L'évaluation des paysages et sites ruraux - Essai de méthode et résultats dans quelques régions wallonnes, *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 15, 167-208.
- [10] DAUPHINE, A., 1972, *Espace, Région et Système*, Economica - Géographie, 1, Paris, 167 p.
- [11] DE KEERSMARCKER, M.L., 1987, Stratégie d'échantillonnage des données de terrain intégrées à l'étude des images satellitaires, *L'Espace Géographique*, 3, 195-205.
- [12] DE KEERSMARCKER, M.L., JAQUES, P., WILMET, J., 1987, Analyse de données multispectrales de SPOT relatives à une zone de contact entre deux régions géographiques de la Belgique méridionale, *SPOT-1 - Utilisation des images, bilan, résultats*, CEPADUES, Toulouse, 637-646.
- [13] FINES, K.D., 1968, Landscape evaluation : a research project in East-Sussex, *Regional Studies*, 2, 41-55.
- [14] FLATRES-MURY, H., 1982, Analyse et évaluation des paysages, *Revue de Géographie de Lyon*, 4, 343-363.
- [15] HARALICK, R.M., SHANMUGAN, K., DIENSTEIN, I., 1973, Textural Features for Image Classification, *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics*, 3-6, 610-621.
- [16] KIEMSTEDT, H., 1968, *Zur Bewertung der Landschaft für die Erholung*, Eugen Ulmer Ed., Stuttgart.
- [17] LINTON, D.L., 1968, The assessment of scenery as a natural resource, *Scottish Geographical Magazine*, 84,219-238.
- [18] NEURAY, G., 1982, *Des paysages, pour qui, pourquoi, comment ?*, Presses agronomiques de Gembloux, 534 p.
- [19] NEURAY, G., 1991, Le développement rural par le biais des politiques d'aménagement du territoire, *Revue Belge de Géographie*, 115, 303-309.
- [20] -, 1991, *Rénovation rurale en Wallonie*, Comptes-rendus du Colloque Agrofora de Ath, *Revue Belge de Géographie*, 50, 299-359.
- [21] RIMBERT, S., 1982, Détection de linéaments en paysages urbains, *Journées de télédétection en milieu urbain*, CNRS, Paris, 89-99.
- [22] ROUGERIE, G., BEROUTCHACHVILI, N., 1991, *Géosystèmes et Paysages. Bilan et méthodes*, Colin, Paris, 302 p.
- [23] SHANNON, C.E., 1948, A Mathematical Theory of Communication, *Bell System Technical Journal*, 27, 379-423 et 623-656.
- [24] THEIL, V., 1967, *Economics and information theory*, North Holland, Amsterdam.
- [25] TIRTIAUX, V., 1993, *Mise en évidence de la diversité paysagère en Fagne par télédétection et les systèmes d'information géographique*, mémoire de licence de l'Université Catholique de Louvain-la-Neuve, inédit.
- [26] WALLACE, B.C., 1974, Landscape evaluation and the Essex coast, *Regional Studies*, 8, 299-305.
- [27] ZUBE, E.H., ANDERSON, T., PITT, D., 1973-1974, Measuring the landscape : perceptual responses and physical dimensions, *Landscape Research News*, 1-6.

Jules WILMET, Vinciane TIRTIAUX
& Jean-Pierre HEYLEN
Laboratoire de Télédétection et Analyse Spatiale
Bâtiment Mercator
Place Louis Pasteur 3
1348 LOUVAIN-LA-NEUVE, BELGIQUE