



HAL
open science

La carte, un modèle analogique mobilisant le calcul spatial

Olivier Bonin

► **To cite this version:**

Olivier Bonin. La carte, un modèle analogique mobilisant le calcul spatial. Communication & langages, 2014. halshs-01676425

HAL Id: halshs-01676425

<https://shs.hal.science/halshs-01676425>

Submitted on 8 Jan 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La carte, un modèle analogique mobilisant le calcul spatial

Olivier Bonin
olivier.bonin@ifsttar.fr

Résumé

La carte est un objet entretenant un rapport étroit avec la mesure, rédigée par le cartographe à partir d'un ensemble de mesures prises sur le terrain et devenant elle-même outil de mesure. L'article propose d'étendre ce constat en considérant la carte comme un modèle, au même titre qu'un modèle mathématique ou un modèle physique, en adoptant l'approche relationnelle de Robert Rosen. Cette approche permet d'analyser de manière nouvelle la dialectique entre carte et mesure et la façon dont la carte fait émerger du sens en mobilisant les opérations d'analogie et de comparaison qui font partie des opérations de base du calcul spatial.

Mots-clés

Cartographie, modélisation, calcul spatial

1. Introduction

La carte, de même que son homologue urbain à grande échelle, le plan de ville, est un objet particulier, combinant un caractère scientifique, un caractère utilitaire et un caractère esthétique. Son caractère scientifique lui vient de sa fabrication, qui suppose la plupart du temps l'acquisition de mesures de positions à la surface de la Terre, parfois par des techniques très sophistiquées. Son caractère utilitaire est multiple, mais ancré dans une longue tradition, notamment avec les cartes marines, puis les cartes routières et aujourd'hui les logiciels de navigation. Enfin, son caractère esthétique est indéniable ; l'IGN employait encore il y a peu des « artistes cartographes ». La carte tire ses deux premiers caractères d'un rapport étroit à la mesure, en tant qu'elle est constituée à partir de mesures, et devient elle-même outil de mesure. C'est d'ailleurs ce qui confère à la carte dans son ensemble un caractère d'indice dans la terminologie de Peirce¹. Étant donnés les liens entre carte et mesure, nous proposons dans cet article une lecture de la carte en tant que modèle, au même titre qu'un modèle mathématique, un modèle réduit ou un modèle de simulation. Les mesures font partie des opérations d'encodage et de décodage du système naturel dans ce modèle. Celui-ci est analogique, développe une métaphore du monde, et ne fait rien, c'est-à-dire n'évolue pas, ne produit pas spontanément de mesure ou d'analyse. Nous utiliserons cette définition de la carte comme modèle pour tenter d'analyser la manière dont la carte peut construire des messages et finalement permettre l'émergence du sens.

La définition de la carte comme modèle permet de clarifier trois points qui nous semblent importants quand on s'intéresse à la cartographie. Le premier point déjà évoqué est que la carte est dans un rapport dialectique avec la mesure. Nous montrerons que, **du fait** de la nature particulière de la représentation cartographique, ce rapport entre carte et mesure est à la fois intuitif, puisque le lecteur peut utiliser la carte et la comprendre sans nécessairement connaître les modèles mathématiques de projection et les méthodes de mesure qui ont servi à la constituer, et tributaire de limitations. Le deuxième point est que la carte comme modèle permet de considérer les relations d'encodage et de décodage entre un système naturel et un modèle, qui vont jusqu'à établir une pulsation entre ces deux entités, pour reprendre le terme de René Guitart². La carte s'analyse alors à la lumière des choix et conventions d'abstraction, de symbolisation, mais également de lisibilité et d'esthétique, qui ont été opérés par le cartographe et dont le lecteur a plus ou moins conscience. Enfin, la carte est un modèle qui fait émerger du sens, ce qui suppose que les relations d'encodage et de décodage multiples qui participent à la constitution et à l'exploitation de ce modèle soient accessibles et un minimum partagées. En effet, la carte, de par sa nature graphique, qui combine dessins, figurés et écritures arrangés sur une feuille, mobilise le calcul spatial, qui est une façon d'appréhender le monde et les phénomènes différente de la logique. La carte rend visible, et cette matérialisation d'informations joue également un rôle de médiation pour des concepts. Avant d'analyser les rapports entre carte et mesure, et notre proposition de carte comme modèle, nous introduisons une brève réflexion sur les cartes et les données géographiques qui aidera à préciser notre position.

¹ Charles Sanders Peirce, *Collected Papers*, Harvard University Press, 1931-1935.

² René Guitart, *La pulsation mathématique (rigueur et ambiguïté, la nature de l'activité mathématique, ce dont il s'agit d'instruire)*, L'Harmattan, Paris, 1999.

2. Carte et données, carte et « fond de carte »

La carte est un objet polymorphe, et le mot « carte » lui-même renvoie à des significations très variées. Nous ne tenterons pas ici de proposer une définition de la carte, sinon en remarquant que sa constitution passe systématiquement par la constitution de données géographiques, généralement sous forme de coordonnées de points à la surface de la terre, par une opération de projection pour passer de la surface du globe à une représentation plane et, enfin, par un travail de rédaction cartographique qui transforme ces points du plan en un ensemble de points, lignes, surfaces, poncifs, figurés, écritures, etc. Une carte pouvant représenter des informations topographiques très variées, ainsi que des informations thématiques spatialisées, nous considérons qu'il s'agit d'une représentation d'un « système naturel », en empruntant le vocabulaire de la modélisation de Rosen³. Notons que certaines cartes sont appelées « plans » plutôt que « cartes » : on parle de carte pour un département ou une région et de plan pour une ville. Nous verrons dans la suite de cette réflexion que cette distinction n'est pas seulement liée à l'échelle de la représentation (grande échelle pour le plan) et est plus profonde qu'il n'y paraît. Les plans peuvent constituer une catégorie de modèles distincte des cartes non dans leur forme mais dans leur finalité.

On peut commencer par souligner la distinction usuelle entre la carte comme objet en soi », et le fond de carte, considéré comme un support de spatialisation d'une information qui existe en dehors de la carte, et donc comme un élément participant à la fabrication de cette dernière. On parle alors de carte « thématique », par opposition à la carte « topographique », dont la seule finalité serait de représenter un référentiel spatial, la topographie, étymologiquement la « position des lieux », à l'exclusion de toute autre information. Ainsi, la carte topographique serait l'archétype de la carte utilitaire, qui permet de se repérer à la surface de la terre, et la carte thématique serait la carte qui porte du sens en plus de la répartition spatiale des lieux, par l'ajout de figurés superposés à un « fond de carte ». Les figurés, combinés au fond cartographique, représentant une information, comme par exemple une population ou une zone inondable.

La généralisation de l'utilisation des fonds de carte et des cartes thématiques est en grande partie liée au développement de l'imprimerie, puis des moyens de reproduction personnels. Avant l'apparition du numérique, cartes comme fonds de cartes existaient sous la forme de documents finalisés ou étaient dessinées à la main à partir de modèles ou de mémoire, comme c'était le cas dans les écoles pour l'enseignement de la géographie (figure 1). La distinction entre la carte donnée, au sens courant du terme (qu'on nous donne, et donc existant en dehors de soi), et la carte fabriquée à partir d'un fond de carte était au fond moins fondamentale qu'il n'y paraît : dans les deux cas, les données géographiques, fournissant les repères de spatialisation, comme l'occupation du sol ou les limites administratives, étaient définies et symbolisées sans que l'utilisateur puisse intervenir ni même ait pleine conscience des choix opérés à la fois dans les données et dans la symbolisation.

³ Robert Rosen, *Theoretical Biology and Complexity*, Academic Press, New York, 1985.

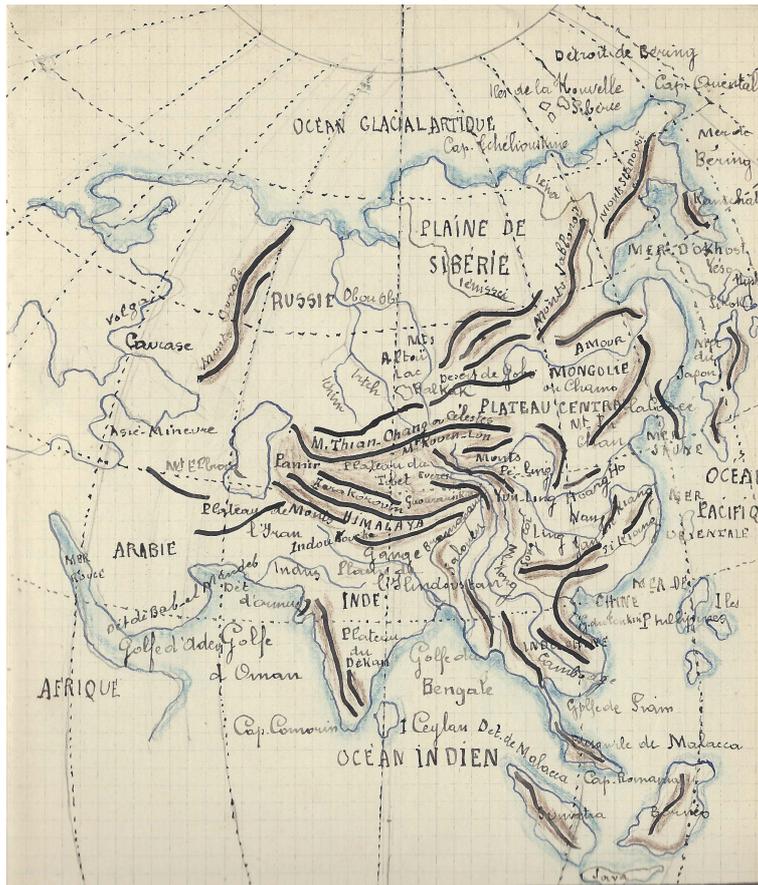


Figure 1 : Carte scolaire réalisée à main levée sur un cahier d'écolier, Alberville, vers 1900. Source : collection personnelle de l'auteur.

L'apparition des données géographiques numériques, et des systèmes d'information géographique permettant la manipulation et l'affichage de ces données, a effacé progressivement la distinction entre carte et fond de carte, et entre carte thématique et carte topographique. En donnant la possibilité de mélanger les sources de données, les résolutions, les thèmes représentés, et en laissant à l'utilisateur le choix des conventions graphiques utilisées, ainsi que la possibilité de modifier les objets géographiques eux-mêmes, par exemple en simplifiant leur contour, les systèmes d'information géographique ont permis aux utilisateurs de devenir des rédacteurs cartographiques à part entière. Un cartographe numérique réalisant une carte thématique a le contrôle comme auparavant de l'information qu'il va superposer au fond de carte, mais aussi le contrôle sur le fond de carte lui-même, brouillant les repères entre deux activités différentes qui sont la construction de l'information à représenter et la manière de représenter spatialement cette information.

Il n'en demeure pas moins que la rédaction d'une carte, quelle que soit la technique utilisée, nécessite l'utilisation de données géographiques, c'est-à-dire finalement de coordonnées, de mesures. Nous discutons donc le lien entre carte et mesure, avant de détailler notre proposition de considérer la carte comme un modèle.

3. La carte et la mesure

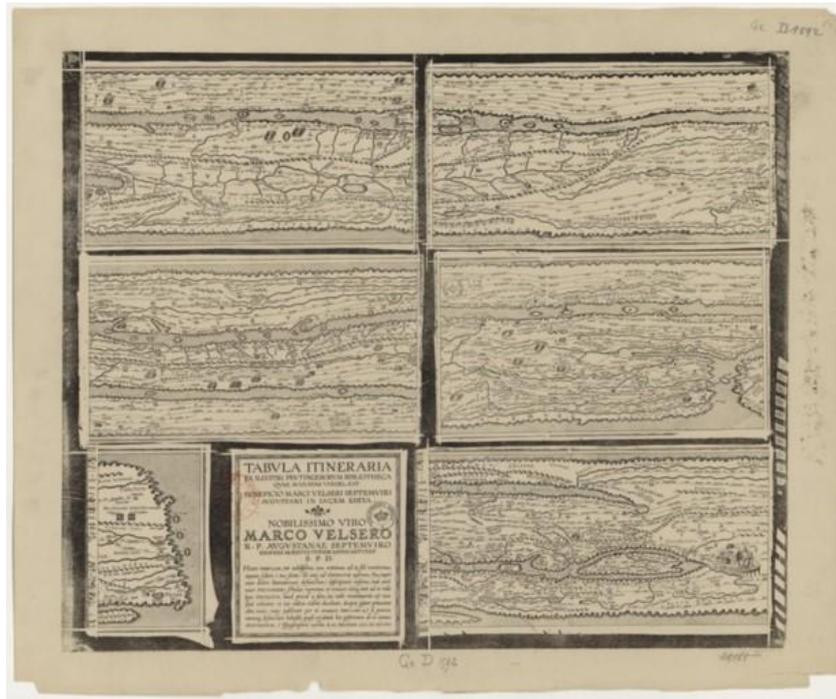
Les problèmes de mesure de la surface de la terre ainsi que de repérage sur cette surface ont très tôt intéressé les savants et des méthodes ont été mises au point notamment

avec l'observation des étoiles ou de la longueur des ombres portées. Les cartes sont des représentations du territoire dans la fabrication desquelles le travail du cartographe, rédacteur de la carte, dépend de celui du topographe, qui mesure des positions à la surface de la terre, dépendant lui-même de celui du géodésien⁴, qui mesure et représente la surface de la Terre. Ainsi, entre la carte et le système naturel s'interposent les mesures relatives de la position des objets par rapport à la surface du globe terrestre, les mesures de la surface du globe et un calcul de projection pour passer de la surface d'un objet sphéroïdal à une surface plane.

Les premières cartes connues, comme la table⁵ de Peutinger (figure 2), ne font pas apparaître de manière très nette les opérations de mesure nécessaires à leur réalisation. En effet, la table de Peutinger décrit un territoire avec un point de vue nettement plus anthropocentrique qu'aujourd'hui, privilégiant la représentation du monde sous la forme d'itinéraires plutôt que de représentations géométriques abstraites et régulières. Cependant, étant donnée l'emprise spatiale représentée et la bonne correspondance entre les distances mesurées sur la carte et les mesures sur le terrain, on peut déduire que sa réalisation a nécessité d'abord la collecte d'une série de mesures, avant la rédaction des documents cartographiques proprement dits. Même s'il ne s'agit pas d'une projection régulière avec des propriétés mathématiques remarquables, le passage des mesures sur le terrain à une représentation plane correspond bien à une opération de projection. Dans le cas de la table de Peutinger, la projection respecte la topologie du réseau, c'est-à-dire les connexions entre des lieux et les distances entre les lieux, au détriment de la position des lieux et de la géométrie des chemins.

⁴ La géodésie est la science de la mesure de la dimension et de la forme de la Terre. La topographie, cousine de la géodésie, procède à des mesures locales, en vue d'applications pratiques.

⁵ Le terme « table » décrit la forme de l'objet, soit le contenant, qui est une longue bande de parchemin, et non le contenu, qui est une carte, c'est-à-dire une représentation de la topographie d'une partie du monde.



Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Figure 2 : Fac-similé de la table de Peutinger. Source : gallica.bnf.fr

Aujourd'hui, alors que les satellites, avions, hélicoptères et drones nous fournissent des vues aériennes du territoire, que les GPS disséminés dans les objets de la vie quotidienne nous donnent notre localisation à quelques mètres près en tout point du globe, la réalisation de mesures précises à la surface du globe semble aller de soi. Les coordonnées géographiques ont perdu leur caractère d'objet spécialisé. De même, le contact quasi quotidien que nous avons avec des images de la Terre vue du ciel, en perspective centrale⁶ ou transformées en orthophotographies⁷, nous incite à penser qu'une carte doit nécessairement présenter un rapport de similitude visuelle avec le monde vu de haut. Or, le facteur limitant principal, que nous avons déjà cité dans la rédaction d'une carte, est le passage de points à la surface de la Terre, modélisée par une sphère ou un ellipsoïde, à des points dans le plan de la carte. Ce passage est opéré par une transformation appelée projection. Le choix d'une projection conditionne d'emblée les futurs usages possibles d'une carte car il n'existe pas de projection qui respecte à la fois les angles et les distances. La carte est elle-même un outil de mesure ; il convient donc de s'assurer que les mesures réalisées sur la carte (mesures de distances, d'angles, de surfaces, tracés d'itinéraires, etc.) correspondront bien à des mesures effectuées dans le système naturel après transformation par le facteur d'échelle.

Ainsi, dans une projection conforme, les angles sont préservés localement ; dans une projection équivalente, ce sont les surfaces qui sont préservées, et il n'existe pas de

⁶ Il s'agit du cas standard de la photographie, où tous les rayons perspectifs passent par l'objectif, assimilable à un point, avant d'impressionner la pellicule ou d'être enregistrés par le capteur numérique.

⁷ Une orthophotographie est une photographie corrigée de la perspective, dans laquelle on a l'impression d'être à la verticale de chaque point de l'image. Une telle représentation est calculée de manière à ce que l'image soit superposable à une carte.

projection à la fois conforme et équivalente. De même, le plus court chemin entre deux points à la surface de la Terre, assimilable à l'arc de grand cercle qui passe par ces deux points, ne sera une droite sur la carte que dans le cas d'une projection gnomonique⁸, qui n'est ni conforme ni équivalente. On conçoit donc qu'une carte telle que la table de Peutinger, probablement utilisée pour décrire les routes commerciales et apporter une connaissance du monde, privilégie l'expérience anthropocentrique du voyageur en respectant les itinéraires et les distances, qu'un portulan, carte de navigation, privilégie le respect des routes à la boussole, et donc des angles, qu'une carte comme le cadastre, servant à calculer les impôts en fonction des superficies des parcelles, privilégie le respect des surfaces, ou que la carte d'état-major destinée à l'armée permette de calculer des angles de tirs et de prévoir le déplacement des troupes. Chacun de ces usages nécessitera une projection différente.

Dans cette dialectique entre carte et mesure, les mesures sont limitées par la précision des données et par leur résolution spatiale. Pour une série de mesure, la précision correspond à la combinaison d'une erreur systématique entre la mesure et la « vraie » grandeur mesurée et la dispersion des différentes mesures. Ainsi, le GPS permet-il un positionnement à 10 mètres près dans la plupart des cas, c'est-à-dire avec une erreur moyenne et une variabilité de cette erreur de l'ordre de 10 mètres. La résolution spatiale décrit la capacité de représenter des détails, comme par exemple des virages successifs sur une route de montagne. Une question émerge de ces remarques : que peut-on mesurer sur une carte ? Peut-on mesurer une largeur de route sur une carte routière ? Peut-on mesurer la longueur d'une route sur une carte à très petite échelle ? C'est ici que le travail du cartographe prend son sens, lorsqu'il choisit une échelle (en lien avec la résolution et la précision des données) et des conventions graphiques, c'est-à-dire une symbolisation et une légende. La cohérence entre ces éléments rend perceptibles les limitations des données utilisées pour rédiger la carte.

Pour une carte correctement réalisée, avec un savoir-faire cartographique, la dialectique entre carte et mesure est riche. Les partis pris cartographiques du rédacteur de la carte rendent impossible, ou limitent grandement, la réalisation de mesures aberrantes, par exemple en extrapolant au-delà de la précision des données ou encore en déduisant abusivement des propriétés de la forme des objets. Le principal garde-fou est l'échelle graphique, qui rend le document imprimé difficile à utiliser dans des résolutions différentes de celle à laquelle il a été conçu. Une carte topographique à moyenne échelle ne comportera pas de représentation individuelle des bâtiments, mais simplement des polygones délimitant le contour principal des villes. En effet, la rédaction cartographique à moyenne échelle impose, pour des raisons de lisibilité, une symbolisation des routes avec une largeur importante, si on rapporte celle-ci aux dimensions du terrain : un trait de 2 mm de largeur aura une emprise fictive de 20 m dans une carte au 1:100 000^e. L'emprise des routes ainsi symbolisées recouvre la plupart des bâtiments en zone urbaine, si bien que la représentation de ces bâtiments nécessiterait de les déplacer de manière importante vers le centre des îlots et donc d'en supprimer certains dans le cas d'îlots denses. L'utilisation d'un polygone enveloppant des bâtiments en lieu et place de bâtiments individuels permet de maintenir un certain niveau d'information, tout en évitant de représenter des bâtiments dont la géométrie sur

⁸ Une projection gnomonique est une projection de la sphère (ou de l'ellipsoïde) sur un plan tangent qui transforme les grands cercles en lignes droites.

la carte, une fois rapportée au terrain, indiquerait une position trop éloignée de leur position réelle. Ainsi une carte comporte-t-elle un mécanisme de régulation de ce rapport entre carte et mesure : une mesure imprécise ne permettra que la réalisation d'une carte à petite échelle, et sur une carte à petite échelle ne pourra-t-on effectuer des mesures qu'avec un niveau de précision et de résolution limité.

Cependant, l'utilisation des cartes ne se limite pas à la réalisation de mesures et le rapport de ces mesures en grandeurs sur le terrain, comme le ferait un géomètre traçant l'implantation d'un bâtiment sur le terrain à partir d'un plan. La carte de la figure 1 représentant l'Asie donne à voir des positions relatives de pays les uns par rapport aux autres, des rapports de surface, la position des pays par rapport aux mers et aux océans, la longueur des côtes, etc. L'information qu'elle porte réside également dans une dimension syntagmatique et pas uniquement paradigmatique. C'est pour cette raison que nous proposons d'appréhender cette dialectique entre carte et mesure à travers une relation de modélisation, en nous rattachant à une approche relationnelle de la modélisation.

4. La carte comme modèle analogique

Nous considérons que la carte est un modèle du monde ou de l'information spatialisée (du système naturel) qu'elle représente. Le terme « modèle » est polysémique, si bien qu'il en devient ambigu, comme le relève Goodman⁹ : un modèle est quelque chose qu'on admire et imite, ou bien un cas-type (comme un modèle de voiture), un prototype ou une réplique (comme un modèle réduit d'avion), un ensemble d'équations, etc. En fait, un modèle peut décrire n'importe quelle relation de symbolisation ou d'abstraction. Nous adoptons donc la définition du modèle proposée par Robert Rosen¹⁰.

Pour Rosen, établir une relation de modélisation consiste à considérer que les événements que nous observons ne sont pas arbitraires, mais plutôt obéissent à des principes, et que les relations entre les événements produits par ces lois et ces principes sont compréhensibles. Ainsi, Rosen fait-il clairement la distinction entre une relation de causalité, dans un système naturel, et une implication, qui est la relation qu'on peut déduire de l'analyse des éléments correspondants dans le modèle. La position de Rosen rejoint l'approche de René Guitart¹¹ qui remarque que l'idée de modèle pulse entre idéal à réaliser et réalisation empirique d'un idéal.

Considérer la carte comme un modèle permet de dépasser le constat que la carte est une imitation d'un système naturel, que le système naturel sert de modèle à la carte, en incluant dans ce concept les opérations de lecture et d'analyse de carte, qui sont des successions d'opérations d'encodage et de décodage (figure 3). Une autre interprétation de la distinction déjà relevée entre la carte et le plan, qu'on attribuait à une différence d'échelle, est désormais possible. Le plan possède la double dimension d'être un modèle du monde et de servir de modèle au monde, ce que n'est pas la carte. Un plan de ville est

⁹ Nelson Goodman, *Languages of Art: An Approach to a Theory of Symbols*, 2nd édition, Indianapolis: Hackett Publishing Company, 1976.

¹⁰ Robert Rosen, *Theoretical Biology and Complexity*, *op. cit.*

¹¹ René Guitart, « Figure, lettre, preuve : la pulsation mathématique au lieu de l'écriture, colloque Mutation de l'écriture », Arts & Sciences, 19-20 octobre 2007, ENS.

une extension du plan d'un architecte, qui décrit la future implantation spatiale d'un bâtiment qui n'existe pas encore, et auquel le monde devra se conformer. Le plan est ainsi un plan d'action, comme un plan d'entreprise, et peut inclure également la notion de chronologie, de perspective ou d'ordre, à l'image de l'étagement des plans en vision.

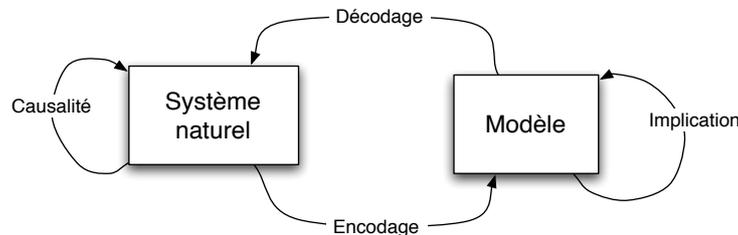


Figure 3 : Schéma du processus de modélisation pour Robert Rosen. Une relation de causalité dans le système naturel s'encode dans le modèle, se traduit par une implication entre éléments du modèle, enfin se décode pour se rapporter au système naturel.

Cette conception de la carte comme modèle donne également un sens différent aux processus d'abstraction du système naturel, de symbolisation, et aux notions de lisibilité et d'esthétique. Il ne s'agit plus uniquement d'un savoir-faire qui existerait en dehors du lecteur futur de la carte, et dont ce dernier serait dépositaire pour partie de par son contact inconscient avec ce type de représentation et pour partie à travers des manuels et une formation à la lecture et à l'usage des cartes, mais bien d'un aller-retour permanent entre encodage d'information et décodage d'information, permettant des inférences par un jeu des relations d'encodage, d'implications et de décodage, c'est-à-dire par des aller-retour entre le système naturel et le modèle. La carte de la figure 1 est compréhensible bien qu'elle ne comporte pas de légende. En effet, on est capable de deviner quels sont les éléments du système naturel qui sont représentés, ce qui nécessite d'une part une connaissance minimale de certains de ces éléments, d'autre part d'effectuer des inférences sur la manière dont ces éléments sont encodés dans le modèle. Par exemple, la délimitation entre mer et terre est symbolisée par la présence d'un aplats bleu le long des côtes dans le document original en couleur (cet aplats apparaît ici comme une bordure grisâtre le long des côtes sur la figure 1) ; il s'agit d'une première relation d'encodage, qu'on devine par la connaissance de la convention qui consiste à représenter la mer en bleu sur les cartes, convention elle-même appuyée sur un certain caractère mimétique, puisque la mer apparaît bleue dans certaines conditions. La détermination des limites du continent asiatique est ensuite opérée par des implications dans le modèle : il existe un vaste ensemble délimité par un trait bordé de bleu. Nous analysons de même que l'océan s'étend au delà de la zone où le bleu du coloriage s'estompe, en mobilisant notre connaissance de l'objet océan du système naturel qui est représenté. Ainsi, un ensemble d'encodages, implications et décodages nous permet d'analyser des causalités, et réciproquement. C'est parce que Bornéo est une île (causalité) qu'elle nous apparaît dans le modèle comme une surface fermée de petite taille bordée d'un aplats bleu ; à l'inverse, une proximité entre les figurés représentant Bornéo et Sumatra se décode comme une relative proximité spatiale entre ces deux îles. Ce type d'exploration du modèle permet de découvrir l'existence d'une île qu'on ne connaîtrait pas, ou même le concept d'île : il existe des petits polygones bordés de bleu

sur la carte, donc des surfaces de terre relativement petites entourées d'eau. Il ne permet pas cependant, en l'absence du mot « île » dans les écritures de la carte, de découvrir le terme désignant ce concept. Ce type d'exploration du modèle permet aussi de remarquer des différences entre le système naturel représenté et celui que nous connaissons. Ainsi, même en l'absence de date sur la carte, nous identifions que le monde représenté présente des différences avec celui que nous connaissons : le nom de Ceylan désigne une île que nous savons être à la position du Sri Lanka. Ici, le décodage de la position de Ceylan ne passe pas par une mesure absolue, par le calcul de coordonnées géographiques, mais par l'analyse d'une position relative par rapport à l'Inde.

Il est important de souligner à quel point le processus de rédaction d'une carte, ou simplement de conception de l'objet carte, est une abstraction qui peut s'éloigner de notre expérience sensible, **du fait** de l'adoption de la projection comme mode de représentation, au lieu de la perspective à laquelle notre vision nous a habitués, et de la convention qui consiste à représenter le monde « vu »¹² du ciel. Le point de vue cartographique est invariablement celui d'une vue aérienne orthogonale du monde, sans perspective, qui place le lecteur à la verticale de chaque point de la carte. Cette abstraction a émergé bien avant qu'on soit capable d'observer le monde depuis le ciel, avec les premiers voyages en ballon. Le cartographe a donc reconstitué l'image mentale de ce qu'il percevrait s'il était placé au dessus du monde et à une distance suffisamment grande, pour gommer toute perspective. La carte n'est pas une reproduction de la réalité, mais une manière de l'explorer, comme le soulignent Deleuze et Guattari¹³. La carte donne un sentiment d'ubiquité à son lecteur, qui peut être à tous les endroits en même temps, tout en n'étant nulle part. Grâce à cette faculté d'ubiquité, la carte permet d'acquérir une connaissance du monde. Comme le remarque Perec, « parcourir le monde, le sillonner en tous sens, ce ne sera jamais qu'en connaître quelques ares [...] »¹⁴. Le parcours virtuel sur une carte permet au lecteur d'un atlas de voyager, comme le font les outils de cartographie numérique maintenant couplés à la photographie. Et pourtant, cette image mentale d'un monde plat, vu du dessus, est très éloignée de notre expérience sensible, de la représentation que nous nous faisons du monde.

Nous défendons l'idée que cartographier le monde n'est pas appliquer un calque sur le monde, en reproduire certains éléments, et ensuite réduire ce calque à la proportion d'une feuille, mais établir un modèle de ce monde par des aller-retour entre le système naturel et le modèle, entre les phénomènes représentés et la carte. Les éléments du système naturel représentés sont encodés dans le langage de la modélisation, ici le langage graphique des cartes, dont une composante essentielle est la sémiologie graphique¹⁵, et décodés, établissant ainsi des relations de correspondance entre le système naturel et le modèle. Il s'agit d'un modèle analogique car il possède des tracés qui varient continûment et parce qu'il s'agit d'une relation d'analogie, et non de ressemblance (soit plus une fonction d'indice qu'une fonction d'icône dans le

¹² Le terme « vu » est ici impropre, nous avons en effet montré que la carte refuse la perspective, et donc le « point de vue », pour adopter une représentation en projection.

¹³ Gilles Deleuze et Félix Guattari, *Mille Plateaux – Capitalisme et schizophrénie 2*, Les Éditions de Minuit, coll. « Critique », Paris, 1980.

¹⁴ Georges Perec, *Espèces d'espaces*, Galilée, 1974.

¹⁵ Jacques Bertin, *Sémiologie graphique*, Paris, Mouton/Gauthier-Villars, 1967.

vocabulaire de Peirce, comme nous l'avons déjà souligné), entre la carte et le monde. Cette définition permet de dépouiller la carte d'une partie du caractère d'objectivité qu'elle prétendrait tirer du recours à la géodésie, à la topographie et aux mathématiques : un encodage est un changement de représentation et le choix des règles de transformation se fait en fonction des usages auxquels on destine la carte.

La relation de décodage est la plus facile à appréhender car elle suppose deux éléments indispensables : que le lecteur puisse physiquement lire la carte et qu'il puisse comprendre le message encodé, c'est-à-dire effectuer des inférences entre les éléments graphiques et en déduire des causalités dans le système naturel. La lecture physique de la carte peut être altérée pour certaines populations puisque son message est principalement de nature graphique. Dans le cas d'un message textuel, l'intégralité du message est transmise lorsque le lecteur est capable d'identifier l'ensemble des caractères, même si ceux-ci sont incomplets ou flous. La transmission du message présente une certaine robustesse aux conditions de reproduction du texte et de lecture. Dans le cas d'une carte, le cartographe peut utiliser des variations d'épaisseur, de couleur, de contraste qui sollicitent l'ensemble des capacités visuelles des individus. Par exemple, l'usage de la couleur est très répandu en cartographie. Cependant, les cartes colorées sont bien souvent inaccessibles aux personnes affectées de déficiences visuelles : on pourra se référer à la thèse de Dhée¹⁶ pour un travail complet sur la question. Plus généralement, en raison des différences de formes, de taille, de proximité des objets, le lecteur sera tributaire des particularités de la vision humaine, qu'on exploite dans les illusions d'optique. Il sera ainsi possible de mentir involontairement avec les cartes, lorsque le message encodé est impossible à voir à cause des limitations de la vision humaine, et même de mentir volontairement¹⁷. Nous entendons par « mentir avec une carte » le fait d'encoder un message impossible à décoder, sans avoir à tricher sur la teneur même de l'information à représenter. Le cas de mensonge involontaire avec les cartes le plus courant et le plus difficile à résoudre est celui du MAUP (*modifiable areal unit problem*¹⁸) : la représentation cartographique d'un phénomène statistique diffus dépend très fortement du zonage qu'on utilise pour agréger et représenter ce phénomène. Notons qu'un moyen de limiter la rédaction de cartes illisibles consisterait à formaliser non seulement les règles de décodage d'une carte, ce que fournit normalement la légende, mais aussi les conditions nécessaires sur le choix des couleurs et des figurés pour que les cartes soient effectivement décodables.

Cependant, l'encodage de la carte n'est pas totalement arbitraire et nouveau à chaque fois, comme le prouvent les similitudes observables entre des cartes réalisées à différentes époques et dans différentes cultures. Les modélisations des systèmes naturels effectuées par les cartographes présentent des régularités importantes. Nous avons déjà relevé le choix d'une gamme de projections qui nous présentent le monde vu du ciel. Les conventions graphiques présidant aux choix de légende s'appuient souvent

¹⁶ Francis Dhée, *Cartographie pour les déficients visuels de la couleur. Propositions d'amélioration des cartes pour les daltoniens*, thèse de doctorat, Paris, université Paris 1, 2013.

¹⁷ Mark Monmonier, *Comment faire mentir les cartes*, Flammarion, Paris, 1993.

¹⁸ Stan Openshaw et Peter Taylor, "A million or so correlation coefficients: three experiments on the modifiable area unit problem", in N. Wrigley (ed), *Statistical Applications in the Spatial Sciences*, 1979 pp. 127 - 144.

sur une approche mimétique du monde : on représente dans la plupart des cartes la mer en bleu et la forêt en vert. Ces conventions n'en constituent pas moins une culture cartographique : la mer n'est pas réellement bleue, de même que la forêt n'est pas verte en automne et en hiver. Nous postulons qu'une carte est lisible lorsque l'image mentale que nous formons à sa lecture est analogue à l'image mentale que nous formons lors de notre expérience sensible du monde, c'est-à-dire que nous effectuons inconsciemment et sans effort l'opération de décodage du message graphique.

L'approche de la carte comme modèle à la Rosen, c'est-à-dire une approche relationnelle de la modélisation, permet d'analyser comme nous venons de le faire les mécanismes d'encodage et de décodage entre le système naturel et le modèle. Elle permet également d'analyser la manière dont la succession des opérations d'encodage, d'inférence et de décodage permet de faire émerger du sens. La carte étant principalement un objet graphique, ce sens émerge d'un raisonnement graphique, spatial, renvoyant à la topologique algébrique, et différent de la logique propositionnelle qu'on trouve dans le langage.

5. La carte : un modèle qui fait émerger du sens

En nous appuyant sur l'approche de la philosophie mathématique de Peirce^{20,21}, nous postulons que l'approche de la carte comme modèle relationnel permet de sortir de la logique d'énoncés à un terme (il y a un objet sur la carte) ou à deux termes (cet objet de la carte touche cet autre objet), pour introduire des relations à trois termes. En effet, Peirce étend l'approche catégorique de Kant en proposant l'établissement de jugements à travers des inférences, ouvrant ainsi la voie à la logique des relations.

Or, la modélisation relationnelle de Rosen ouvre la voie, et c'est le chemin que Rosen a suivi, à l'utilisation de la théorie mathématique des catégories²², dont le but fondamental est de représenter de manière formelle et de manipuler les relations d'analogie et de comparaison qui sont l'essence des opérations de raisonnement des mathématiciens²³, mais également une façon de décrire l'émergence de sens dans ces opérations.

Partons d'un exemple concret d'une telle relation d'encodage et de décodage dans une carte et de l'analyse relationnelle de cette opération. La carte de la figure 1 montre que l'Asie est composée de plusieurs grandes régions, sans faire figurer explicitement de frontières, ni même que l'on identifie nécessairement quelles sont ces régions. Cette

²⁰ Charles Sanders Peirce, *Écrits sur le signe*, rassemblés traduits et commentés par G. Deledalle, Paris, Le Seuil, 1978.

²¹ Christiane Chauviré, *L'œil mathématique : essai sur la philosophie mathématique de Peirce*, Paris, Vrin, 2008.

²² Nous n'avons pas la place de développer ici des éléments de théorie des catégories. On pourra se référer à de nombreux ouvrages sur le sujet, notamment au livre de Andrée Ehresmann et Jean-Paul Vanbremeersch, *Memory Evolutive Systems. Hierarchy, Emergence, Cognition*, Elsevier, 2007, pour une présentation de la théorie des catégories dans un contexte de modélisation.

²³ René Guitart, « La structuration catégorique comme calcul des gestes mathématiques », *Journée Aspects historiques et philosophiques de la théorie des Catégories*, ENS, 2005.

information peut être extraite de la carte **du fait** de la présence de l'encodage d'un certain nombre de régions par des toponymes (Arabie, Inde, Russie, etc.), que les capitales d'imprimerie permettent de distinguer dans le modèle d'autres toponymes décrivant des régions topographiques (plateaux et plaines, identifiables **du fait** de l'usage explicite de ces termes sur la carte) ou des fleuves, identifiables **du fait** que l'écriture du toponyme suit une ligne bleue figurant le tracé du cours d'eau. On a ici utilisé des opérations d'analogie : les toponymes écrits en capitales d'imprimerie représentent des concepts analogues, et de comparaison : ces toponymes représentent des concepts différents de ceux associés à des toponymes écrits différemment. Les relations spatiales des toponymes dans le modèle peuvent ensuite être décodées et traduites en relations dans le système naturel : la Russie est au nord de l'Inde. Il est à noter que cette lecture se fait sans recourir à une légende, d'ailleurs absente dans le cas de cette carte, et ne suppose aucune connaissance *a priori* du système naturel. De même, l'identification de Bornéo et de Sumatra en tant qu'îles mobilise nos capacités de calcul spatial, sans qu'il soit nécessaire d'utiliser une règle pour procéder à des mesures. Nous pouvons également inclure dans notre raisonnement Java, plus petite et orientée différemment, et donc faire une différence entre Bornéo et Sumatra d'une part et Java d'autre part : ce type de logique s'étend à un nombre quelconque d'éléments.

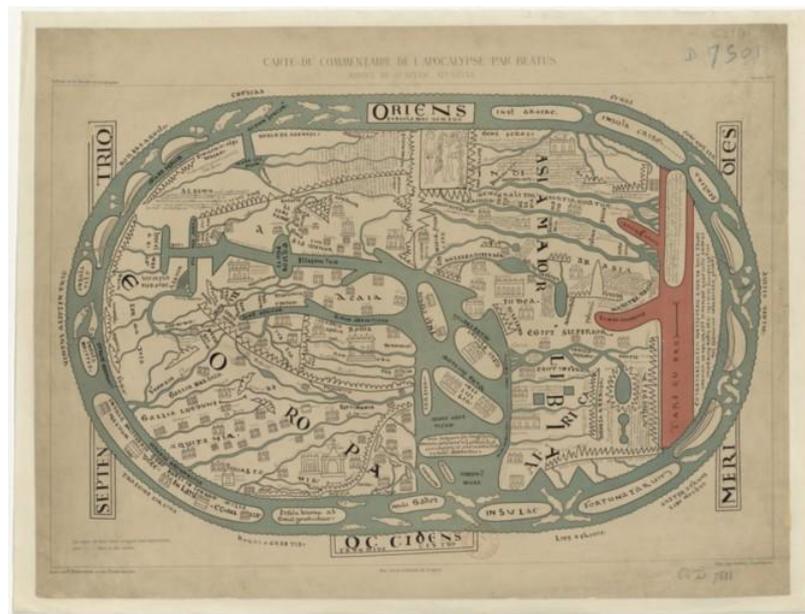
Un autre exemple d'utilisation du caractère relationnel de la carte est l'interprétation que nous faisons des lignes imaginaires que sont les méridiens et les parallèles, servant à repérer des positions, ou encore des limites administratives, qui matérialisent une frontière réelle entre deux entités, laquelle frontière n'a généralement pas de réalité sur le terrain. Le sens émerge de ce qu'un autre objet de la carte sera situé à l'extérieur ou à l'intérieur du polygone délimité par la frontière : on exploite des relations topologiques, indépendamment de la métrique de la carte.

Plus globalement, l'interprétation d'une carte repose sur des opérations de comparaison d'objets, de recherche de similitudes, d'analogies, à la fois totalement naturelles et impossibles à formaliser sous forme numérique : l'analyse visuelle d'un plan de ville, avec le tracé des rues et le contour des bâtiments, ne peut pas être réduite à la comparaison de grandeurs décrivant des propriétés de ces objets ; on perçoit cependant immédiatement la différence entre un plan de ville américaine et un plan de ville européenne, de même qu'on devine dans le plan d'une ville le tracé d'une ancienne enceinte fortifiée.

La puissance de la carte n'est donc pas de contenir une moindre subjectivité que d'autres représentations du monde, comme une représentation textuelle ou un tableau par exemple, mais de renvoyer au raisonnement spatial, en d'autres termes de susciter une approche spatiale du raisonnement, développée dans la topologie algébrique et la théorie des catégories, plutôt qu'une approche algébrique, même si en mathématique ces deux approches ont maintenant largement tissé des ponts. La carte renvoie à la spatialité, à une façon d'appréhender le monde et ses phénomènes dans leur arrangement et leur extension spatiale. Cette particularité de la carte est à l'origine de l'idée des cartes sémantiques, qui consistent à utiliser l'approche cartographique de

modélisation du monde pour d'autres espaces informationnels, comme par exemple l'organisation d'une entreprise²⁴.

La carte a enfin la propriété de rendre visibles des relations, des concepts, et donc joue un rôle de médiateur pour ces concepts. Les cartes permettent de visualiser les discontinuités et les fractures, les frontières²⁵ et l'organisation spatiale de ces dernières. Elles ont ainsi un nouvel ??? qui n'est plus de représenter simplement des catégories spatiales, mais plutôt des oppositions entre ces catégories, ou de mélanger les deux dimensions en incluant une dimension symbolique dans la représentation spatiale des lieux (figure 4).



Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Figure 4 : Carte du commentaire de l'Apocalypse par Beatus de Liébana, XI^e siècle. Cette carte sert à aider le lecteur du commentaire à situer les lieux des écritures saintes, mais est conçue également comme une cosmogonie. Source : gallica.bnf.fr

6. Conclusion

La carte n'est pas seulement une image projective du monde, obtenue par des opérations de mesure et de projection, comme une photographie est une image perspective du monde obtenue par l'exposition d'un film à des rayons lumineux. C'est une construction abstraite constituée à partir de mesure, qui devient ensuite elle-même un instrument pour de nouvelles mesures, ce qui lui confère un caractère scientifique et utilitaire. Nous avons proposé d'analyser la carte comme un modèle relationnel, ce qui rend compte à la fois des opérations d'encodage et de décodage entre le système naturel et la carte par des opérations de mesure, mais aussi de la manière dont une carte, empreinte de subjectivité liée aux choix de modélisation, est susceptible de faire

²⁴ Christophe Tricot, *Cartographie sémantique : des connaissances à la carte*, thèse de doctorat, Le Bourget du lac, université de Savoie, 2006.

²⁵ Roger Brunet, Jean-Christophe François et Claude Grasland, « La discontinuité en géographie : origines et problèmes de recherche », *L'Espace géographique*, 4, 1997.

émerger du sens en mobilisant le calcul spatial et les opérations de comparaison et d'analogie, formalisées dans la théorie des catégories.

Bibliographie

Bertin Jacques, *Sémiologie graphique*, Paris, Mouton/Gauthier-Villars, 1967

Brunet Roger, Jean-Christophe François et Claude Grasland, « La discontinuité en géographie : origines et problèmes de recherche », *L'Espace géographique*, 4, 1997

Chauviré Christiane, *L'œil mathématique : essai sur la philosophie mathématique de Peirce*, Paris, Vrin, 2008

Deleuze Gilles et Félix Guattari, *Mille Plateaux – Capitalisme et schizophrénie 2*, Les Éditions de Minuit, coll. « Critique », Paris, 1980

Dhée Francis, *Cartographie pour les déficients visuels de la couleur. Propositions d'amélioration des cartes pour les daltoniens*, thèse de doctorat, Paris, université Paris 1, 2013

Ehresmann Andrée et Jean-Paul Vanbremeersch, *Memory Evolutive Systems. Hierarchy, Emergence, Cognition*, Elsevier, 2007

Goodman Nelson, *Languages of Art: An Approach to a Theory of Symbols*, 2nd edition, Indianapolis: Hackett Publishing Company, 1976

Guitart René, *La pulsation mathématique (rigueur et ambiguïté, la nature de l'activité mathématique, ce dont il s'agit d'instruire)*, L'Harmattan, Paris, 1999

Guitart René, « La structuration catégoricienne comme calcul des gestes mathématiques », Journée *Aspects historiques et philosophiques de la théorie des Catégories*, ENS, 2005

Guitart René, « Figure, lettre, preuve : la pulsation mathématique au lieu de l'écriture, colloque Mutation de l'écriture », Arts & Sciences, 19-20 octobre 2007, ENS

Monmonier Mark, *Comment faire mentir les cartes*, Flammarion, Paris, 1993

Openshaw Stan et Peter Taylor, "A million or so correlation coefficients: three experiments on the modifiable area unit problem", in N. Wrigley (ed), *Statistical Applications in the Spatial Sciences*, 1979 p. 127 - 144

Peirce Charles Sanders, *Collected Papers*, Harvard University Press, 1931-1935

Peirce Charles Sanders, *Écrits sur le signe*, rassemblés traduits et commentés par G. Deledalle, Paris, Le Seuil, 1978

Perec Georges, *Espèces d'espaces*, Galilée, 1974

Rosen Robert, *Theoretical Biology and Complexity*, Academic Press, New York, 1985

Tricot Christophe, *Cartographie sémantique : des connaissances à la carte*, thèse de doctorat, Le Bourget du lac, université de Savoie, 2006.