

Cartographie interactive et multimédia : vers une aide à la réflexion géographique

Interactive and multimedia cartography : an help for geographical reflecting

Jean-Philippe Antoni, Olivier Klein, Stéphane Moisy*
Laboratoire Image et Ville
CNRS UMR 7011 – Université Louis Pasteur, Strasbourg I
*Groupe OTE Ingénierie
Département Environnement / Sécurité, Illkirch-Graffenstaden

Résumé

La cartographie est une discipline qui évolue simultanément avec les sciences qu'elle utilise. Dans un premier temps, les apports de la géométrie lui ont permis de représenter l'espace physique avec une grande exactitude, puis les statistiques ont autorisé la représentation des phénomènes abstraits, en structurant les informations afin de les communiquer graphiquement de manière efficace. Aujourd'hui, l'informatique et les technologies récentes offrent de nouvelles possibilités. Elles s'appuient principalement sur les Systèmes d'Information Géographique et sur l'expérience de l'analyse exploratoire de données (Exploratory Data Analysis, EDA) ou de l'analyse exploratoire de données spatiales (ESDA). Les principales caractéristiques de cette cartographie multimédia et interactive et les possibilités qu'elles offrent peuvent être regroupées dans une figure synthétique. Les évolutions y sont présentées comme autant de « valeurs ajoutées », faisant appel à différents sens, avec plusieurs niveaux d'interactivité. L'ensemble contribue à modifier la cartographie en tant qu'outil de communication, ainsi que les rapports entre celui qui émet et celui qui reçoit l'information.

Mots Clés : Cartographie, Visualisation, Multimédia, SIG, Interactivité, Analyse exploratoire, Réflexion/réflexivité

Abstract

Cartography is a discipline which evolves simultaneously with the sciences it uses. Initially, the contributions of the geometry enabled cartographers to represent physical geographical Then, the contributions of the statistics made it possible to represent abstracted phenomena and them on topographical maps, by structuring information before communicating it graphically and efficiently. Today, the contributions offered by the new data-processing possibilities offer new possibilities. They mainly rely on Geographic Information Systems (GIS) and on the experience of Eploratory Data Analysis (EDA). The main characteristics of this multimedia and interactive cartography can be structured in a synthetic figure. Cartographic evolutions are presented as “added values”, calling upon different senses, with different levels of interactivity. These new possibilities contribute to modify cartography and particularrly its role of communication, as well as the relationship between the actors that emit and the actors that receive the cartographical information.

Keywords : Cartography, Visualization, Multimedia, GIS, Interactivity, Exploratory analysis, Reflexion/reflexivity

Introduction

Quelle que soit l'époque à laquelle on se place, la cartographie apparaît comme l'un des moyens les plus adéquats, voire le seul moyen, pour représenter¹ l'espace géographique² et le monde qui nous environne. La réaction traditionnelle de l'homme face à la complexité du monde qui l'entoure et qu'il peine à comprendre consiste en effet souvent à le décomposer et à le simplifier. Il peut ainsi en construire une image simplifiée et intelligible : «*he then tries to substitute this cosmos of his own for the world of experience, and thus to overcome it*» (Chorafas, 1965 cité dans Haggett et Chorley, 1967). Cette image du monde peut prendre la forme d'une carte. Néanmoins, cette fonction propre à la carte n'est pas constante dans le temps : plusieurs époques se distinguent, qui apparaissent fortement liées à l'évolution particulière des civilisations d'une part, et à leur niveau technique d'autre part. L'étude croisée de ces deux facteurs révèle au moins deux grandes phases historiques, auxquelles de nombreux auteurs, ouvrages et travaux se sont intéressés (Rimbert, 1968, Robinson, 1978, pour ne prendre que deux exemples relativement anciens), mettant en lumière leurs apports et leurs manques respectifs : l'âge de la cartographie topographique et celui de la cartographie thématique³. Les cartes topographiques apparaissent en effet comme des outils précieux : « une carte est une image, une représentation du monde, où plus exactement de quelque chose, quelque part » (Brunet, 1987) ; les cartes thématiques les complètent en ne montrant pas seulement l'espace physique, mais en surimposant les phénomènes qui y prennent place. Mais aujourd'hui, une telle étude croisée révèle probablement une nouvelle étape en voie d'émergence, sur laquelle nous focaliserons ici notre attention, afin de voir ce qu'elle apporte, et dans quelle mesure elle constitue une phase importante, à l'intérieur de laquelle il ne s'agit plus simplement de représenter le monde mais également de mieux faire émerger des phénomènes non directement visibles ou mal perçus et de mieux réfléchir aux structures spatiales qui s'y organisent. Cette nouvelle approche, autour de laquelle l'évolution et la recherche cartographiques semblent se concentrer, ne peut être constatée et identifiée comme une progression dans la façon de concevoir et de lire les cartes qu'au prix d'un retour en arrière sur leur histoire et leur rôle. Cet article tente d'en identifier les principales caractéristiques et de les regrouper par rapport aux « valeurs ajoutées » qu'elles offrent, et qui font appel à différents sens, avec plusieurs niveaux d'interactivité.

1 Les marchepieds de la cartographie contemporaine

C'est certainement dans les caractéristiques particulières à notre société occidentale du XXI^{ème} siècle et aux techniques dont elle dispose, qu'il faut chercher les paradigmes liés à cette l'évolution actuelle de la cartographie. Deux points paraissent fondamentaux. *Primo*, l'épistémologie contemporaine pousse à une prise en compte plus globale de la complexité du monde ; *secundo*, sur le plan technique, l'utilisation accrue de Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) continue d'asseoir concrètement ces évolutions. Les SIG ne servent plus seulement d'outils de stockage de données mais en révèlent les liens et les processus à travers de véritables analyses spatiales.

¹ Le terme « représenter » est ici employé dans le sens de représenter à l'esprit, de rendre compréhensible quelque chose en provoquant l'apparition de son image au moyen d'un autre objet qui lui ressemble ou qui lui correspond (d'après la définition du Petit Robert).

² L'espace géographique est entendu ici au sens d'espace terrestre.

³ Comme le souligne A.H. Robinson (1978), une multitude de classifications sont bien entendu possibles également, se fondant par exemple sur l'échelle ou sur les thématiques représentées.

1.1 Une plus grande conscience de la complexité

Pour étudier la portée des évolutions actuelles de la cartographie, nous partons du principe que la carte apparaît d'abord comme un outil qui permet d'effectuer un travail ou une tâche et qu'elle répond à un besoin ou à un manque. Ce besoin consiste le plus souvent à **représenter l'espace dans lequel les hommes vivent, c'est-à-dire leur environnement⁴, ce qui apparaît comme une nécessité pour s'y déplacer, pour l'utiliser, l'exploiter, l'explorer, le conquérir et le défendre. Mais cet environnement est vaste : l'échelle de l'écoumène⁵ n'est pas une échelle humaine et ne peut être appréhendé en entier. De plus, cet environnement est complexe : son organisation dépend de nombreux facteurs qui dépassent souvent l'entendement humain, ou du moins que l'homme ne peut intégralement prendre en compte de manière simultanée. Il est donc nécessaire de simplifier le monde et d'en construire une re-présentation⁶.**

Parallèlement, comme l'explique H. Chamussy (2003), durant les dernières décennies, la plupart des scientifiques ont abandonné le positivisme, indépendamment de leur domaine de recherche, pour entrer dans le nouveau paradigme de la complexité. On a alors réalisé que le monde n'est pas semblable à un livre organisé selon une logique linéaire (l'ouvrage commence à la première page et se termine à la dernière). En cartographie, cette idée conforte et répond à celle de J.C. Muller⁷, qui, en référence aux travaux des premiers informaticiens, notamment von Neumann, fait une différence entre le raisonnement continu et le raisonnement parallèle. Ensemble, ces idées montrent l'importance que peut prendre la modélisation (entendue comme construction d'une représentation simplifiée et intelligible d'une réalité complexe) dans les travaux des géographes, particulièrement quand ils touchent à l'analyse spatiale. J. Dangermond (1987) avait d'ailleurs proposé de dépasser les Systèmes d'Information Géographique (SIG), pour mettre en place une nouvelle série d'outils génériques qui intègre cette nécessité : les Systèmes de Modélisation de l'Information Géographique⁸. Cette idée de modélisation, qui n'est pas nouvelle en cartographie, peut être complétée par des approches complémentaires, qui offrent de nouvelles méthodes pour mieux prendre en compte la complexité. L'analyse exploratoire est à ce sujet un exemple très intéressant.

1.2 L'expérience exploratoire

Si le développement des SIG et de la modélisation spatiale appartient globalement au champ de la géographie et de la cartographie, d'autres expériences menées parallèlement dans d'autres disciplines confortent le point de vue que nous défendons ici. Le champ des statistiques ouvre actuellement de nouvelles voies, parmi lesquelles l'analyse exploratoire de données (EDA = *Exploratory Data Analysis*) ou de données spatiales (ESDA ; Ancelin, 1996) apparaît particulièrement intéressante, dans la mesure où, en partie, elle aide à manipuler la complexité et à la modéliser, particulièrement si l'on dispose au départ d'un grand nombre de données pour décrire la réalité. L'EDA est une démarche, voire une philosophie, d'analyse

⁴ Nous entendons alors le terme environnement dans son acception la plus simple, comme l'espace qui nous entoure.

⁵ Ecoumène : « partie de la Terre occupée par l'homme » (Brunet *et al.*, 1992)

⁶ Le terme représentation est entendu dans le sens de image, figure, signe qui favorise la perception ou la compréhension de ce monde.

⁷ Séminaire de la faculté de géographie de Strasbourg, Février 2002.

⁸ L'acronyme anglais est GIMS (Geographic Information Modelling System).

des données qui utilise de nombreuses techniques (dont la plupart sont graphiques) de manière à maximiser la prise en compte de ces données, découvrir leur structure sous-jacente, extraire les variables importantes, mettre en lumière leurs anomalies, tester des hypothèses, etc.

A propos de l'analyse exploratoire, on apprend à la lecture d'un article de A. Banos (2001) que « l'idée de filtrer l'information, afin d'en extraire temporairement les manifestations les plus manifestement aléatoires, pour n'en retenir que les principales structures, s'inscrit naturellement dans la philosophie exploratoire : 'data = smooth + rough' (Tukey, 1977) ». Il ajoute que « l'objectif d'une telle 'multiplication des vues' n'est donc pas seulement de choisir une représentation parmi un ensemble de solutions. Il s'agit également de favoriser l'émergence d'hypothèses concernant l'organisation spatiale sous-jacente à la carte 'brute', au moyen de vues aux propriétés variées mais néanmoins connues [...]. **La souris devient un prolongement naturel de l'esprit, l'utilisateur interrogeant ses données à travers les multiples vues à sa disposition, alternant les angles d'approche, naviguant en surface comme en profondeur par simple requête graphique, s'immergeant dans ses données jusqu'à en avoir une connaissance intime** » (Banos, 2001). Ainsi, comme on a déjà pu le soutenir (Antoni et Klein, 2003), l'EDA et l'ESDA apparaissent comme des formes de Système Interactif de Réflexion Assistée par Ordinateur (SIRAO), ce qui les oriente vers une prise en compte plus systématique du voisinage des données étudiées, dont l'échelle influence incontestablement la visualisation. Concrètement, le programme ARPEGE (Analyses Robustes pour l'Exploration Géographique) offre un exemple de système exploratoire de données spatiales (Josselin, 1999).

1.3 L'appui technologique et théorique des SIG

Parallèlement à ces deux premiers points, propres aux paradigmes scientifiques, de nouvelles solutions techniques influencent fortement les possibilités qui s'offrent aujourd'hui aux cartographes pour entrer dans une nouvelle phase. Parmi celles-ci, les SIG, apparus il y a une vingtaine d'années et largement généralisés aujourd'hui, ne peuvent évidemment pas être considérés comme une nouveauté. Par contre, l'utilisation qui en est faite témoigne d'une évolution notable qui apparaît comme un fondement : la dissociation des supports de stockage et de représentation de l'information géographique, ainsi que la généralisation des outils d'analyse spatiale de cette information sont révolutionnaires. Ces tendances portent de nouvelles possibilités pour la visualisation du monde qui nous environne, et des processus qui y prennent place.

1.3.1 Du stockage des données à l'analyse et à la modélisation spatiale

Toutefois, à l'inverse de ce qui a été affirmé plus haut, **il n'est pas tout à fait évident, que via l'ordinateur, un programme informatique soit le prolongement naturel de l'esprit humain. On peut au contraire penser que ce prolongement doit être organisé, et faire l'hypothèse que le corpus théorique et les méthodes associés aux SIG doivent aider à une telle structuration.** Pour une grande part, les SIG ne se différencient pas des programmes de cartographie plus classiques. Tant qu'on les utilise simplement comme des « cartographes », capables de représenter des variables thématiques z traitées sur un contenant localisé en x et en y , ils ne présentent pas d'autre innovation que l'automatisation et le stockage numérique des procédés mis au point depuis les premières cartes thématiques, pour manipuler un plus grand nombre de données dans un temps réduit : les SIG appuient la construction de cartes thématiques sans pour autant modifier fondamentalement la manière de les concevoir et de manipuler les données qui leur sont nécessaires. L'outil n'évolue donc pas

réellement, il est simplement mis à jour et il gagne en efficacité en même temps que l'informatique progresse.

Par contre, si l'on ne considère pas d'abord les SIG comme des instruments pour produire des cartes, mais comme des outils pour l'analyse et la visualisation de données localisées, ils prennent une nouvelle dimension : les SIG sont aux données géoréférencées ce que les SGBD⁹ sont aux données tout court, là où un simple logiciel de cartographie n'apparaît ni plus ni moins comme un tableur. Cette acception des SIG correspond à la définition que donnent R.M. Itami et E.J. Rauling (1993) : « Dans un SIG, les caractéristiques de la terre ne sont pas seulement représentées sous la forme d'images comme sur les cartes papiers conventionnelles, mais en tant qu'informations ou données. Ces données contiennent l'intégralité de l'information spatiale des cartes conventionnelles, mais parce qu'elles sont stockées informatiquement, elles peuvent être représentées de manière plus souple. Les données spatiales d'un SIG peuvent être visualisées comme une carte papier, avec des routes, des rivières, de la végétation et d'autres objets représentés par des lignes sur une carte accompagnée d'une légende et d'un titre, ou bien elles peuvent être visualisées sous la forme d'un ensemble de tableaux statistiques que l'on pourra convertir en figures et en graphiques. La caractéristique la plus importante des SIG est de stocker les données spatiales dans un format structuré qui se réfère à une base spatiale. La manière avec laquelle ces données sont structurées détermine la facilité avec laquelle un utilisateur pourra stocker, rechercher, extraire et analyser l'information¹⁰ ». Les fichiers issus des SIG sont donc **des fichiers de données qui conservent le système de relations d'une carte par l'intermédiaire du géoréférencement, mais sans que ces données soient automatiquement visualisables sous la forme d'une carte.**

1.3.2 La carte : une forme privilégiée de visualisation

Parallèlement aux évolutions informatiques et à l'apparition des SIG en tant que systèmes de gestion de données géoréférencées, B. McCormick *et al.* (1987) ont étudié l'importance des images, et potentiellement des cartes produites par ordinateur, dans la compréhension des phénomènes qu'elles représentent, avant de définir la visualisation scientifique comme « l'utilisation de la technologie informatique pour créer des affichages visuels dans le but de faciliter la pensée et la résolution de problèmes ». Pour D. Dibiase (1990), cette visualisation scientifique inclut simultanément la compréhension et la synthèse de l'information. Pour J.M. Unwin (1994), la visualisation a pour objectif d'utiliser des représentations graphiques pour aider les scientifiques à représenter les résultats d'analyses complexes, de manière à faciliter leur réflexion. **L'objectif de la cartographie a donc lui-même évolué quand M.J. Kraak et F.J. Ormeling (1996) ont introduit l'idée de visualisation cartographique. La visualisation cartographique, et avec elle la cartographie, apparaissent alors aujourd'hui comme des techniques ou des méthodes d'exploration des données. Dans ce sens, elles rejoignent les objectifs de l'analyse exploratoire, mais avec la particularité que la clé d'entrée de la phase d'exploration est une clé spatiale : c'est principalement à**

⁹ SGBD : Système de Gestion de Base de Données.

¹⁰ Version originale : « *in a GIS, the Earth's features are not only represented in pictorial form, as in conventional paper maps, but as information or data. This data contains all the spatial information of conventional maps, but when stored in a computer, is much more flexible in the way it can be represented. Spatial data in a GIS can be displayed just like a paper map with roads, rivers, vegetation and other features represented as lines on a map complete with legend, border and titles, or it can be represented as a set of statistical tables, which can be converted to charts and graphs. The most important feature of GIS is that spatial data are stored in a structured format referred to as a spatial data base. The way spatial data are structured will determine the how easy it is for the user to store, retrieve and analyse the information* ».

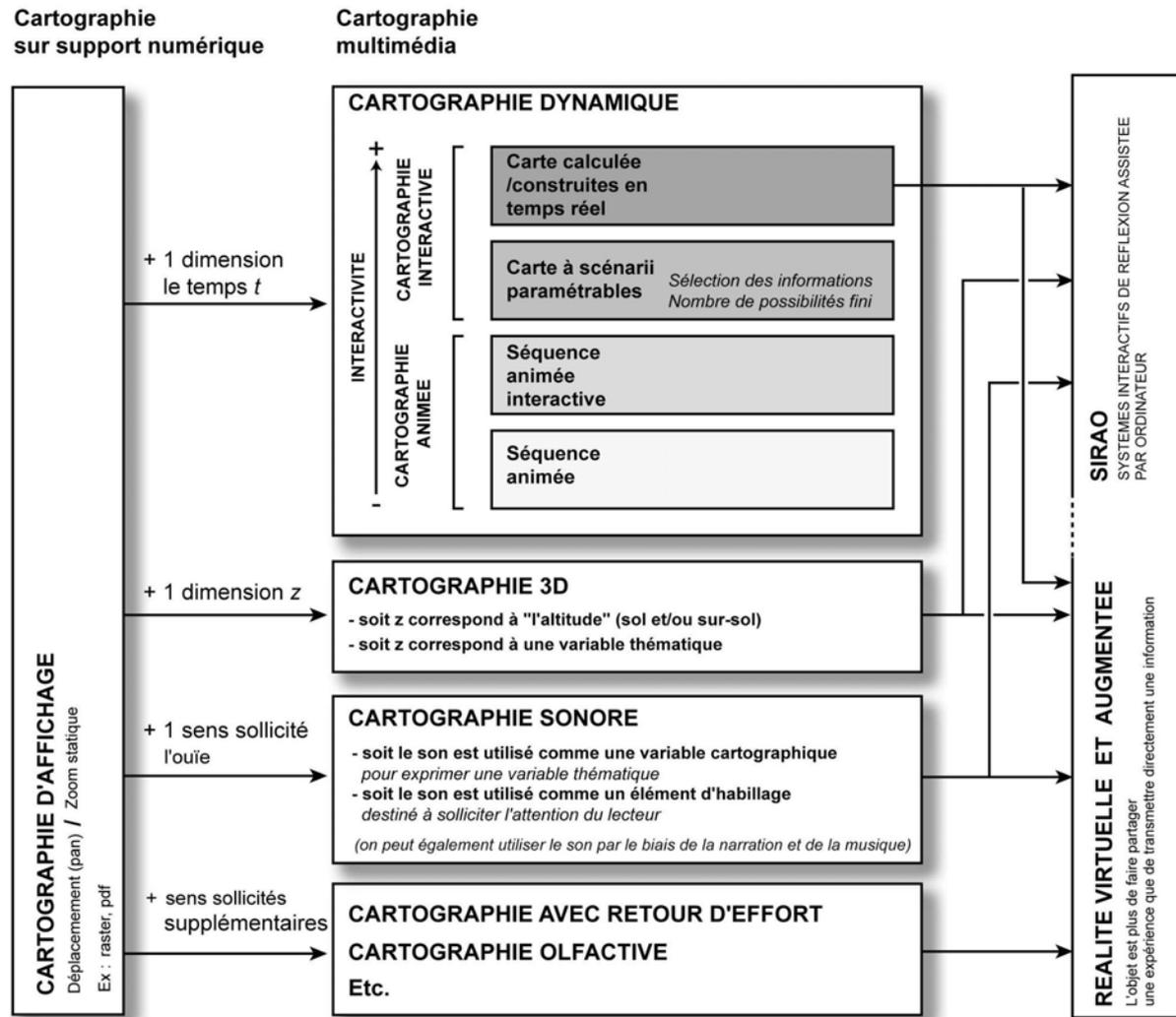
partir des coordonnées x et y de chaque objet que l'ensemble des données contenues dans la base de données localisées pourra être lié, mis en relation, et finalement visualisé, éventuellement communiqué.

A présent, l'ensemble de ces considérations théoriques est rendu pratiquement possible par la généralisation de l'informatique, et la croissance exponentielle des possibilités de calcul associées aux machines. Le matériel actuellement disponible permet quasiment tous les traitements que l'on voudrait associer aux cartes pour mieux visualiser les phénomènes qui y prennent place, dans des conditions de travail et de confort suffisamment convenables pour que ces traitements soient effectivement développés et exploités. En matière de cartographie, ces possibilités ont ouvert la voie à une cartographie dite dynamique et/ou interactive, deux qualificatifs qui mettent en relief l'idée de visualisation. Indéniablement, ces deux adjectifs offrent une forte valeur ajoutée à la cartographie. **Toutefois, le caractère dynamique ou interactif des cartes reste peu défini sur le plan théorique : à notre connaissance, il n'existe aucun essai montrant les liens entre dynamique et interactivité, qui synthétiserait leurs apports potentiels dans la représentation, la compréhension et la communication de phénomènes et de processus géographiques. Il apparaît donc nécessaire d'approfondir ce point, pour considérer le multimédia comme une véritable valeur ajoutée à la cartographie, susceptible de la faire considérablement évoluer.**

2 Vers une cartographie palliative et réflexive

A l'heure actuelle, on demande toujours aux cartes d'être simplement des cartes thématiques, comme à l'époque des cartes thématiques, on a continué à produire des cartes topographiques : tout n'est question que du besoin qui précède et qui commande leur construction. Mais la cartographie contemporaine peut aujourd'hui s'appuyer sur les développements techniques apportés par les SIG, le multimédia et les aspects théoriques introduits par l'analyse exploratoire et la visualisation scientifique. La cartographie correspond alors potentiellement à une nouvelle famille d'outils, qui pourrait s'assimiler à une « cartographie réflexive »¹¹, dont les nouveaux outils permettraient de pallier certains manques identifiés pour la cartographie topographique et thématique, parce qu'ils offrent une prise en compte « tout en un » des données. Ces développements techniques peuvent être détaillés à travers un schéma général décrivant la cartographie multimédia et ses spécificités (Figure 1). D'une part, ces nouvelles possibilités peuvent aider à mieux expliquer ce que l'on sait, et d'autre part, à mieux prendre en compte ce que l'on connaît mal. La cartographie s'appuie donc sur une forte valeur ajoutée.

¹¹ Nous reprenons l'idée de modernisation et de société réflexives présentée par Beck *et al.* (1994)



Auteur : S. Moisy

Figure 1 : Cartographie multimédia et contexte : un essai de typologie

2.1 Le multimédia : une cartographie à valeur ajoutée

Pour délimiter le cadre général auquel se réfèrent les possibilités de cartographie multimédia, interactive et dynamique, nous employons l'expression « cartographie sur support numérique¹² » afin d'envisager les technologies numériques simultanément comme support de communication et comme canal de diffusion de l'information. L'écran d'un ordinateur est le support le plus commun de ces nouvelles cartes, par le biais d'Internet, des CD-ROM et des DVD-ROM. L'ordinateur permet d'afficher des cartes : c'est ce que nous appelons la cartographie d'affichage¹³. Fondamentalement, il n'y a pas ici de grande différence avec la carte papier traditionnelle ; on peut tout aussi bien la masquer, s'éloigner, s'équiper d'une loupe... sans réelle exploitation des possibilités de visualisation et de communication

¹² Nous privilégions l'expression « cartographie sur support numérique » car « cartographie numérique » désigne déjà souvent les cartes produites à l'aide de moyens numériques lors de l'acquisition, du traitement, et de la composition.

¹³ Pour citer deux exemples, la façon la plus élémentaire de procéder est certainement d'avoir recours à l'image, en format raster .jpg ou .tiff ; une seconde option, plus raffinée, peut résider dans l'utilisation du format Adobe Acrobat où l'on accède au format vectoriel et à des fonctions telles que le zoom statique ou la possibilité de se déplacer sur la carte (pan).

multimédia de l'informatique actuelle. Mais si l'ordinateur ne modifie pas fondamentalement l'affichage et la lecture des cartes, il permet d'y ajouter une certaine valeur, particulièrement une valeur temporelle, qui peut rendre les cartes dynamiques.

2.1.1 D'une valeur ajoutée temporelle ...

Nous avons choisi de désigner par le terme « cartographie multimédia » une cartographie qui, quant à elle, a recours aux nouvelles possibilités offertes par la visualisation sur écran ou sur tout autre support de diffusion équivalent. Cette dénomination a été retenue avec un sens qui diffère de la définition classique (cette dernière considère qu'un document est multimédia s'il associe plusieurs formes de média et des hyperliens). Pour qu'il y ait cartographie multimédia, il faut une « valeur ajoutée » par rapport à la carte papier, statique, plane et silencieuse. Cette valeur ajoutée peut être de différentes natures.

C'est la dimension temporelle, par exemple, grâce à laquelle nous accédons à la cartographie dynamique, qui est sans doute l'une des formes les plus intéressantes de cartographie multimédia. Nous considérons que, si entre un temps t et un temps $t+1$, une représentation cartographique change - d'une manière interactive ou automatique - dans la sélection des informations représentées, dans la forme ou la localisation de ces informations, elle peut être qualifiée de dynamique. De ce fait, trois variables principales peuvent être rajoutées comme le suggère D. DiBiase (1991) : la durée, le taux de changement et l'ordre, qui peuvent être complétés par la phase comme le souligne MacEachren (1994).

Si l'on admet cette définition, on peut identifier deux grands types de cartes dynamiques : les cartes animées et les cartes interactives. Leur niveau d'interactivité est un bon indice pour les distinguer et les classer. La première et la moins interactive de ces représentations est la « carte animée » (ou séquence animée) ; l'utilisateur a la liberté de démarrer et d'arrêter l'animation, éventuellement de la lire en boucle. Le deuxième type correspond à une séquence animée que l'on a rendue plus interactive en intégrant un curseur de défilement à la représentation. Ce curseur permet d'effectuer des arrêts sur image et de choisir le sens et la vitesse de défilement. Il constitue un apport important pour une lecture efficace et réfléchie du document (cf. les anamorphoses animées, Antoni et Klein, 2003). Si l'on franchit une étape supplémentaire dans les possibilités de contrôle de la représentation, on entre dans le domaine de la cartographie interactive. Nous avons désigné son premier niveau par le terme « carte à scénarios paramétrables ». Le zoom dynamique¹⁴ et la sélection des informations affichées sont deux exemples des fonctionnalités de ces cartes. Dans tous les cas il existe un nombre fini de possibilités de modification de l'apparence et du contenu de la carte. Le dernier stade, le plus interactif, correspond à ce que nous appelons « cartes calculées/construites en temps réel ». Les possibilités d'interagir avec la représentation sont telles que l'on peut visualiser les informations sous une infinité de formes différentes, en modifiant, par exemple, les paramètres de discrétisation ou les variables visuelles utilisées (cf. les travaux de la société Geoclip, www.geoclip.com). On se rapproche alors des caractéristiques de l'analyse exploratoire.

La cartographie dynamique constitue à elle seule un nouveau champ de recherche et d'expérimentation pour les cartographes. Toutefois, si l'on sait depuis longtemps que ces représentations sont attractives (Koussoulakou et Kraak, 1992 ; DiBiase *et al.*, 1992) leur efficacité n'a pas encore été formellement démontrée (Caquard, 2001). Pour la cartographie

¹⁴ Lors d'un zoom dynamique on accède à différents niveaux de détails et de généralisation de l'information.

interactive, ces représentations posent la question de la liberté supplémentaire qui est accordée au lecteur dans le choix de la représentation et la lecture des informations. Liberté qui s'accompagne d'un transfert partiel de responsabilité dans la transmission et la compréhension des informations de l'auteur de la carte vers le lecteur de celle-ci.

2.1.2 ... à une valeur ajoutée visuelle ou sensorielle

Si le temps apparaît comme une dimension nécessaire à la construction d'une animation cartographique, il n'est pas la seule valeur ajoutée que l'on peut introduire dans une carte multimédia. On peut par exemple y ajouter également la troisième dimension z de l'espace pour accéder à la cartographie tridimensionnelle (cartographie 3D)¹⁵. Deux cas de figure principaux sont à envisager. Premièrement, on peut faire correspondre l'altitude à cette dimension z (au sens topographique) ; cette altitude représente le niveau du sol et/ou du sur-sol (bâtiment, végétation, etc.). Deuxièmement, il est possible d'associer à la dimension z une variable thématique ; dans ce cas le relief peut symboliser des phénomènes très différents comme la concentration au sol d'un polluant ou le niveau socio-économique d'une zone urbaine, par exemple. Ces techniques issues des progrès récents de l'informatique et de sa démocratisation offrent de larges possibilités, particulièrement lorsque que l'on cherche à représenter plus fidèlement certains aspects de notre environnement¹⁶.

Pour des raisons de perception, ou plus simplement pour des raisons de construction géométrique, il est délicat d'envisager la représentation de dimensions supplémentaires. Par contre, nous pouvons envisager de solliciter certains de nos sens, autres que la vue. Le premier sens qui peut faire office de valeur ajoutée est également utilisé pour la communication verbale : c'est l'ouïe. Grâce à la cartographie sonore, il est possible de construire des représentations qui sollicitent à la fois la vue et l'ouïe. Comme les variables visuelles pour la vue, de nouvelles variables cartographiques peuvent être identifiées pour ce type de cartographie : la localisation, la force, l'ampleur, la fréquence, le timbre, la durée, le taux de changement, l'ordre, l'attaque/déclin (Krygier, 1994). Quatre types d'utilisations du son en cartographie multimédia peuvent être principalement identifiés ; nous les présentons de la plus complexe à la plus simple.

La première option consiste à considérer le son comme une variable cartographique qui permet d'exprimer une variable thématique en redondance d'une variable visuelle ou totalement indépendante par rapport à cette variable en rajoutant de l'information sur la carte finale. L'exemple le plus simple est une carte du bruit : en se déplaçant sur la carte, on perçoit les niveaux de bruit associés à chaque endroit de la zone représentée (Muller, 2002)¹⁷. Mais on peut également envisager d'associer le son à d'autres variables comme l'attractivité ou le danger par exemple. La deuxième manière d'intégrer le son à la carte consiste à l'utiliser comme un élément d'habillage destiné à solliciter l'attention du lecteur. A certains éléments de la carte sont associés des sons déclenchés lors du survol ou d'un clic de la souris. Une troisième manière est d'accompagner la carte d'une narration, d'un commentaire qui agrémentera et complètera la lecture d'une carte animée par exemple. Enfin, on peut avoir recours à la musique simplement pour créer une ambiance, installer le lecteur dans des dispositions particulières.

¹⁵ Nous envisageons ici des représentations 3D que l'on peut manipuler, explorer, comme cela est possible en utilisant les technologies VRML ou JavaScript par exemple.

¹⁶ ou encore que l'on souhaite disposer de ce qui pourrait être une variable visuelle supplémentaire.

¹⁷ Séminaire de la faculté de géographie de Strasbourg, Février 2002.

Avec un peu d'imagination, et des dispositifs techniques particuliers, de nouvelles formes de cartographie sont également envisageables, qui solliciteraient nos autres sens. Ainsi, une cartographie olfactive pourrait nous faire partager les nuisances subies par les différents quartiers bordant un centre de traitement de déchets ; ou plus agréable, les nuances entre les « nez » des vins des grandes régions viticoles françaises. Le toucher, dans un premier temps, a été développé pour donner accès à la cartographie – qualifiée de cartographie tactile – à des personnes à déficience visuelle. Six variables tactiles équivalentes aux variables visuelles de J. Bertin sont identifiées par Vasconcellos (1996) en intégrant la troisième dimension : hauteur, taille, valeur, texture, forme et orientation. Cette approche peut être ouverte à d'autres horizons comme, par exemple, une cartographie avec retour d'effort qui mettrait à contribution notre sens du toucher. Lors de déplacements sur la carte, la manette (ou le dispositif de navigation) deviendrait de plus en plus difficile à manipuler à mesure que l'on se dirige vers les zones peu accessibles de l'espace représenté sur la carte. Les seules limites sont les possibilités de nos sens, notre imagination, et les capacités techniques pour concevoir les interfaces homme-machine indispensables à la « lecture » de ces cartes. Qu'il s'agisse de cartes olfactives ou de cartes par retour d'effort, mises à part quelques exemples pris dans le domaine cinématographique, de l'industrie (aviation et construction automobile) ou dans celui des jeux vidéo, aucune référence ne traite à notre connaissance d'expériences spécifiquement cartographiques menées dans ce domaine.

Bien sûr, l'intégration du temps, de la troisième dimension et du son peuvent être combinées pour obtenir des représentations riches et multimédia au sens « classique » du terme. Dans tous les cas, le recours à ces techniques doit être réfléchi et justifié au regard du but de la carte et du public auquel elle est destinée. **Deux domaines semblent constituer des « extensions naturelles » de ces nouvelles formes de cartographie. Le premier concerne toutes les techniques de réalité virtuelle et de réalité augmentée. Elles peuvent être d'une grande utilité dans l'analyse et la simulation paysagère par exemple. Nous dirons simplement que, selon nous, l'objectif est plus de faire partager une expérience que de transmettre directement une information. Le second domaine est directement celui des systèmes interactifs liés à une réflexion géographique sur l'espace représenté.**

2.2 Une valeur ajoutée pour mieux expliquer ce que l'on sait

De tels systèmes mettent la valeur ajoutée offerte par la cartographie multimédia au profit de nouveaux moyens pour expliquer au plus grand nombre ce que d'autres connaissent déjà, mais que la complexité empêche de communiquer directement. Ils peuvent également permettre de mieux comprendre ce que l'on connaît mal encore. Dans le premier cas, la cartographie multimédia et interactive apparaît comme un palliatif pour mieux communiquer à l'aide de l'image ; elle offre aussi des solutions intéressantes à des dilemmes jusqu'alors incompressibles pour les cartographes.

2.2.1 Vers un palliatif pour la communication en cartographie

Les solutions apportées par les possibilités d'animation cartographique apparaissent très intéressantes à ce sujet. D'une certaine manière, on peut dire qu'elles amènent à la construction d'une cartographie palliative. Palliatif est entendu dans le sens où l'efficacité de la carte animée n'est qu'apparente, et insuffisante en elle-même ; elle est présentée « sous un jour favorable, en dénaturant la vérité ». Dans un précédent article (Antoni et Klein, 2003), nous présentions en effet une anamorphose animée. L'animation n'a jamais constitué un attribut interprétable de l'espace géographique ; en l'occurrence, elle n'était pas liée au temps,

et ne pouvait donc décrire ni un phénomène, ni un processus associé à des lieux. L'animation était réellement présentée comme un palliatif, un moyen de mieux faire comprendre ce que la carte montre et représente, mais sans rien changer à ce qu'elle montre et ce qu'elle représente. L'animation d'anamorphoses ne consiste alors qu'à « atténuer, faute de remède véritable », le fait que certains lecteurs, peu habitués aux principes des transformations cartographiques, ne perçoivent pas directement les liens entre l'espace de référence et l'espace fonctionnel représenté par l'anamorphose. L'animation apparaît alors comme un atout pour la communication en cartographie, avant d'offrir de nouvelles solutions aux cartographes, jusqu'alors contraints d'opérer des choix forts pour établir leurs cartes.

2.2.2 Vers une solution à certains dilemmes cartographiques

Si l'on généralise à partir de cet exemple, force est de constater que les évolutions apportées par les techniques et l'informatique récentes, permettent de pallier quasiment tous les manques identifiés pour les cartes topographiques et thématiques. Le problème de l'échelle, par exemple, est partiellement réglé par la possibilité de zoom dynamique. La plupart des logiciels SIG permettent en effet non seulement de visualiser l'espace en s'en rapprochant ou en s'en éloignant, mais également d'afficher au fur et à mesure certains des éléments qui le caractérisent à chaque échelle : à mesure que l'on se rapproche (plus l'échelle cartographique devient grande), les unités administratives décrites sous forme de région apparaissent comme des départements, des cantons, des communes puis des îlots. Le problème du choix de l'échelle semble donc réglé, ou plutôt relégué au lecteur de la carte. Parallèlement, celui de la sélection l'est aussi : dans un SIG, les différentes « couches » qui classent l'information par familles peuvent être affichées ou masquées à souhait par l'utilisateur, ce qui lui permet en quelque sorte de construire « sa » carte, sur laquelle apparaît une sélection d'éléments répondant à « son » but. D'une carte très générale, on élabore donc une carte particulière, adaptée à un besoin particulier et évolutive en même temps que ce besoin. Parallèlement, les possibilités de mise en ligne de données géographiques et leur lecture simultanée par plusieurs acteurs, rendue effectivement possible par la généralisation des connexions Internet à haut débit, multiplient les possibilités de mise à jour. Certaines configurations informatiques permettent alors de tenir à jour une base de données géographique de manière quasi-instantanée (ce qui nécessite par ailleurs des informations complémentaires sur les données - métadonnées- pour décrire et gérer collectivement la base). La carte évolue en même temps que les données qui lui sont associées, ce qui règle en partie les problèmes liés à sa temporalité. Les possibilités de calcul informatique permettent également de recalculer le système de projection d'une carte de manière à l'adapter à un but possiblement changeant.

L'ensemble de ces modifications du contexte technique et les évolutions qu'elles apportent pour la cartographie concernent autant les attributs topographiques que les attributs thématiques des cartes. Elles permettent de solutionner des problèmes jusque-là incompressibles dans la représentation de l'espace géographique. Les évolutions récentes de la cartographie permettent donc de mieux représenter ce que l'on savait déjà représenter, de manière plus spécifique, et donc de mieux l'expliquer, voire de mieux le comprendre. Il met fortement en jeu les possibilités de communication liées à la cartographie.

2.3 Une valeur ajoutée pour mieux prendre en compte ce que l'on connaît mal

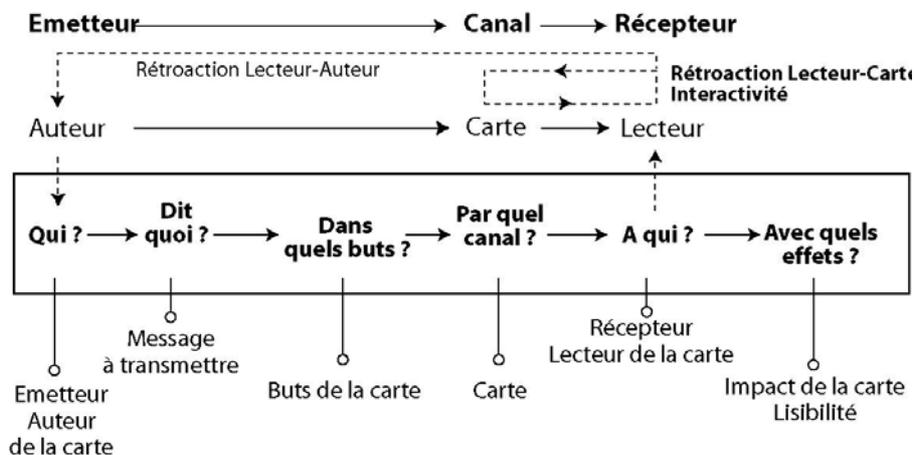
A un niveau supérieur, les applications de la cartographie interactive et multimédia ne doivent pas seulement servir de palliatif pour communiquer une information. Elles offrent véritablement de nouveaux canaux pour cette communication, dont les possibilités dépassent

le cadre proposé par H.D Lasswell (1966), en modifiant les rapports identifiées par D. Dibiase (1990), entre les cartes construites comme des outils révélateurs de structures, et les cartes conçues comme des outils de communication.

2.3.1 Vers de nouveaux canaux pour communiquer une information complexe

Selon H.D. Lasswell (1966), le champ de la communication peut être défini par les cinq termes de la question : « Qui dit quoi, par quel canal, à qui et avec quels effets ? ». Son schéma original se compose : d'un émetteur qui encode un message en signaux, d'un canal où circule les signaux codés et d'un récepteur qui décode le message à partir des signaux. Ce schéma linéaire de communication peut être complété par une boucle de rétroaction où le récepteur réagit et retourne de l'information à l'émetteur (une appréciation du message reçu par exemple).

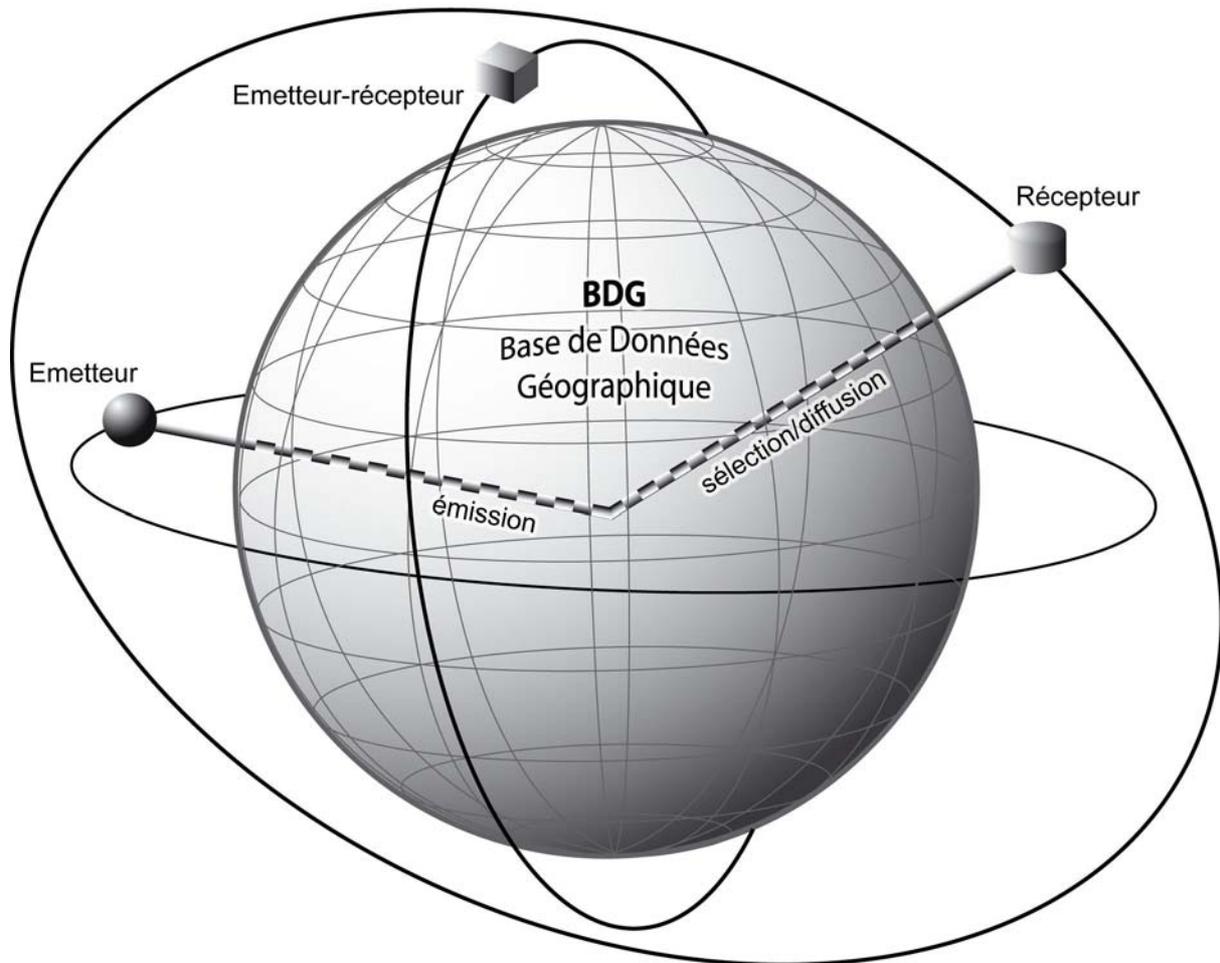
Comme l'a montré C. Cauvin (1996), le schéma général s'adapte assez facilement à la cartographie, où l'auteur d'une carte transmet un message par l'intermédiaire d'un canal (la carte) à un lecteur (Figure 2). En ajoutant l'interactivité à la carte, un nouveau palier est franchi dans la communication d'informations géographiques : le récepteur passe d'un rôle passif de lecteur à celui d'acteur ou d'utilisateur qui peut directement interagir avec le canal de communication, c'est-à-dire la carte. Il s'agit alors d'ajouter une nouvelle boucle de rétroaction, comme nous l'avons déjà proposé (Antoni et Klein, 2003). Néanmoins, ces possibilités d'interactions avec le canal sont prédéfinies et limitent les possibilités d'actions.



d'après H.Lasswell (1966) et C. Cauvin (1998)

Figure 2 : La carte : un canal de communication

Afin que le lecteur dispose d'une liberté totale d'action sur le canal, le schéma de communication doit non plus être vu de manière linéaire, mais prendre une nouvelle forme, que nous symbolisons provisoirement par une sorte de sphère (Figure 3). Cette nouvelle prise en compte du canal proposé par H.D Lasswell permet au lecteur/utilisateur de dépasser le simple rôle de récepteur passif, allant même au-delà de l'interactivité avec le canal. De par cette nouvelle forme de communication, le récepteur peut avoir des statuts différents selon l'utilisation qu'il fera de la carte. Ainsi, dans une démarche exploratoire, il pourra être tantôt récepteur, tantôt émetteur (ajoutant/sélectionnant de nouvelles informations sur la carte), tantôt émetteur-récepteur (modifiant les traitements ou les représentations).

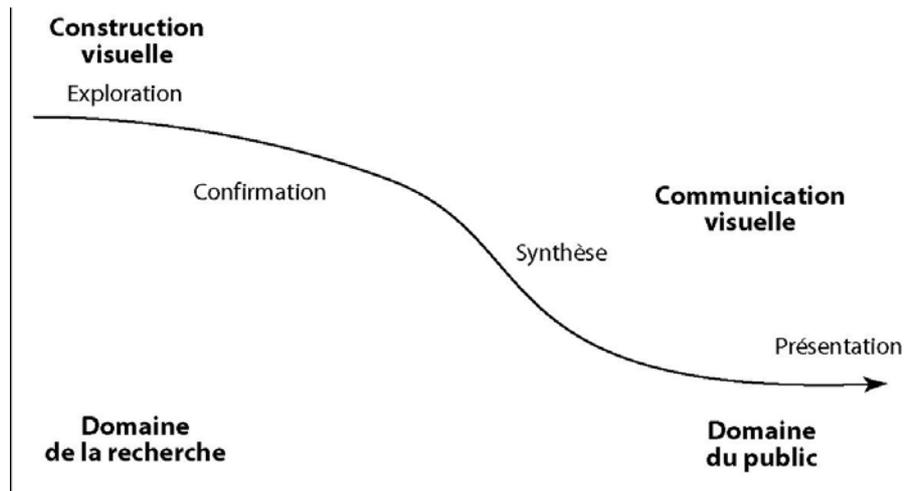


Auteurs : J.P. Antoni, S. Moisy

Figure 3 : De nouvelles possibilités de communication des informations géographiques

2.3.2 Vers des possibilités réflexives de construction de la connaissance

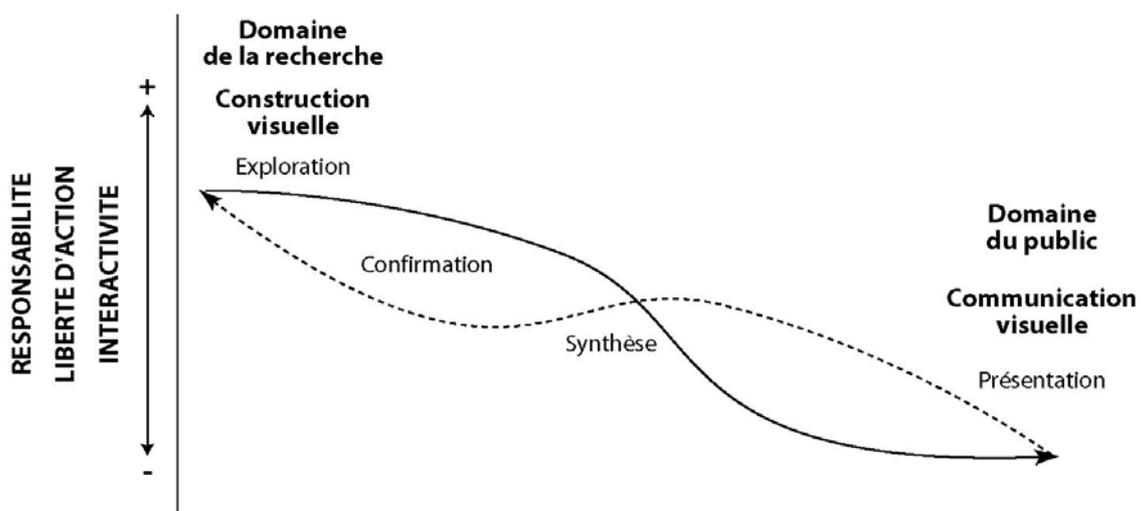
Le schéma de D. Dibiase (1990) montre quant à lui qu'il existe deux temps dans l'élaboration d'une carte (Figure 4). Le premier temps appartient au domaine de la recherche, dans lequel s'effectue la manipulation et l'analyse exploratoire des données spatialisées, étape où la visualisation joue un rôle important : elle permet notamment de disposer de différentes vues des mêmes données. L'objectif de cette phase peut être de rechercher des formes particulières, de mettre en évidence des anomalies, de faire apparaître des phénomènes non directement visibles, et d'identifier les structures sous-jacentes. La carte apparaît alors comme un outil révélateur de structures. Le second temps appartient au domaine de la communication visuelle. Il a pour but de diffuser l'information sous forme graphique auprès du public. A ce moment de la démarche, le concepteur de la carte met l'accent sur quelque chose qu'il sait déjà et qu'il a identifié lors de la phase de construction visuelle. La carte apparaît alors comme un outil de communication. Le passage du premier au deuxième temps, c'est-à-dire d'une carte-outil révélateur de structure à une carte-outil de communication, de la construction à la communication visuelle, ne peut se faire de manière automatique et nécessite un certain nombre d'étapes intermédiaires comme la confirmation des observations et la synthèse en vue de la diffusion finale.



C. Cauvin (1996), d'après D. Dibiase (1990)

Figure 4 : De la construction à la communication visuelles

Or, le schéma originel de D. Dibiase ne permet pas d'intégrer à la communication l'exploration des données par l'utilisateur final de la carte. Ce dernier ne dispose pas de possibilités d'interactivité et de libertés d'action suffisantes pour affiner ses recherches. Un retour en arrière vers la phase de construction visuelle doit alors être introduit sur ce schéma pour intégrer les possibilités offertes par la cartographie interactive et permettre ainsi de une plus grande liberté d'action au lecteur/utilisateur de la carte, symbolisée par une flèche supplémentaire sur le schéma (Figure 5). Il est alors possible de passer du domaine de la recherche à celui du grand public, mais également de faire le chemin inverse : à partir d'une représentation très simple de l'espace, ajouter des éléments au fur et à mesure que la lecture et la réflexion à propos de cet espace évoluent. En même temps que le lecteur (qui est alors simultanément émetteur et récepteur de l'information) chemine selon ce circuit, il modifie non seulement le niveau d'interactivité de la carte qu'il produit, mais également sa liberté d'action et sa part de responsabilité dans les résultats qu'il communique.



(2003) d'après C. Cauvin (1996) et D. Dibiase (1990)

Figure 5 : De la construction à la communication visuelles : une proposition complémentaire

Conclusion

L'évolution des possibilités techniques accompagnant l'évolution récente de l'informatique permet donc des modifications notables en cartographie. Ainsi, si l'ajout d'une dimension thématique avait permis de fixer des processus sur des représentations graphiques de l'espace terrestre, et ainsi de construire des cartes thématiques sur la base de cartes topographiques pré-existantes, l'ajout d'une dimension « méta-thématique », dont nous avons précisé les principes et les intérêts majeurs, semble autoriser une nouvelle transition. De ceci naît une confusion qui contribue à remettre en cause la définition de la carte et de la cartographie. Si l'on se réfère à l'étymologie, force est de constater qu'une carte ne s'associe plus toujours aujourd'hui à un morceau de papier. Elle continue pourtant toujours à essayer de représenter le monde qui nous environne, en prenant mieux en compte sa complexité et l'enchevêtrement des facteurs qui y prennent place. En tant que telle, l'évolution apportée par le multimédia et l'interactivité qui émerge aujourd'hui, n'est pas fondamentalement différente de celle qu'a apportée la carte thématique à son époque, comparée à la carte topographique. Si l'on considère en effet que la carte est fondamentalement un outil, l'un des outils qui aide les géographes, les gestionnaires et les aménageurs de l'espace, il est nécessaire qu'il évolue pour rester fidèle à des objectifs qui, eux, n'évoluent pas ; les valeurs ajoutées identifiées ici apparaissent alors véritablement comme de nouvelles solutions. Mais, nous ne pouvons pas être sûrs que ces solutions fonctionnent, c'est-à-dire que les possibilités de réflexion interactives proposées par les cartes de troisième génération permettent effectivement de mieux comprendre la complexité du monde qui nous environne. Nous pouvons uniquement poser l'hypothèse qu'elles y contribuent, en nous appuyant par exemple sur l'expérience probante de l'Analyse Exploratoire de Données.

Références bibliographiques :

- Anselin L., 1996, Interactive Techniques and Exploratory Spatial Data Analysis, *Geographical Information Systems : Principles, Techniques, Management and Applications*, Cambridge : Geoinformation International
- Antoni J.P., Klein O., 2003, L'animation d'anamorphoses. Un atout pour la communication en cartographie, *Revue Internationale de Géomatique*, Cartographie animée et interactive, 13/2003, pp. 81-92.
- Banos A., 2001, A propos de l'analyse exploratoire de données, *Cybergeog : European Journal of Geography*, n° 197, 11 p.
- Beck U., Giddens A., Lash S., 1994, *Reflexive modernization. Politics, tradition and Aesthetics in the modern social Order*, Cambridge, Polity Press.
- Burrough P.A., 1986, *Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment*, Clarendon Press.
- Burrough P.A., McDonnell R., 1998, *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press.
- Brunet, 1987, *La carte, mode d'emploi*, Fayard/Reclus
- Brunet R., Ferras R., Théry H., 1992, *Les mots de la géographie*, Reclus – La documentation française.
- Caquard S., 2001, *Des cartes multimédias dans le débat public*, Thèse de Doctorat de géographie, Université de St-Etienne, 277 p.
- Cauvin C., Rimbart S., 1976, *La lecture numérique des cartes thématiques. Les méthodes de la cartographie thématique*, Fascicule 1, Ed. Universitaires de Fribourg.
- Cauvin C., 1996, In favour in teaching theory in cartography. Suggestions for an academic cursus, *Cartographica*, vol.33, n°3, pp. 21-28.
- Chamussy H., 2003, Facing up the complexity (a Lebanese example), *Abstract of the 13th Colloquium on Quantitative and Theoretical Geography*, 5-9 september 2003, Lucca, Italy, pp. 60-61.
- Dangermond J., 1987, *The maturing of GIS and the new age for geographic information modelling (GIMS)*. In: Aangeenbrug R.T., Schiffman Y. M., 1987, *International Geographic Information System (IGIS) : The research agenda*, NASA Symposium, Arlington, Virginia, vol. 2, pp. 55-66.

- DiBiase D., 1990, « Visualization in the earth sciences », *Earth and Mineral Sciences*, Bulletin of the college of Earth and Mineral Sciences, PSU, Vol. 59, No. 2, pp. 13-18.
- Dibiase D, MacEachren A., 1991, *Animated cartographic visualization in earth system science*. Proceedings of the 15th International Cartographic Association Conference, Bournemouth, pp. 223-232.
- Dibiase D., MacEachren A. M., Krygier J. B., Reeves C., 1992, "Animation and the role of map design in scientific visualisation", *Cartography and Geographic Information Systems*, 19 (4), pp. 201-214.
- Haggett P., Chorley R.J., 1967, *Models in Geography*, The Trinity Press, pp. 362-424.
- Itami R.M., Raulings R.J., 1993, *SAGE Introductory Guidebook*, DLSR, Melbourne, Australia.
- Jenks G.F., 1963, Generalization in Statistical Mapping, *Annals of the Association of American Geographers*, 53, pp 15-26
- Josselin D., 1999, A la recherche d'objets composites avec le prototype ARPEGE, *Revue internationale de géomatique*, «Data mining spatial», Editeur K. Zeitouni, vol. 9, n° 4, 1999, p.489-505.
- Koussoulakou A., Kraak M.J., 1992, Spatio-temporel maps and cartographic communication, *The cartographic Journal*, December 1992, Vol 29, pp. 101-108.
- Kraak M.J., Ormeling F.J., 1996, *Cartography: Visualization of Spatial Data*, Longman ed.
- Krygier J.B., 1994, Sound and Geographic Visualization. In MacEachren A., Taylor DRF, (eds.), *Visualization in Modern Cartography*, Pergamon, pp. 149-166
- Lasswell H.D., 1966, The Structure and Function of Communication in Society. In : Berelson B., Janowitz M. (eds.), *Reader in Public Opinion and Communication*, New York, The Free Press.
- MacEachren A., 1994, Time as a cartographic variable. In Hearnshaw H.M., Unwin D.J., *Visualization in Geographical Information System*, John Wiley & Sons, pp. 115-130
- McCormick B., Defanti T.A., Brown M.D., 1987, Visualization in Scientific Computing, *Computer Graphics*, Special issue ACM SIGGRAPH, vol. 21 n°6.
- Monmonnier M.S., 1982, *Computer-assisted Cartography. Principles and Prospects*, Prentice Hall ed.
- Rimbert S., 1968, *Leçons de cartographie thématique*, Sedes.
- Robinson A.H., 1978, *Elements of Cartography*, Second edition, John Wiley and Sons, 343 p.
- Taylor D.R.F, 1983, *Graphic communication and design in contemporary cartography*, Progress in contemporary cartography, vol. 2, Wiley ed.
- Thomas I., 2001, Cartographie d'aujourd'hui et de demain : rappels et perspectives, *Cybergeo : Revue européenne de géographie*, n°189, 26/03/2001, 16 p. (<http://www.cybergeo.presse.fr>)
- Tukey J.W., 1977, *Exploratory Data Analysis*, Addison-Wesley.
- Unwin D., 1981, *Introductory Spatial Analysis*, Methuen ed.
- Vasconcellos R., 1996, Tactile Mapping Design and the Visually Impaired User. In Wood C.H., Keller C.P., *Cartographic Design : Theoretical Perspectives*, John Wiley and Sons, pp. 91-102
- Wood C.H., Keller C.P, 1996, *Cartographic design. Theoretical and practical Perspectives*, Wiley ed.
- Wood D., 1992, *The power of maps*, Routledge ed.