

Lieu-objet et champ morphogénétique

Sébastien GADAL et Georges NICOLAS
Doctorant CAMS, EHESS - Université de Lausanne

1. FONDEMENTS ET LIMITES DES REPRESENTATIONS CARTOGRAPHIQUES

1.1. LIMITES DE L'INTERFACE "HOMME / INFORMATION" EN CARTOGRAPHIE

Quelles soient générales ou très spécialisées, les cartes sont comprises car elles fournissent des informations utiles aux utilisateurs. Elles leur permettent de réfléchir, de prendre des décisions ou d'agir à la surface de la Terre. Cependant, des contraintes de fabrication et d'utilisation précises se cachent sous cet aspect utilitaire immédiat.

Une carte est fabriquée à l'aide d'un système de coordonnées et de projection géodésique. Elle utilise un rapport numérique inverse entre les objets représentés et les signes qui les représentent. L'échelle cartographique est d'autant plus petite que l'objet est grand et réciproquement. L'échelle cartographique est donc inverse de l'échelle géographique et la lecture d'une carte n'est pas immédiate car elle fait appel à un certain degré d'abstraction.

L'utilisateur doit "reconnaître" les informations représentées et donner un sens géographique "concret" aux signes utilisés. Sur les cartes anciennes ces derniers étaient d'ailleurs directement inspirés par les objets. Les montagnes étaient représentées par des petits monticules, les villes par des clochers avec des maisons autour, les champs par des rangées d'épis de blé etc. Avec le temps, ces signes sont devenus abstraits: la couleur verte a remplacé les dessins d'arbres, les courbes de niveau se sont substituées aux monticules etc.

Cependant, à l'usage, ces signes se fossilisent. Il ne vient plus à l'idée d'un cartographe moderne classique de teinter les forêts en rouge alors que rien logiquement ne s'y oppose ! Mais, en plus, un sens symbolique se superpose à la signification sémiologique des formes: l'Italie devient une "botte", la Lotharingie une "banane", l'Empire britannique une "pieuvre" etc. La symbolique des signes employés et leur permanence jouent donc un rôle contraignant dans la perception des résultats de l'emploi des techniques de transmission de l'information en cartographie classique. Les cartes sont aussi des "cartes images".

1.2. LES CONTRAINTES SUPPLEMENTAIRES IMPOSEES PAR LE NUMERIQUE

Les "cartes images numérisées" sont soumises à toutes les contraintes des "cartes images" classiques (papiers ou autres): utilité, représentation à l'aide de signes conventionnels, exigences et limitations liées au système de projection, dérives symboliques.

Cependant, de manière générale, le passage de l'information analogique sur la carte "classique" à l'information digitale sur la carte "numérisée" a déplacé les contraintes. La numérisation de l'information permet certes une plus grande souplesse dans l'utilisation des cartes. Mais, prise dans son sens large, la forme, ensemble de caractéristiques graphiques (points, lignes, surfaces, textures et couleurs), est moins prégnante sur les cartes numérisées que sur les cartes classiques. Le sens symbolique immédiat est quasiment absent. Ce qui ne veut pas dire qu'il ne puisse pas réapparaître à un moment ou à un autre.

La multiplication des possibilités de mise en forme, en relation, en représentation et en temps réel permet de mettre en évidence de nouveaux types d'informations spatiales. Ces possibilités nouvelles sont permises par l'utilisation d'informations spatiales comme les images satellitales. Par exemple, l'introduction d'informations spectrales invisibles à l'œil permettent de nouvelles représentations de l'espace par la mise en évidence des propriétés non immédiatement visibles des objets géographiques. Elles sont également liées à la capacité fournie par l'emploi de informatique de mettre en relation des informations de la carte numérique avec elle-même ou avec d'autres sources. Cette mise en relation emploie des méthodes logiques classiques ou non (diagrammes de Venn, arborescences, etc.), des transformations géométriques (transformée de Karhunen-Loeve, etc.) ou encore des méthodes combinatoires (fusion arithmétique, régression linéaire, etc.). Tous ces nouveaux procédés d'analyse et de représentation permettent de mettre en évidence les structures spatiales non directement visibles ou perçues et d'augmenter considérablement la possibilité de décrire les informa-

tions géographiques. Enfin, le caractère numérique de l'information géographique représentée sur ces nouvelles cartes accélère considérablement leur mise à jour qui peut être instantanée. Toutes fournissent une représentation de l'espace renouvelée.

Cependant, la combinaison entre ces contraintes anciennes et nouvelles génère des problèmes nouveaux de mise en forme informatique et mathématique qui sont liés aux caractéristiques des objets géographiques.

1.3. LE RAPPORT OBJET / FORME / STRUCTURE EN CARTOGRAPHIE NUMERISEE

L'objet est représenté à l'aide d'une unité abstraite, le pixel, dont les relations génèrent des structures qui ont une forme préalable à toute représentation à l'aide d'une forme connue. En effet, cette image générée par les informations numérisées n'a aucun rapport direct avec la forme habituelle des objets. Par conséquent, d'une part, la représentation graphique des informations électromagnétiques reçues ne rend pas les objets observés immédiatement identifiables; d'autre part, on est obligé de s'interroger sur les discontinuités qui apparaissent lors de leur restitution numérique. S'agit-il de différenciations entre objets différents ou à l'intérieur d'un même objet ? L'image numérique de télédétection requiert donc la fabrication de couches intermédiaires successives beaucoup plus élaborées entre la prise d'information et son emploi par les utilisateurs finaux.

La méthode morpho-génétique de représentation géographique interprète ces discontinuités comme des discontinuités spatiales. Elle les met en évidence de façon automatique sans tenir compte de leurs déterminations préalables, pour ensuite les représenter graphiquement sous la forme d'isolignes. Il faut donc rechercher leur signification géographique en tant que limite ou frontière et c'est ici qu'apparaissent les problèmes ontologiques.

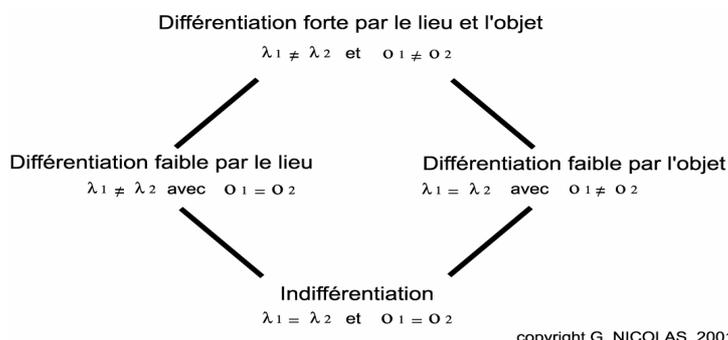
2. LA LOCALISATION ET LA CARTE, LE LIEU ET LA MAPPE

2.1. LE LIEU - OBJET DES GEOGRAPHIES

Sur une carte classique ou numérisée les objets représentés sont matériels ou immatériels; par exemple: la culture du blé, le commerce du blé, la spéculation boursière sur les récoltes...etc. Chacun de ces objets a un *lieu* car, à la surface de la Terre, il ne peut exister d'objet sans lieu. En revanche, on peut concevoir un lieu sans aucun objet: le *lieu vide*. Ce dernier joue d'ail-

leurs un rôle essentiel en cartographie car il permet de travailler avec des *localisations* qui ne donne aucune information sur les lieux et sur les objets. Par conséquent, sur une feuille de papier ou sur un écran d'ordinateur avec des axes de repérage ou des systèmes de projection, il n'y a que des localisations qui, par définition, sont toutes équivalentes.

L'information traitée concerne donc, soit l'objet, soit le lieu. Quatre cas peuvent se présenter pour le couple: $\langle \text{lieu} = \lambda, \text{objet} = o \rangle$



Cependant, une même localisation peut comporter plusieurs objets et même plusieurs objets dans un même objet. Ainsi, sur le quai d'un port, un conteneur qui est un objet avec une seule localisation, peut contenir plusieurs sortes d'objets qui ont évidemment la même localisation que le conteneur. La localisation de chaque *objet* est donc indissociablement lié à la localisation du *lieu* correspondant à chacun des objets. L'information trouvée dans chaque localisation doit donc être *différenciée* sémantiquement (l'objet est différent d'un autre objet) et en plus *différenciée* spatialement (à la surface de la Terre). Car, en français les deux orthographes: "différenciation" et "différenciation" sont possibles. Elles offrent la commodité de pouvoir distinguer la "différenciation générale" de la "différenciation géographique", la deuxième étant un cas particulier de la première.

2.2. LA CARTE ET LA MAPPE

Du moment que le lieu - objet et la localisation sont des choses distinctes mais liées, il est évident que leur utilisation séparée ou simultanée va générer des types différents de représentations.

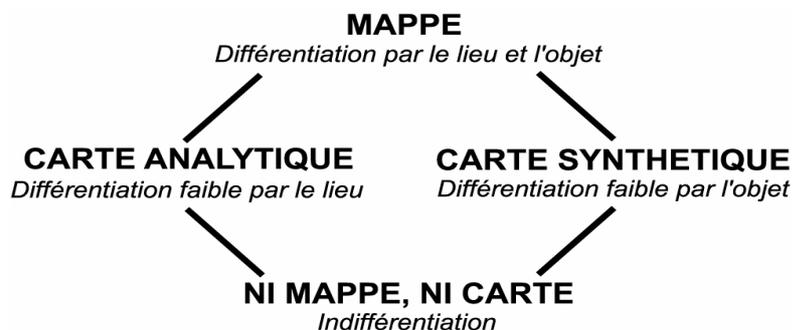
Si *les lieux sont différenciés*, mais pas les objets, on dit que le couple est faiblement différencié par les lieux. C'est le cas des informations qui ne désignent qu'une catégorie d'objets: par exemple, les plissements et les

accidents tectoniques (lieux géologiques), les frontières d'États (lieux politiques), les chiffres de populations (lieux démographiques), les impulsions électromagnétiques (lieux numérisés) etc. Les unes et les autres ne sont différenciées que par la position où elles se trouvent et par conséquent il est possible de réduire les lieux aux localisations. Ces informations génèrent des *cartes analytiques* comme les *cartes morpho-génétiques initiales* (voir point 3)

En revanche, si seuls *les objets sont différenciés*, on dit que le couple est faiblement différencié par les objets. Il s'agit d'éléments différents concernant des lieux indifférenciés. La différenciation est générée par l'objet (différenciation faible), tous les lieux se confondent, et sur une même carte il est possible de représenter beaucoup d'objets dans chaque localisation. Les localisations des objets permettent de représenter les lieux-objets dont seuls les objets sont différenciés: ce sont des *cartes synthétiques* à informations multiples dans chaque localisation comme les cartes de "camemberts", d'histogrammes, ou encore les *cartes morpho-génétiques intermédiaires* (voir point 3).

Enfin, si *les lieux et les objets sont tous deux différenciés*, on dit que le couple est fortement différencié par les lieux et les objets. C'est le cas des *cartes morpho-génétiques finales* (voir point 3).

A l'inverse, si *les lieux et les objets sont indifférenciés*, on dit que le couple est indifférencié. Abstraitement, en théorie économique, une "plaine de transport" homogène où on peut se déplacer au même coût indifféremment dans toutes les directions en générant des réseaux de transports de formes identiques est un espace géométrique qui n'est différencié ni par les lieux ni par les objets. Concrètement, c'est le cas de nombreux espaces créés volontairement à la surface de la Terre afin de remplir une condition d'indifférenciation: par des prix protégés, par une mise en concurrence parfaite, par une protection douanière, par une accessibilité uniforme, etc. Ceci étant, si à une échelle donnée ces espaces sont non géographiquement différenciés, ils peuvent le devenir à une autre échelle.



copyright G. NICOLAS, 2001

3. LA METHODE MORPHO-GENETIQUE DE REPRESENTATION GEOGRAPHIQUE

3.1. QU'EST CE QUI EST REPRESENTÉ SUR UNE IMAGE NUMERISÉE ?

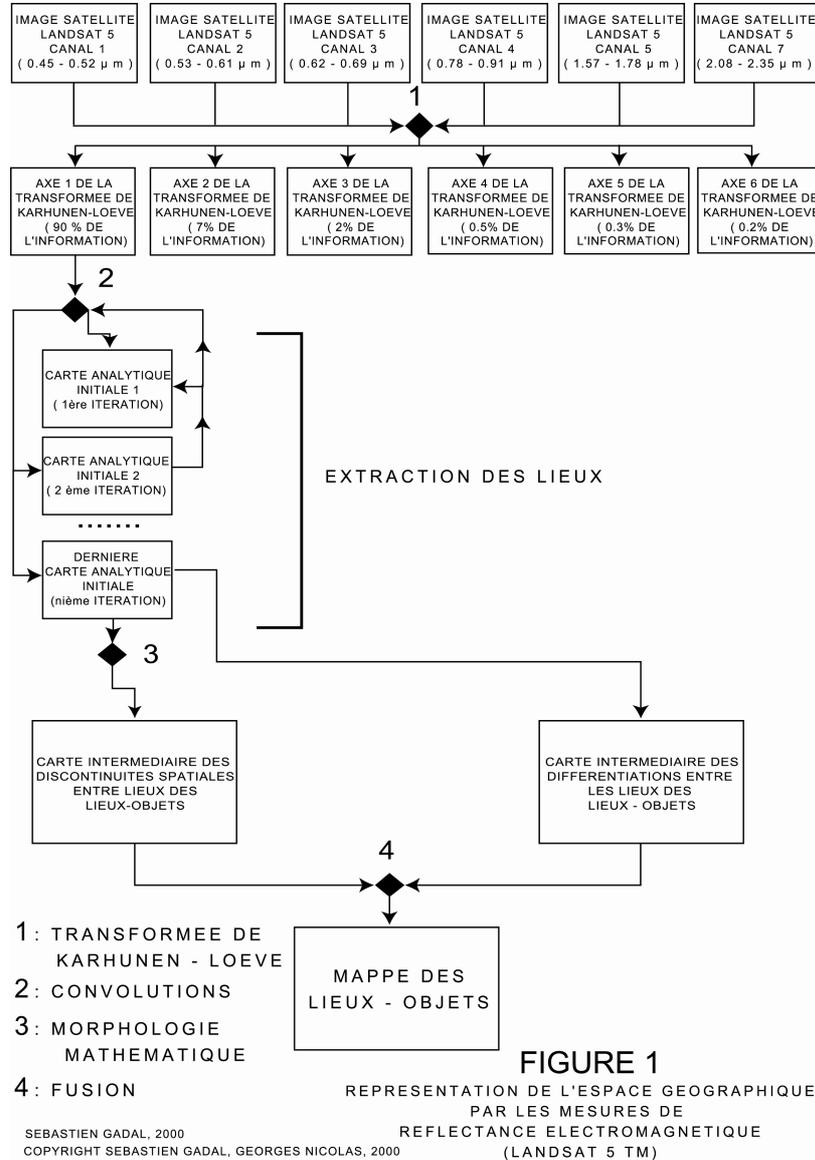
Un problème courant en cartographie classique consiste à essayer de représenter dans une même localisation plusieurs objets différents qui ont chacun un lieu. Mais on rencontre le même problème sur les cartes numérisées à partir du moment où tous les objets ont été identifiés et représentés à l'aide d'un signe. Ceci étant si, au départ, on se limite à utiliser uniquement les impulsions électromagnétiques comme dans le cas de la carte morpho-génétique, on se trouve devant le problème inverse. A savoir, comment identifier et représenter différents "objets concrets" à partir d'un seul type de "lieu physique" ? Ou encore, comment identifier des objets concrets à partir des variations de l'enregistrement d'un seul type de lieu aux localisations multiples ?

La méthode morpho-génétique de représentation géographique exposée répond à ce problème de reconnaissance et d'identification des lieux d'objets géographiques. Elle génère des cartes morpho-génétiques de discontinuités spatiales qui sont des représentations des structures de l'espace géographique. C'est à partir de leur mise en évidence que sont reconnus puis identifiés les « lieux-objets » par la recherche de leurs limites qui donnent naissance à des mappes morpho-génétiques (Figure 1). La méthode fait appel à des données de télédétection optique qui sont une représentation de la mesure des réflectances électromagnétiques des lieux-objets géographiques et de leurs relations, c'est à dire de l'espace géographique. C'est l'associativité des différentes mesures des réflectances qui donne

corps au couple « lieu-objet ». En effet, les données fournissent une image spectrale rarement homogène de « lieux-objets » multiples. Chacune de ces images est un ensemble de pixels qui concerne des lieux différenciés reflète d'un complexe de lieux-objets. Cet ensemble intègre donc une multitude d'attributs dans une seule localisation. C'est ce qui fait la richesse et l'intérêt des images de télédétection.

La détection des discontinuités spatiales et leur représentation fait appel à deux procédures de calcul successives. Pour commencer, l'emploi de la transformée de Karhunen-Loeve (KL) qui correspond en traitement d'image à l'analyse en composante principale (ACP) en analyse de donnée, vise à concentrer sur un axe le maximum d'informations en terme de variance. Cette concentration améliore la capacité de discrimination des lieux-objets géographiques. Les valeurs statistiques relatives aux autres axes de la transformée KL constituent un réservoir d'informations qui par leurs contenus inédits peuvent enrichir la connaissance du territoire observé. Ensuite, les opérateurs statistiques locaux permettent d'ajuster l'information géographique contenue dans les images satellitales par rapport au niveau spatial étudié. Ces opérateurs mathématiques servent à effectuer des opérations de regroupement par voisinage et convolution à l'aide de fenêtres mobiles de taille variable. Le choix de la taille de la fenêtre mobile détermine le degré d'ordre du voisinage. Il fixe le niveau spatial d'agrégation ou de désagrégation de l'information spatiale contenue dans l'image de télédétection. L'information géographique de l'image satellitale vis à vis du niveau spatial étudié est ainsi optimisée. Le but de ces deux traitements est d'optimiser statistiquement à un niveau donné l'information géographique contenue dans les images de télédétection.

Enfin, la reconnaissance, l'extraction des discontinuités spatiales et leur indexation à l'aide d'un attribut numérique se font par la transformation morphologique de l'image précédemment filtrée. L'opération morphologique consiste en un amincissement associé à une convergence à l'aide de l'élément structurant Golay H. On obtient ainsi une représentation de l'espace géographique en isolignes de discontinuités spatiales. Chacune d'entre elle appartient à une entité spatiale qui forme un couple « lieu-objet ». Elles sont à la fois des localisations en chaque point de l'isoligne, une mesure quantifiée et l'expression d'une géométrie. La localisation des *bords*, c'est-à-dire la discontinuité qui marque la limite du « lieu-objet » donne à la fois la forme de l'objet et sa localisation. Les localisations des discontinuités spatiales intrinsèques à l'objet lui confèrent sa morphologie et son degré de différenciation par rapport aux autres objets. Les coordonnées de localisation des discontinuités spatiales génèrent une représentation de la morphologie de l'espace et de chacun de ses composants « lieu-objet »



3.2. LE CIRCUIT GEOGRAPHIQUE: INFORMATION, REALITE, REPRESENTATION, REALITE

Les cartes images qui sont fabriquées grâce à la méthode morpho-génétique de représentation géographique sont incluses dans un circuit qui appréhende la réalité de manière électromagnétique, la restitue à l'aide de pixels et de formes différenciées, la représente à l'aide de "cartes images" successives (Figure 2). Ces dernières fournissent ensuite une perception de l'espace sous la forme de mappes par l'introduction des critères de différenciation du « lieu-objet ». Elles peuvent alors servir comme bases de modélisation de la réalité ou comme instrument d'action sur cette dernière.

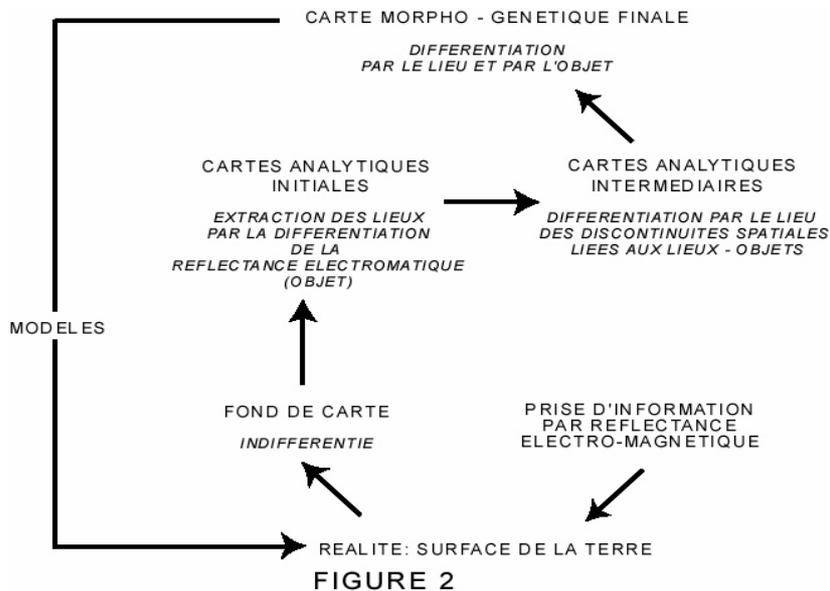
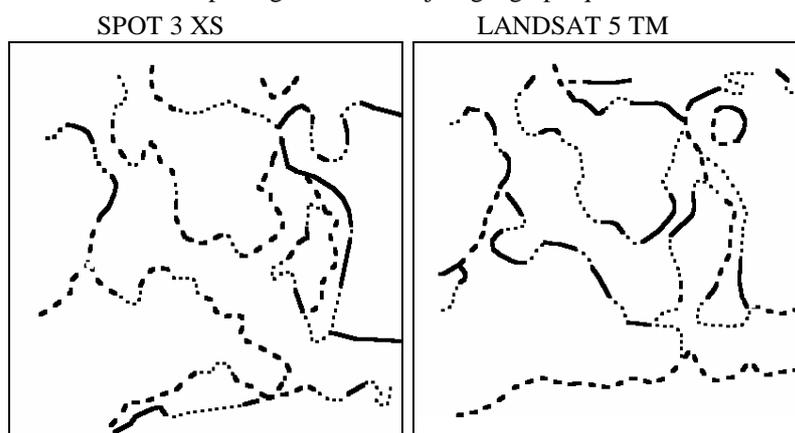


FIGURE 2

Cette construction de la réalité est faite à partir de données images issues de la mesure électromagnétique de la surface terrestre. Elle est conditionnée par les caractéristiques physiques et géométriques de mesure du capteur. La résolution spectrale (le nombre de bandes spectrales, les longueurs d'ondes couvertes) et la résolution spatiale (la taille du pixel) relèvent fondamentalement de la dialectique « unité statistique spatiale / information géographique représentée » (dialectique localisation / lieu-objet). Elle constitue un premier filtre par la nature des données produites et utilisées ensuite dans la fabrication des cartes, puis des mappes. Les données

employées influencent considérablement la représentation de l'espace et de sa réalité. Elles ont cependant un caractère d'indifférenciation *a priori* qui n'altère pas la valeur du caractère de la réalité géographique mesurée et représentée dans l'image de télédétection.

Variabilité des morphologies "lieux-objets géographiques"



Légende

—	Frontière de rupture linéaire {A1, B2, C3, E4}
- - -	Frontière de rupture de transition {B3, B4, C4, D4}
.....	Frontière de transition {A2, A3, A4}

Le rapport « localisation / lieu-objet » a une influence sur la nature morphologique du « lieu-objet », c'est-à-dire sur la localisation de ses limites, ce qui fait de l'objet géographique un lieu aux frontières et aux dimensions multiples.

CONCLUSION

Qu'elles soient "classiques" ou "numérisées", les représentations graphiques géographiques sont du même type. Mais les "cartes images" fabriquées grâce à la méthode de représentation morpho-génétique permettent d'intégrer dans un circuit opératoire unique tous les types de cartes et de mappes réalisables. Ce qui est habituellement séparé dans les représentations classiques peut ainsi être réalisé par le même utilisateur.

Loin d'introduire un fossé entre "géographie classique" et "géographie moderne" la notion de *lieu - objet géographique* permet de comprendre en utilisant la méthode de représentation morpho-génétique le circuit

établi entre tous les types de géographies et de représentations géographiques (cartes et mappes). Cette conception permet également de comprendre que le lieu est la *quatrième dimension* de la mappe mais qu'il est présent à toutes les étapes du circuit: réalité, information, représentation, réalité contrôlée par l'observateur. Ce circuit permet également de comprendre que le "mo-dèle", loin d'être exclusif de la représentation géographique, n'est qu'un moment dans le circuit. Ce qui est essentiel du point de vue scientifique, c'est l'adéquation entre le "modèle" et la "réalité" établi en établissant la relation: réalité, représentation, modèle, retour à la réalité.

© Sébastien Gadal et Georges Nicolas