

13

L'évolution de la cartographie thématique sur micro-ordinateur

Jean-Paul Donnay

Professeur Ordinaire, Université de Liège

jp.donnay@ulg.ac.be

RÉSUMÉ. En 1983, la micro-informatique était naissante, et les quelques logiciels de cartographie accessibles étaient réservés à des « gros » ordinateurs. La communication faite à AutoCarto Six faisait l'hypothèse qu'un environnement micro-informatique pouvait supporter des applications de cartographie thématique. Les dernières décennies ont évidemment confirmé cette hypothèse. Mais, d'une part, c'est plus la structure portable et ouverte du logiciel qui s'avérait une originalité plutôt que le fait de s'appuyer sur un matériel particulier, désormais obsolète, et d'autre part, le rôle de la cartographie thématique s'est amenuisé au profit d'autres fonctionnalités offertes par les logiciels traitant aujourd'hui l'information géographique.

MOTS-CLÉS. Cartographie numérique, micro-informatique, données géographiques.

A. Titre la communication à AutoCarto Six.

Un logiciel de cartographie assistée par micro-ordinateur.

B. Objectifs de la communication originale.

Née à la fin des années 70, la micro-informatique ne s'est véritablement banalisée qu'au milieu des années 80, avec la large diffusion des premiers PC dédiés au monde professionnel (PC IBM XT et AT apparaissant respectivement en 1983 et 1984). Jusque-là, les ordinateurs individuels (Apple II, Commodore PET et Tandy RadioSchack TRS80 principalement) faisaient plutôt figure de stations de jeux pour utilisateurs fortunés ou de bancs d'essais pour amateurs d'électronique et d'informatique. L'informatique « sérieuse » utilisait des ordinateurs centraux (*mainframes*) et des stations de travail basées sur des mini-ordinateurs. La crédibilité du développement d'une application professionnelle sur micro-ordinateur était mise en doute, et le développeur devait avoir fait ses preuves sur des ordinateurs puissants et en utilisant des langages de haut niveau pour avoir droit à l'écoute de ses collègues.

C'est la situation qui prévalait lorsque je décidai de transposer un certain nombre de programmes de cartographie automatique que j'avais rédigés en FORTRAN sur IBM 370, vers un micro-ordinateur Apple II. L'autonomie offerte par la configuration micro-informatique (micro-ordinateur, écran, table traçante, tablette graphique et imprimante) et le temps de réponse rapide – tant lors de la phase de mise au point que lors de l'affichage des résultats des traitements – étaient bien sûr de sérieux atouts. Grâce à

eux, le développement envisagé devait pouvoir rencontrer les besoins des petites entreprises, mais aussi montrer de larges potentialités didactiques dans l'enseignement de la cartographie.

Le développement de logiciels de cartographie automatique, de traitement d'images et de systèmes d'information géographique a constitué une large part de mon activité professionnelle durant toutes les années 80 et une partie des années 90. C'est à ce domaine qu'ont été consacrés ma thèse de doctorat (Donnay 1985 ; 1986) et les premiers contrats de recherche qui m'ont été confiés. Bien sûr, la démarche a profité de l'évolution rapide du matériel, et des PC en particulier. Elle a aussi embrassé un champ de plus en plus large d'applications (projections cartographiques, traitement d'images de télédétection, etc. ; Donnay et Binard 1993).

Mais les éléments clés posés dès le début de la recherche sont restés : une structure modulable, portable et ouverte du logiciel. Ils apparaissent déjà dans la communication faite à AutoCarto Six en 1983, et se sont avérés fondés jusqu'à ce jour. Le succès des bibliothèques logicielles spécialisées (GDAL/OGR, GeoTools, etc.) et des logiciels libres et ouverts (*Open Source*) dans le domaine de la cartographie et des SIG en sont la preuve.

C. Considérations qui ont dicté la structure de la communication de 1983.

Les deux points les plus importants qui organisent la communication faite à AutoCarto Six sont, d'une part, la structuration des données géographiques et, d'autre part, la structuration modulaire du logiciel proprement dit. Pour comprendre l'importance de ces éléments, il faut se remémorer les contraintes liées à l'environnement micro-informatique de l'époque.

Le micro-ordinateur hôte est un Apple II Europlus, disposant au total de 64 Ko de mémoire centrale (48 Ko sur la carte mère et 16 Ko sur une carte d'extension). Les périphériques sont constitués de deux lecteurs de disques souples 5¹/₄ Apple (capacité de 141 Ko par disque), d'un écran monochrome exploité en « haute résolution » (208 x 192 pixels), d'une table traçante Houston (Bausch & Lomb) HILOT DMP2 (format Letter / A4) connectée en série, d'une imprimante Epson RX80 à aiguilles (matrice 9 x 9) connectée en parallèle, et d'une tablette graphique Apple (11" x 11", résolution de 200 dpi), reliée au micro-ordinateur par une interface spécifique de la marque. La configuration s'est enrichie par la suite (double écran, disque dur de 5 Mo, modem acoustique, etc.), mais les éléments décrits plus haut sont ceux disponibles au moment de rédiger la communication d'AutoCarto Six.

Cette configuration introduit trois contraintes importantes.

1. La première contrainte évidente est la limitation de stockage, tant en mémoire centrale, que sur disque externe. C'est elle qui a le plus d'influence sur la recherche d'une structure optimale de données et sur la modularité du logiciel.
2. La seconde contrainte à lever est celle du système d'exploitation (Apple DOS 3.3 à l'origine). Pour garantir la portabilité de l'application, il a fallu choisir un langage

de programmation indépendant et susceptible d'être compilé dans divers environnements.

3. Enfin, une dernière contrainte majeure provient de l'interfaçage des différents périphériques graphiques, soit à cause des contrôleurs de type propriétaire des appareils de la marque Apple, soit par l'absence quasi-totale de microprogrammes pour la commande des autres périphériques. Cette considération est à la base du développement de bibliothèques graphiques, indépendantes des périphériques, et de la réécriture de contrôleurs réduits à leur plus simple expression.

D. Position de l'application par rapport aux travaux contemporains.

L'effervescence suscitée par l'apparition de la micro-informatique s'est surtout traduite par une multiplication de publications non scientifiques destinées aux amateurs d'électronique et d'informatique, et publiant tant les codes (ou pseudocodes) d'algorithmes et d'interfaces, que les plans de solutions hardware (exemples parmi d'autres : Johnston 1979 ; Beetem 1980). Parmi les revues scientifiques, on notera cependant que *Computers & Geosciences* et l'*ITC Journal* ont assez rapidement montré un intérêt pour les développements d'applications micro-informatiques (un exemple contemporain : Devereux 1985). Il est évident que toute cette littérature, plutôt technique que scientifique, a influencé sur le moment telle ou telle solution implémentée dans le logiciel de cartographie présenté à AutoCarto Six.

Mais pour en revenir aux manières de lever les principales contraintes créées par l'environnement de travail, les sources sont plus claires.

D.1. Portabilité et structure modulaire.

Dans l'ordre des problèmes à résoudre, il fallait d'abord assurer la portabilité de l'application par l'usage d'un langage et d'un système d'exploitation adaptés. La solution retenue utilise un système d'exploitation écrit dans un langage évolué, et non dans le langage machine du processeur, en l'occurrence le P-System développé par l'UCSD (*University of California at San Diego*) et écrit en Pascal (Bowles 1979). Les différents langages évolués (FORTRAN, Pascal, ADA...) supportés par ce système sont compilés en code P, portable et indépendant du processeur. Le code P est ensuite traduit dans le langage machine d'un ordinateur hôte grâce à un interpréteur dédié. Gatterry (1982) signale qu'à l'époque, 80% des ordinateurs acceptant le langage Pascal supportent un tel interpréteur du P-System. Le système P et son interpréteur pour le processeur 6502 sont implémentés sur Apple II, avec carte d'extension mémoire, sous l'appellation Apple Pascal (Apple 1979 ; Luehrmann et Peckham 1981).

Outre l'avantage de la portabilité, le Pascal USCD offre la possibilité de regrouper les fonctions et procédures en unités de programme (*Units*) non résidentes en mémoire centrale. Elles sont chargées en mémoire lors de leur évocation par une procédure appelante et libèrent la mémoire dès que leur traitement est terminé. Cette facilité a déterminé la construction modulaire de l'application. Les différentes bibliothèques (fonctions trigonométriques, algorithmes infographiques de base, interface-utilisateur, etc.) et les

différentes solutions cartographiques (choroplèthe, isoplèthe, etc.) font, chacune, l'objet d'une ou plusieurs unités de programmes hiérarchisées. Le découpage en unités garantit une utilisation optimale de la mémoire centrale, sans jamais dépasser la faible capacité totale. Le programme principal se résume, quant à lui, à un menu invoquant les unités nécessaires.

D.2. Interfaçage des périphériques et librairies (carto-)graphiques.

L'absence de standardisation des interfaces graphiques rendait les programmes totalement dépendants des périphériques utilisés. Par exemple, telle fonctionnalité, appelée par une fonction et un jeu de paramètres dans le langage graphique DMPL (Houston Instruments), était appelée par une autre fonction et d'autres paramètres dans le langage HPGL (Hewlett-Packard). Dans la configuration qui nous occupe, l'écran graphique disposait d'une petite librairie dédiée, tandis que la table traçante ne bénéficiait d'aucun contrôleur, sinon les 4 codes binaires commandant les deux moteurs pas-à-pas dans les deux sens en abscisse et ordonnée, et les deux codes commandant l'abaissement et le relèvement de la plume (unique) du traceur.

Pour éviter de devoir écrire deux versions des routines graphiques (écran + traceur), et pour offrir un maximum de portabilité sur des périphériques d'autres marques, il a été décidé d'écrire une nouvelle librairie graphique standardisée, en langage Pascal. Tous les algorithmes graphiques fondamentaux, publiés dans les nombreux ouvrages de référence (Rogers et Adams 1976 ; Newman et Sproull 1981 ; Pavlidis 1982 ; etc.), pouvaient être implémentés en Pascal, moyennant le développement de librairies supplémentaires dédiées au traitement mathématique (géométrie, trigonométrie et calcul matriciel en particulier). Les routines de la librairie graphique standardisée sont interfacées avec le périphérique via un contrôleur écrit en langage assembleur appelant trois fonctions censées être toujours présentes avec des paramètres identiques : le déplacement en ligne droite entre deux points, et l'abaissement/relèvement de la plume (faisceau allumé/éteint sur un écran). Dans le cas particulier du traceur Houston DMP2 ne disposant d'aucun contrôleur, l'algorithme de Bresenham a été ajouté au contrôleur pour permettre le déplacement entre deux points, plume haute ou plume basse.

La structure de la librairie graphique standardisée s'inspire des travaux de normalisation en cours à l'époque. D'une part, SIGGRAPH dépose en 1979 *le Status Report of the Graphic Standards Planning Committee*, document de base du comité technique X3H3 de l'ANSI. Ce rapport présente deux normes importantes : VDI (*Virtual Device Interface*) et PMIC (*Programmer's Minimal Interface to Graphics*). D'autre part, le *Deutsches Institut für Normung* (DIN) présente le *Graphical Kernel System* (GKS) qui sera adopté par l'ISO en 1981 (ISO 1982 ; Langhorst et Clarkson 1983 ; Warman 1983). C'est précisément cette norme GKS qui influencera la définition de notre librairie graphique (dessins de symboles, de différents types de traits, d'écritures, etc.).

Le principe des librairies spécialisées, constituant chacune une unité de programme, a été généralisé dans l'application, en particulier pour les routines de base du dessin cartographique. C'est ainsi, par exemple, qu'une librairie est responsable de toutes les procédures liées au hachurage, une autre aux éléments graphiques de l'habillage

cartographique ou d'autres encore aux procédures de généralisation et de lissage de courbes. Le principe des librairies cartographiques avait déjà été évoqué dans certaines publications (par exemple : Yoeli 1982), mais peu appliqué dans un environnement micro-informatique suite aux difficultés de gestion de la faible mémoire centrale. Les applications cartographiques proprement dites se contentent, dans notre application, de combiner l'emploi de librairies spécialisées, le plus souvent imbriquées, tout en gérant l'espace mémoire requis pour leur exécution.

D.3. Structure des données géographiques.

Si il y a une chose qui a foncièrement changé depuis le début des années 80, c'est bien la disponibilité de données géographiques numériques – on y reviendra. Seules les agences officielles de cartographie disposaient de données sous cette forme, généralement non accessibles aux utilisateurs extérieurs. Plusieurs publications laissaient entrevoir l'impact qu'aurait la diffusion de données géographiques numériques (par exemple Guptill 1983). Mais en attendant, l'utilisateur souhaitant disposer de données numériques devait les « créer » en numérisant des documents cartographiques.

Notre application devait donc prendre en compte cette étape de numérisation, la tablette graphique Apple faisant office de table à numériser. Comme pour les autres périphériques graphiques, le contrôleur spécifique distribué par Apple a été court-circuité par une librairie standardisée écrite en langage Pascal, responsable de la totalité des fonctions de saisie, d'édition et de géo-référenciation des données récoltées. Couplée à un microprogramme assembleur chargé d'échanger les codes binaires avec la tablette (coordonnées-machine et statut du curseur), la librairie a permis l'utilisation d'autres tablettes graphiques en ne modifiant que le petit contrôleur écrit en assembleur.

Pour garantir la cohérence des données numérisées, une décomposition topologique était imposée dès la saisie. Les nœuds et les arêtes (ouvertes ou fermées, orientées et comptant éventuellement des points intermédiaires) étaient stockés dans des fichiers distincts. Les contours des entités polygonales, simples ou composées, se ramenaient aux séquences des identifiants d'arêtes constituantes. Les différents fichiers étaient organisés sous la forme d'une base de données en réseau. La solution était donc très similaire au modèle POLYVRT et autres modèles topologiques largement discutés à l'époque (Peucker & Chrisman 1975 ; Brassel 1977 ; Kobayashi 1980 ; etc.), mais aussi aux structures géo-relationnelles qui commençaient à être utilisées par les logiciels commerciaux (Atlas*Draw, ArcInfo, MapInfo par exemple). La structure permettait également l'application d'élégantes solutions graphiques (généralisation de lignes, tracé univoque des limites de zones contiguës, etc.) et, en évitant toute redondance inutile de points, elle s'avérait économe en consommation d'espace disque.

Les données attributaires associées aux géométries ainsi stockées, étaient enregistrées et gérées dans des feuilles de calcul aux formats des tableurs commerciaux de l'époque (DIF, SYLK...) ou dans des fichiers texte. Bien qu'elles soient déjà timidement évoquées dans la littérature (Chang et Fu 1980 ; Kobayashi 1980), les solutions

consistant à stocker les géométries et les attributs dans une base de données relationnelle étaient encore loin d'être opérationnelles, et totalement exclues de l'environnement micro-informatique du tout début des années 80.

Si la structure topologique offrait de nombreux avantages, elle freinait le traitement cartographique d'entités polygonales simples ou composées et d'entités linéaires composées. D'autre part, les limites de telles entités pouvant contenir un très grand nombre de points, elles risquaient de saturer la mémoire centrale. Pour contourner ces problèmes, lorsqu'une telle entité était invoquée par une procédure, les points formant sa géométrie étaient chargés en mémoire et structurés de façon dynamique selon une liste doublement chaînée. La consommation de mémoire était ainsi sous contrôle du programme et les coordonnées des points étaient disponibles de façon séquentielle pour la procédure appelante.

E. Contributions originales.

L'originalité provient plus de l'architecture et de la structure du logiciel, que des méthodes ou algorithmes programmés. La grande majorité des algorithmes utilisés était publiée et/ou implémentée dans des applications existantes, mais presque exclusivement sur de gros ordinateurs. Plusieurs programmes de cartographie thématique avaient aussi été développés pour micro-ordinateur (Leduc, 1979 ; Langlois, 1982), mais ils étaient le plus souvent dédiés à un type de cartes et à un environnement (matériel, système d'exploitation, langage). L'originalité et la difficulté résidaient donc dans la manière d'organiser les procédures et fonctions en bibliothèques spécialisées, pour obtenir finalement un système portable et ouvert, capable de fonctionner dans un environnement micro-informatique.

La portabilité a été discutée à la section précédente (code P, indépendance vis-à-vis des périphériques graphiques, tant vectoriels que rasters...). L'ouverture, c'est-à-dire la possibilité de développer de nouvelles applications cartographiques en profitant des bibliothèques existantes, est garantie par les interfaces publiques des unités de programmes offertes par le langage choisi. Elles fonctionnent à la manière des API en fournissant les spécifications des procédures et fonctions disponibles dans les bibliothèques.

Au total, l'utilisateur se trouve face à une application unique où, grâce à quelques menus, il peut réaliser plusieurs tâches liées aux activités cartographiques (acquisition, édition, géo-référenciation, généralisation et représentation selon plusieurs types de cartes).

F. Impacts.

Lors de sa présentation, la communication a rencontré un assez vif intérêt auprès des personnes présentes, et quelques semaines plus tard, elle avait l'honneur d'être sélectionnée pour publication dans *Cartographica*, ce qui a élargi son audience. Les réactions et questions apparues durant les mois qui ont suivi AutoCarto Six peuvent être classées en deux catégories:

- celles relatives à l'acquisition, l'installation et la configuration du logiciel;
- celles portant sur les possibilités d'exploitation des librairies en vue d'étendre les possibilités du logiciel (nouveaux types de cartes, etc.).

Les premières étaient de loin les plus nombreuses. Les fonctionnalités de saisie de données avec topologie semblaient les plus appréciées. C'est que l'acquisition de données au départ de cartes papier constituait, à l'époque, un véritable goulet d'étranglement dans la filière de cartographie numérique. L'opération réclamait un périphérique dédié et une interactivité continue, deux choses rarement rencontrées dans l'environnement centralisé des gros ordinateurs et, par contre, parfaitement adaptées à des environnements micro-informatiques. À l'opposé, il existait des alternatives pour les programmes dédiés à tel ou tel type de cartes qui pouvaient se satisfaire d'un traitement différé par lots (*batch*).

Les programmes-sources ont été distribués en une douzaine d'exemplaires un peu partout dans le monde, et nous avons personnellement participé à l'installation du logiciel au sein de plusieurs départements dans les universités voisines.

À partir du milieu des années 80, la portabilité de l'application était sérieusement remise en cause par le succès de l'IBM PC et du système d'exploitation Microsoft DOS. La structure de l'application n'était pas concernée mais l'utilisation du code P et de ses unités de programmes devait être abandonnée au profit d'un autre langage. Parallèlement, l'évolution du matériel (capacité mémoire, affichage en couleurs, etc.) modifiait les contraintes et les possibilités des applications cartographiques.

G. Les innovations et les concepts précurseurs.

Plusieurs hypothèses de travail énoncées en 1983 se sont avérées fondées.

Le micro-ordinateur, seul ou en réseau, client ou serveur, constitue bien la base de toute configuration informatique actuelle. Rares sont les traitements requérant aujourd'hui l'usage d'une configuration informatique lourde et spécialisée, en particulier dans le domaine de la cartographie et de l'information géographique.

Une conséquence immédiate de la suprématie des configurations micro-informatiques est l'abandon rapide des périphériques graphiques vectoriels, au profit des écrans, imprimantes ou scanners, utilisant une technologie raster. La structure des librairies graphiques indépendantes des périphériques et la rasterisation réalisée à la volée pour la visualisation sur l'écran de l'Apple II s'inscrivaient déjà dans cette mouvance technologique.

La portabilité et l'interopérabilité sont devenues la règle, tant pour le déploiement de données, que pour le développement de processus et de services. En matière d'information géographique, c'est même devenu le credo de l'OGC (*Open Geospatial Consortium*). Parallèlement, la diffusion de codes-sources sous licences libres (*Open Source*) ne constitue plus une attitude marginale, mais participe pleinement au foisonnement de solutions informatiques professionnelles.

L'intégration de traitements de données (édition, géo-référenciation, généralisation, etc.) dans une application conçue pour la cartographie ne constituait qu'un timide premier pas vers les progiciels SIG où des traitements de plus en plus diversifiés – d'analyse spatiale entre autres – allaient prendre le pas sur les procédures de cartographie.

Enfin, le recours à un système de gestion de base de données (en réseau) conservant les éléments topologiques des données géographiques est resté le modèle dominant de structuration des données spatiales durant plus d'une décennie pour l'ensemble des logiciels de cartographie et de SIG.

H. Ce qui n'avait pas été présagé en 1983.

Grâce à l'autonomie qu'elle offre, le succès de la micro-informatique avait été pressenti. Par contre, l'interactivité et l'interfaçage "WYSIWYG" généralisés par les systèmes d'exploitation tels que Mac OS et Windows n'étaient pas attendus. Il s'en est suivi une prédominance des périphériques écran - clavier - souris, reportant tous les autres périphériques graphiques au rang de "copies d'écran". L'importance de la visualisation sur écran s'est trouvée renforcée par la rapide évolution de l'affichage en couleurs. Parallèlement, la croissance des capacités des micro-ordinateurs (vitesse, mémoire...) a permis une visualisation dynamique. Ces innovations étaient susceptibles de modifier assez considérablement les applications cartographiques, même si l'on doit constater que, dans l'ensemble, les solutions cartographiques proposées aujourd'hui se contentent souvent de reproduire les solutions classiques, agrémentées de quelques facilités liées à l'interactivité.

Une autre innovation technologique qui n'avait pas été prise en compte est le développement des réseaux, et en particulier celui du réseau des réseaux : Internet. C'est lui qui va permettre la dissémination des données, et par là, leur standardisation, ainsi que l'apparition de services dédiés à l'information géographique. Vis-à-vis des conditions de travail décrites en 1983, la distribution d'informations au départ d'infrastructures de données spatiales supprime presque complètement le recours aux tâches fastidieuses et aux sources d'erreurs liées au processus de numérisation de cartes papier. Par contre, elle réclame de l'utilisateur la maîtrise de prétraitements cartographiques, tels que la géo-référenciation et la généralisation.

En termes de stockage et de gestion de données, le rôle des systèmes de gestion de bases de données (SGBD) s'est considérablement renforcé, mais en changeant complètement de modèle. Du modèle hybride géo-relationnel, on est passé au modèle intégré relationnel ou objet-relationnel, considérant désormais la géométrie comme un simple attribut dans les tables des entités spatiales.

Enfin, la modification la plus sensible pour l'ensemble de la communauté des utilisateurs réside certainement dans l'abandon pur et simple du développement et de la commercialisation de logiciels de cartographie, au profit de logiciels-SIG. La géo-visualisation y est omniprésente, mais les représentations cartographiques thématiques ne constituent plus qu'une fonction optionnelle du logiciel. Sont privilégiés : l'interface transactionnelle avec le SGBD, les procédures d'algèbre de cartes et les traitements

d'analyse spatiale. La cartographie analytique, préconisée par certains auteurs (Tobler 1976 ; Clarke 1987 ; 1995), relève plus de ces procédures que de la cartographie thématique originelle.

I. Conclusions.

Les titres et sous-titres de la communication faite à AutoCarto Six en 1983 conservent une connotation très actuelle, tant en matière de développement informatique en général que, de façon plus précise, en matière d'information géographique. Micro-informatique, portabilité, ouverture, base de données spatiales, etc. sont autant de concepts qui permettent d'identifier les propositions originales de l'époque, et de les rapprocher des concepts analogues prévalant aujourd'hui.

Pourtant, cela ne peut cacher ni l'écart considérable de technologie, ni surtout le déplacement du centre d'intérêt des utilisateurs des données géographiques.

- La prévalence de l'écran – de technologie raster – parmi les périphériques graphiques, la gestion de la géométrie des objets géographiques dans les tables d'un SGBD relationnel, l'émergence des services spécialisés sur le Web sont quelques exemples des changements technologiques qui sont intervenus.
- La disponibilité de données géographiques normalisées au sein d'infrastructures de données spatiales, la capacité de localisation embarquée par toute une série d'appareils (véhicule, téléphone, caméra, etc.), la faculté d'afficher, dans n'importe quel navigateur Internet, fonds de cartes, photographies aériennes et images satellite couvrant la majorité de la surface terrestre, sont autant de facilités permettant à tout utilisateur de s'approprier l'information géographique.

1.1. Constats.

Après 30 ans, et malgré l'évolution technologique considérable, on constate que les règles présidant à l'élaboration des cartes thématiques ont peu changé.

On se doit pourtant de mentionner les travaux remarquables sur l'usage de la couleur qui – même si cette variable graphique n'est pas encore utilisée pleinement – ont sensiblement fait évoluer la sémiologie graphique (Brewer, 2005 ; Garo, 2009).

Il est tout aussi vrai que les types de cartes restent fort similaires à ceux que l'on a toujours connus. À l'exception de quelques formes spectaculaires de visualisation (anamorphoses, anaglyphes...) facilitées par l'informatique, la créativité en matière de cartographie numérique semble s'être essouffée au milieu des années 80.

Parmi les causes possibles de cette relative stagnation, on peut avancer l'introduction dans l'environnement micro-informatique d'une couche d'interface-utilisateur conviviale, mais lourde et largement "propriétaire", ce qui a vraisemblablement freiné la créativité en éloignant bon nombre d'utilisateurs des tâches de programmation.

Pour le professionnel, la **géo-visualisation** semble s'être imposée, en lieu et place de la cartographie thématique. Elle est perçue comme l'ensemble des outils et techniques supportant les méthodes d'analyse de données géographiques, grâce à l'usage des capacités interactives des configurations micro-informatiques.

Couplée aux traitements de données géographiques dans des logiciels SIG, la géo-visualisation offre d'indéniables avantages au professionnel. Pourtant, la représentation graphique « par défaut » des données et des résultats des traitements est souvent aléatoire et par conséquent non significative. Si l'utilisateur peut s'en contenter lors de manipulations rapides et multiples, il en va tout autrement lorsqu'il s'agit de communiquer ces résultats à des tiers.

Pour l'amateur, les fonctions associées aux sites de **cartographie en ligne** lui offrent la possibilité de construire et de visualiser des « cartes » personnalisées.

La consultation des « cartes » réalisées par les profanes accédant à la « géographie / cartographie participative » par le biais des sites de cartographie en ligne montre souvent de telles ambiguïtés et de telles aberrations que ces documents ne sont pas utilisables. On perçoit cependant l'émergence d'une demande d'outils et de règles plus efficaces de la part de la communauté d'utilisateurs avertis.

Il n'a jamais été aussi facile qu'aujourd'hui de visualiser l'information géographique, et pourtant une communication cartographique efficace reste indispensable et réclame toujours la même réflexion (Bord, 2012).

1.2. Perspectives.

Les services Web constituent une des innovations les plus importantes de ces dernières années dans le domaine de l'information géographique. Parmi ceux-ci, le WMS (*Web Map Service*) est de loin le plus utilisé. En première approximation, la réalisation de l'image qui est transmise par ce service ressort de la cartographie thématique, sous contrôle de contraintes supplémentaires dues à la nature du canal de communication.

La conception de l'image véhiculée par le WMS est de la responsabilité du détenteur des données géographiques. Cependant, il est possible d'envisager un chaînage de services qui permettrait à tout utilisateur :

- de récupérer, auprès d'un ou de plusieurs producteurs, des données géographiques de base (via un ou plusieurs WFS – *Web Feature Service*) ;
- de les soumettre à des traitements adéquats en ligne (via un ou plusieurs WPS – *Web Processing Service*) conduisant à l'obtention d'une carte thématique ;
- et finalement de créer un WMS sur un serveur, afin de communiquer la carte à d'autres utilisateurs du réseau.

Un WPS qui, toute autre chose étant égale, pourrait sélectionner le type adéquat de carte thématique en fonction des données à traiter, et qui respecterait les règles de rédaction cartographique élevées au rang de standards (sémiologie, écritures, habillage, etc.), constituerait certainement un outil utile tant pour le professionnel que pour l'amateur de cartographie participative. L'exploitation des caractéristiques de la cartographie en ligne permettrait en outre de développer de nouveaux types de cartes.

Parallèlement, l'évolution technologique des dispositifs de visualisation graphique (dispositifs portables, écrans virtuels...) réclame une adaptation rapide des règles et des méthodes de représentation cartographique. Plus fondamentalement encore, l'évolution du concept de géométrie de l'information géographique – notamment selon les règles du langage GML (Donnay 2009) – laisse entrevoir une nouvelle approche des méthodes de la cartographie (de la généralisation à la représentation). Il n'est pas impossible qu'après quelques décennies de stabilité voire d'indolence dans le domaine de la cartographie thématique, les prochaines années voient émerger un nouveau dynamisme, similaire à celui connu au début des années 80, avec l'apparition de la micro-informatique.

J. Références.

- Apple. 1979. *Apple Pascal Reference Manual*. Cupertino (CA): Apple Computer Inc.
- Beetem, J. 1980. Vector graphics for raster display. *Byte*. 5-10: 286-293.
- Bord, J.P. 2012. *L'univers des cartes*. Paris : Belin.
- Bowles, K. 1979. *Beginners Guide to the USCD Pascal*. Peterborough (NH): Byte Books.
- Brassel, K. 1977. A topological data structure for multi-element map processing. In *An Advanced Study Symposium on Topological Data Structure for Geographic Information Systems*, octobre 1977. Cambridge (MA): Harvard University.
- Brewer, C.A. 2005. *Designing Better Maps. A Guide for GIS Users*. Redlands (CA): ESRI Press.
- Chang, N.S. et Fu, K.S. 1980. A relational database system for images. In *Pictorial Information Systems*, Goos, G. et Harmanis, J. (ed.). *Lecture Notes in Computer Science*. 80: 257-287.
- Clarke, K.C. 1987. Analytical cartography revisited. *Proceedings of the XIIth Annual Surveying Teachers Conference: Surveying the Future*, July 1987, Madison, 297-302.
- Clarke, K.C. 1995. *Analytical and Computer Cartography*. 2^d ed. Englewoods Cliffs (NJ): Prentice Hall.

- Devereux, B.J. 1985. The construction of digital terrain model on small computers. *Computers & Geosciences*. 11-6: 713-724.
- Donnay, J.P. 1985. Concepts, méthodes et apports de la cartographie assistée par micro-ordinateur. Ph.D. Thesis, University of Liège.
- Donnay, J.P. 1986. MICRO-GIS: A system for spatial data handling on microcomputer. *Proceedings of the ACSM-ASPRS Convention, Washington D.C.*, 86-105.
- Donnay, J.P. et Binard, M. 1993. GIPSY : un système d'informations géographiques orienté image. In *Outils micro-informatiques et télédétection de l'évolution des milieu*. Dubois, J.M. et Blasco F. éd. : Sainte-Foy : Presses de l'Université du Québec/AUPELF : 281-307.
- Donnay, J.P. 2009. Évolution du concept de géométrie de l'information géographique. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 52 : 101-104.
- Garo, L.A.B. 2009. *Colour Theory*. <http://personal.uncc.edu/lagaro/cwg/color/index.html>
- Grattery, J.C. 1982. *Le langage Pascal USCD*. Levallois-Peret (France): Technology Resources.
- Guptill, S.C. 1983. The impact of digital cartographic data in the geosciences. *Computers & Geosciences*. 9-1: 23-26.
- ISO, 1982. *Draft International Standard ISO/DIS 7942. Information Processing. Graphical Kernel System (GKS). Functional Description*. Ref. ISO TC97/SC5/WG2 N163.
- Johnston, W.D. 1979. Computer generated maps. Parts 1 & 2. *Byte*, 4-5: 10-101 & 4-6: 100-123.
- Kobayashi, I. 1980. Cartographic databases. In *Pictorial Information Systems*, Goos, G. et Harmanis, J. (ed.). *Lecture Notes in Computer Science*. 80: 322-350.
- Langhorst, F.E. et Clarkson T.B. 1983. Realizing graphics standards for microcomputers. *Byte*. 8: 256-268.
- Langlois, P. 1982. EDICART, logiciel de cartographie sur micro-ordinateur. *Actes du deuxième colloque national de micro-infographie*. Rouen : Groupe Image & Association des géographes de Haute-Normandie, J1-J16.
- Leduc, A. 1979. Les systèmes CARTOVEC. *Cahiers géographiques de Rouen*, 10-11: 103-133.
- Luehrmann A. et Peckman H. 1981. *Apple Pascal. A Hands-on Approach*. New York: McGraw Hill.

Newman, W.M. et Sproull, R.F., 1981. *Principles of Interactive Computer Graphics*. 2^d ed. Tokyo: McGraw Hill - International Student edition.

Pavlidis, T. 1982. *Algorithms for graphics and image processing*. Rockville (MD): Computer Sciences Press.

Peucker, T.K. et Chrisman, N.R. 1975. Cartographic data structures. *The American Cartographer*. 2:55-69.

Rogers, D.F. et Adams, J.A. 1976. *Mathematical Elements for Computer Graphics*. New York : McGraw Hill.

Tobler, W.R. 1976. Analytical cartography. *The American Cartographer*. 3-1: 21-31.

Warman, E. 1983. Graphics. A European standards. *Systems International*. 11: 51-53.

Yoeli, P. 1982. Cartographic drawing with computers. *Computer Applications*, 8: 1-127.