

Parcours 5. Questions de géomatique en géographie. Essai d'analyse de la situation française.

1. Une perspective historique	432
1.1. Éléments pour une histoire de l'informatique en géographie	432
La convergence géomatique	432
Sources et méthodes	434
Une histoire de l'informatique	435
Une périodisation	436
1.2. Informatique et géographie académique en Amérique du Nord (1950-1985)	437
L'état technologique de la géographie américaine dans les années 50	437
1955-1960 : Les pionniers de la première informatique	438
1960-1970 : Les développements parallèles	439
1970-1985 : La "diffusion latérale" de la technologie	443
1.3. L'informatique dans la recherche géographique française avant la géomatique	447
L'ordinateur, outil de la révolution quantitative	447
Cartographie automatique et système d'information	450
De la micro-informatique à la géomatique	452
2. La place de la géomatique dans la géographie française: un essai de bilan quantifié	456
2.1. La montée de la thématique SIG en géographie	456
Les thèmes de recherche	457
Les articles scientifiques	460
Les thèses	461
2.2. Les caractéristiques des publications	462
Les grands domaines d'application	463
Les finalités de la recherche	464
Les points de vue sur les SIG	465
Les fonctions des SIG	466
2.3. Commentaires	467
3. Géomatique et géographie, débats et enjeux	468
3.1. En France, un débat entre spécialistes	469
SIG et création d'information	469
SIG et analyse spatiale	469
Qu'apportent les SIG à la géographie ?	470
SIG et rapport de la géographie avec les autres disciplines	470
SIG et géographie appliquée	471
Un bilan	471
3.2. Le débat de la géographie anglo-saxonne à propos des SIG	472
Le positivisme des SIG	472
Réalisme naïf	472
Anti-humanisme et naïveté politique	473
La défense des géomaticiens	473
3.3. Géomatique et géographie, les enjeux	474
Le projet scientifique de la géomatique	474

Le rapport des géographes à l'informatique _____	477
Les enjeux de la géomatique dans la géographie française _____	480
4. Orientations _____	483
4.1. Faire le point _____	483
4.2. Directions _____	484
5. Bibliographie _____	484
6. Renvois _____	490
Table des figures et des planches _____	490
Liste des sigles et abréviations _____	490

Ce cinquième et dernier parcours concerne un chantier de recherche engagé plus récemment et qui s'avère donc le plus exploratoire des cinq. Il s'agit moins de la présentation de résultats que de pistes de questionnement accompagnées de premiers indices de réponse. La question des rapports entre informatique et géographie, en tant que disciplines, nous est apparue progressivement dans le cadre de trois contextes.

La prise en charge dès 1989 d'un cours sur les SIG dans le DEA (Diplôme d'Études Approfondies) Interface Nature & Société puis en Maîtrise de géographie à Saint-Etienne en 1992, la création en 1993, en relation avec une École d'Ingénieur, d'un diplôme professionnel de géomatique sous forme de DU (Diplôme d'Université), DESS (Diplôme d'Études Supérieures Spécialisées) puis Master, nous ont conduit naturellement à réfléchir la place de la géomatique dans l'enseignement de la géographie et du rôle des géographes dans le développement de la géomatique. Cela restait toutefois dans un cadre très appliqué d'élaboration de programmes de cours et de réflexion sur l'insertion professionnelle de nos diplômés. Cette réflexion a été transformée quand on nous a proposé de participer à un projet de recherche en didactique, mené dans le cadre de l'Institut National de la Recherche Pédagogique (INRP), et qui portait sur l'introduction des Systèmes d'Information Géographique dans l'enseignement secondaire. L'étrangeté de la géomatique par rapport à la géographie scolaire française nous est apparue d'autant plus fortement que nous étions peu familiarisés avec les questions de didactique de la géographie. L'avancée de la recherche nous a conduit à étudier de manière plus approfondie les relations spécifiques entre géomatique et géographie. Enfin, la recension de la bibliographie anglo-saxonne sur les SIG nous a fait découvrir les violents débats qui ont occupé les géographes anglais et américains dans les années 90 à propos des questions scientifiques, stratégiques et politiques que posaient la géomatique aux géographes. Cela nous a amené à nous interroger rétrospectivement sur cette question dans un cadre français.

Cette interrogation peut apparaître paradoxale alors que la plupart des chercheurs sont d'accord pour reconnaître que les SIG trouvent leur efficacité dans un travail collectif et interdisciplinaire. N'est-il pas un peu frileux et rétrograde de rapporter la question des SIG au cadre étiqué d'une discipline particulière, fût-elle aussi multiforme que la géographie ? Trois réponses peuvent être apportées. D'abord, une bonne interdisciplinarité ne se conçoit qu'avec des chercheurs pleinement conscients des caractéristiques, contraintes et richesses de leur propre discipline d'origine. C'est parce que l'on se sent à l'aise dans la géographie que l'on peut être utile dans une équipe de recherche multidisciplinaire. Le fait que les outils SIG soient mis en œuvre dans un contexte multidisciplinaire devrait justement conduire les géographes à mieux définir la place de ces outils dans leur propre discipline. Se focaliser sur l'usage des SIG dans la communauté des géographes ne relève donc pas d'une stratégie de repli. On peut dire de l'interdisciplinarité ce que Jaurès disait de l'internationalisme : un peu d'interdisciplinarité éloigne de la discipline, beaucoup y ramène. Ensuite, la géographie n'est pas tout à fait une discipline comme les autres pour la géomatique. Elle est la seule qui a fait de l'espace, non l'objet de son étude, mais une catégorie fondamentale de l'appréhension des phénomènes. L'existence d'un dialogue vivant et constructif entre géographes et géomaticiens devrait donc plutôt être envisagée comme un facteur positif pour la géomatique. Enfin, le développement des outils géomatiques constitue sinon un problème, du moins un enjeu pour la géographie, qui nous paraît sous-estimé. Il est donc légitime de l'aborder frontalement.

Nous commençons par une mise en perspective historique de l'informatique en géographie et de l'arrivée des SIG dans la recherche géographique française. Nous faisons ensuite un bilan quantifié de la place du thème géomatique dans la recherche géographique française à partir de quelques indicateurs, suivie d'une revue thématique des débats internes à la géographie à propos

des SIG. Enfin, nous discutons dans une troisième partie trois questions importantes qui nous semblent se poser pour le futur : le projet scientifique de la géomatique, le rapport des géographes à l'informatique et les enjeux de la géomatique en géographie.

1. Une perspective historique

Pour comprendre les rapports actuels entre géographie et géomatique, il nous paraît nécessaire de remonter dans le temps. On s'attache ici à comprendre la préhistoire de la géomatique, la plus récente des deux disciplines et à retrouver les liens qu'elle a tissés au cours du temps avec la géographie.

1.1. Éléments pour une histoire de l'informatique en géographie

Construire une histoire de la géomatique depuis la France n'aurait guère de sens alors que l'essentiel des témoins et des documents se trouve de l'autre côté de l'Atlantique, au moins jusque dans les années 1980. Les chercheurs américains ont déjà lancé des recherches en ce sens et les grandes lignes de cette histoire sont connues. La priorité ne porte pas pour nous sur la précision des faits, ou l'ajout de nuances à propos des stratégies des acteurs concernés. Nous voulons nous focaliser ici sur deux principales questions. Comment se sont diffusées les techniques informatiques dans la recherche en géographie, dont les SIG ne constituent, au moins au début, qu'un volet ? Comment la géographie française a-t-elle accueilli la géomatique ?

La convergence géomatique

Le contenu d'une histoire de la géomatique est tributaire de la définition que l'on se donne de celle-ci. Celle de Bergeron (1992) déjà mentionnée dans notre premier parcours peut nous servir de guide dans la recherche des limites du champ de notre recherche historique. La géomatique y est décrite comme « *une discipline ayant pour objet la gestion des données à référence spatiale par l'intégration des sciences et des technologies reliées à leur acquisition, leur stockage, leur traitement et leur diffusion.* ». Le mot le plus important de cette définition est celui d'*intégration* des sciences et technologies. La notion de géomatique suppose une approche intégrée des méthodes, techniques et technologies liées à la gestion des données à référence spatiale. Elle naît et prospère à partir de l'impact de l'utilisation de l'informatique dans la gestion de ce type de données bien particulier. La suite de la définition est plus problématique. En effet Bergeron intègre dans la géomatique principalement les disciplines suivantes : *les mathématiques, la physique, l'informatique, la topométrie, la cartographie, la géodésie, la photogrammétrie et la télédétection* ». Il saute aux yeux qu'une approche historique de la géomatique ne nécessite nullement de mobiliser une histoire des mathématiques ou de la physique dans leur ensemble, en tout cas pas plus qu'une histoire de la géographie ou de l'aviation par exemple, alors que l'histoire de l'informatique est indispensable, tout comme celle de la cartographie, de la photogrammétrie et de la topographie. Il est plus raisonnable de réécrire ainsi la définition de la géomatique de Bergeron : « *une discipline ayant pour objet la gestion des données à référence spatiale par l'intégration au moyen de l'informatique des savoirs et des technologies reliées à leur acquisition, leur stockage, leur traitement et leur diffusion, et principalement : la topométrie, la cartographie, la géodésie, la photogrammétrie et la télédétection...* ».

Si l'on adopte cette définition, il est clair qu'il n'y a pas *invention* de la géomatique, mais constitution progressive d'un champ de pratiques et de savoirs à partir de la prise de conscience progressive que des formes distinctes d'information convergent vers une structure numérique commune. Plus la numérisation des technologies de l'information à référence spatiale avance, plus aisée devient la connexion entre les différentes applications et métiers liés à cette information. Le grand pourfendeur de la technique qu'était J. Ellul avait perçu très tôt le rôle

simple mais fondamental de l'informatique : « la seule fonction de l'ensemble informatique est de permettre la jonction, souple, informelle, purement technique, immédiate et universelle entre les sous-systèmes techniques » (Ellul 1977). La géomatique constitue la jonction entre tous les sous-systèmes techniques liés à l'information à référence spatiale.

Une préhistoire de la géomatique conduit à remonter avant cette jonction et à suivre les nombreux fils, longtemps parallèles et distincts, des multiples activités, disciplines et métiers de la gestion de l'information à référence spatiale, qui se sont noués progressivement avec le développement de l'informatique. Ces activités ont longtemps été fondées sur des techniques puis des technologies spécifiques de description de la surface de la terre, même si des échanges existaient entre elles. Quodverte (1994) en a dressé une histoire très circonstanciée et méticuleuse pour la France. La technologie principale de la convergence est bien sûr l'informatique générale, et ses applications comme l'infographie ou les bases de données. Mais des innovations technologiques non informatiques ont des conséquences importantes en géomatique : cartographie, levés de terrain, aéronautique, typographie et reproduction, optique ... Une histoire des technologies de l'information géographique nécessite de prendre en compte des objets extrêmement divers : appareillages, dispositifs, programmes informatiques, logiciels commercialisés, expériences de recherche, politiques publiques.

Pour aller plus loin qu'un simple inventaire d'inventions et de techniques et comprendre les objectifs, les stratégies et les enjeux sous-jacents à l'émergence de la géomatique, il faudrait faire un travail d'historien et de sociologue des sciences et des techniques fondés sur des méthodes de collecte systématique de documents et de recoupement de sources ... Ce serait la seule manière de comprendre les enjeux et contraintes internes et externes, les stratégies et conflits dans un domaine d'activité 1) qui combine de nombreux acteurs institutionnels et privés (services cartographiques officiels, ministères, grandes collectivités locales, sociétés privées de l'informatique, de l'optique et de la photogrammétrie, de l'édition, grandes sociétés de distribution d'eau et d'énergie, universités ...); 2) qui se place au point de rencontre de nombreuses techniques et disciplines : matériel, logiciel et service informatique, industrie aéronautique, électronique, optique avec un spectre d'applications très variées et dans un contexte international.

Dans l'attente d'un travail de fond d'histoire des sciences sur cette question, il nous a paru utile d'apporter une contribution modeste à un sous-ensemble du problème. Nous nous intéressons à reconstruire l'usage des technologies de l'informatique dans un domaine particulier, celui de la géographie qu'on dira "savante" ou académique, celle qui est pratiquée par les chercheurs et les universitaires. On mesure les problèmes d'une telle approche. Le développement de la géomatique est international et se passe sur plusieurs dizaines d'années. Or le contexte scientifique et académique, la réalité professionnelle et l'insertion sociale des géographes sont loin d'être homogènes entre les pays et au cours du temps. Il faudrait donc consacrer un temps important à la définition du champ de la discipline géographique dans les différents pays puis tenter de reconstituer les termes des débats, les enjeux et les stratégies dans chacun de ces champs nationaux. Des travaux d'épistémologie de ce type existent pour la géographie nord-américaine. En France, ils portent sur des périodes plus anciennes que celle de la géomatique. Par ailleurs, il est bien entendu artificiel de distinguer *a priori* une "géomatique de recherche" liée à des objectifs scientifiques d'une "géomatique industrielle" liée aux programmes publics et privés de description de la surface de la terre. Si les logiques sous-jacentes des deux systèmes sont différentes, d'une part leurs histoires sont étroitement associées, d'autre part il est paradoxal de délier d'emblée ce que notre objet de recherche, la géomatique, entend justement attacher : des scientifiques d'obédiences différentes, des techniques distinctes, des domaines d'expertise multiples. Notre unique justification est qu'il faut bien commencer par un sous-

domaine. En tant que géographe, il était plus aisé et pertinent de verser au dossier des éléments et une réflexion concernant l'histoire de l'informatique dans la géographie académique.

Sources et méthodes

S'il y a un domaine sur lequel nous disposons d'une riche information, c'est l'histoire des SIG eux-mêmes. Les premières tentatives d'histoire des SIG apparaissent relativement tôt. Dès 1988, le volume 15 de *The American Cartographer*, est consacré à la « Révolution numérique en cartographie ». S'y expriment nombre de pionniers des SIG : N. Chrisman, R. Tomlinson, D. Rhind. Le premier grand manuel en anglais sur les SIG (Maguire, Goodchild et al. 1991) contient déjà un chapitre sur l'histoire des SIG (Coppock et Rhind 1991). Sur un plan plus général, on assiste au même moment à la publication de manuels pour étudiants sur l'informatique en géographie (Maguire 1989; Mather 1991). Moins de 10 ans plus tard, c'est dans un objectif de formation des étudiants que Foresman se pose le problème de l'origine des SIG (Foresman 1998b). Même si son objet est différent, on peut noter que P. Quodverte, dont le travail historique sur les techniques informatiques en cartographie et en information géographique a déjà été évoqué, est le fondateur de la Maîtrise des Sciences et Technique de Cartographie d'Orléans, première formation professionnelle dans le domaine des SIG en France. Cette recherche de mémoire peut s'expliquer comme un besoin de regarder en arrière, au moment où les SIG cessent d'être confidentiels et se diffusent rapidement à travers le monde et dans tous les secteurs professionnels.

Coppock et Rhind (1991) relevaient au début des années 90 que les sources n'étaient pas nombreuses et que les archives écrites étaient rares. En effet les individus engagés dans des projets souvent techniques de développement d'outils et de méthodologies informatiques sont rarement prodigues en rapports ou exposés écrits. Dans les années 90 le matériau s'est enrichi mais le travail reste malaisé. Les documents sont souvent à caractère très technique et concernent des applications très diverses. Par ailleurs, nombre d'acteurs ou de projets importants de la géomatique se trouvent hors du champ académique ou à la marge de celui-ci. Il est donc parfois difficile de trouver trace de leur participation. On en est souvent réduit à reconstruire l'histoire à partir de sources très formelles, qui rendent peu compte des enjeux et stratégies sous-jacentes. Ainsi Quodverte (1994) reconstruit l'histoire des techniques informatiques en cartographie essentiellement à partir des sources très officielles du Bulletin du Comité Français de Cartographie et du Bulletin de l'IGN.

Ces histoires hésitent donc souvent entre le descriptif extraordinairement détaillé de dispositifs, matériels ou programmes obsolètes et la peinture de la grande fresque du progrès dans laquelle le progrès des machines oriente le progrès des logiciels qui ouvre l'éventail d'applications toujours plus prodigieuses. Elle balancent entre l'exposé factuel d'une série d'innovations technologiques suivant un cours naturel et le compte rendu épique des difficultés et conflits d'autant de pionniers de la science et des techniques suivant leur chemin semé d'embûches et de conflits. Le livre de Longley, Goodchild et al., très intéressant par ailleurs, présente ainsi de manière quasi hagiographique les portraits (et les photographies) de quelques grandes figures des SIG (Longley, Goodchild et al. 2001).

A travers cette histoire désormais beaucoup mieux connue des SIG, il est possible de repérer le rôle qu'y jouèrent les géographes chercheurs et universitaires. Toutefois, le regard rétrospectif conduit souvent à lire le passé à l'aune du présent et à ne repérer dans le passé que ce qui a fait souche, ce qui s'est avéré fructueux et dont on voit les traces aujourd'hui. Cette tendance est encore plus marquée dans un domaine technologique, dans lequel les échecs, par définition, sont perçus négativement. Or les échecs ou les impasses peuvent être plus significatifs et intéressants d'un point de vue épistémologique que les succès. Les chercheurs anglo-saxons ont pris

conscience de la nécessité de recherches obéissant à des approches moins empiriques et plus problématisées de l'histoire de la géomatique, qui manquaient aux premiers essais nécessairement un peu factuels¹.

Notre essai de reconstitution de l'informatique dans la géographie universitaire s'appuie essentiellement sur une recherche bibliographique, aussi complète et de première main que possible, dans les revues et livres de la géographie scientifique. Comme on le verra, cette littérature est plus large que celle qui concerne l'histoire des SIG proprement dite. Nous avons délaissé à cette étape de notre travail, les participations des géographes universitaires à des manifestations ou des revues non scientifiques. Pour prendre des références francophones, la participation de géographes au symposium d'Ottawa en 1971 ou au Colloque FI3G en 1987 est un fait important. Nous ne les prenons pas en compte à ce stade. Nous nous intéressons à partir d'une bibliographie de type scientifique à la place de l'informatique puis de la géomatique dans la géographie académique. Elle doit être prise pour ce qu'elle veut être : une contribution incomplète et provisoire visant à lancer des pistes et à nourrir une réflexion collective.

Une histoire de l'informatique

L'informatique en tant que science ou discipline a un statut bien entendu primordial pour notre propos. Nous avons besoin pour reconstituer une histoire de l'informatique en géographie d'un cadre temporel général de l'évolution technologique de l'informatique.

L'informatique est une discipline plus ou moins sexagénaire. Elle est passée par plusieurs âges, mais tous les auteurs ne sont pas d'accord sur leur nombre et leur nature. Les informaticiens distinguaient au début des années 90 quatre générations d'ordinateurs, à partir de leur principal composant technologique: les ordinateurs à tubes à vide (1^{ère} génération : 1946-1960), les ordinateurs à transistors (2^{ème} génération : 1960-1965), les ordinateurs à circuits intégrés (3^{ème} génération : 1965-1973) et les ordinateurs à micro-processeurs (4^{ème} génération : 1973-1990) (Birrien 1990). La 5^{ème} génération pressentie se fondait sur un autre critère, celui du développement des logiciels et de l'intelligence artificielle (Davis 1992)).

En fait une périodisation centrée sur les caractéristiques des calculateurs manque son but. L'évolution technologique depuis la seconde guerre mondiale est plus vaste et peut se traduire par un triple passage : de l'électricité à l'électronique, du fil de cuivre à la fibre optique, de l'analogique au numérique (Le Coadic 1994). Le principal bouleversement des années 90 n'est pas de nature matérielle. Il est social, avec le développement des réseaux de télécommunication et d'Internet. La périodisation indicative proposée par Breton (Breton 1987, 1990) organisée à partir des usages de l'informatique est plus pertinente. La *première informatique*, de 1945 au milieu des années soixante, est centrée sur la machine. Elle fonctionne avec des lampes à vide et des tores de ferrite, et remplace les techniques mécanographiques en oeuvre depuis le début du siècle. Son usage dominant est essentiellement militaire. La *seconde informatique*, de 1965 à la fin des années soixante-dix est marquée par l'apparition du circuit intégré, le développement de la profession d'informaticien, l'apparition des marchés civils et des applications de calcul scientifique. La *troisième informatique*, de 1980 à 1995 se caractérise par la miniaturisation des composants, la conjonction des télécommunications et de l'informatique, le développement des réseaux, l'apparition des micro-ordinateurs et l'émergence d'utilisateurs amateurs compétents. On peut faire l'hypothèse que nous sommes maintenant dans l'âge d'une *quatrième informatique*, caractérisée par la diffusion du mode numérique à l'ensemble des appareils,

¹ The GIS History Project se voulait ainsi une tentative en 1996 de développer un examen critique de l'histoire des SIG, suite à l'émergence de la dimension sociale de ces outils à travers l'Initiative 19 du National Center for Geographic Information & Analysis (NCGIA)] qui portait sur le thème « GIS and Society: The Social Implications of How People, Space, and Environment are Represented in GIS) (Mark, Chrisman et al. 1997).

la mise en réseau des postes individuels, l'accès du grand public à l'informatique à travers Internet et l'apparition des outils nomades de communication.

Les calculateurs électroniques de la « première informatique » n'étaient pas accessibles à d'autres personnes que leurs concepteurs. Si des applications en information géographique étaient concevables, elles demandaient des moyens considérables et spécialisés. A partir du milieu des années soixante, l'ouverture aux applications civiles et scientifiques facilite les applications géographiques, mais dépend soit d'organismes disposant de moyens très importants (services nationaux de cartographie, départements ministériels, très grosses collectivités) soit de scientifiques ayant accès aux ressources de leur université et disposant de compétences peu courantes. La troisième informatique correspond à une première diffusion des techniques informatiques hors du cercle des spécialistes. Un nombre de plus en plus important de non informaticiens peuvent donc prétendre à utiliser des ordinateurs, qui sont plus accessibles et plus courants, et à développer des applications correspondant à leurs besoins. C'est au milieu de cette période, alors que se multiplient les logiciels spécialisés, que la géomatique se constitue. La quatrième informatique pose à la géomatique d'autres questions. Le travail en réseau, la sécurité des bases de données, le partage des données entre utilisateurs, l'information géographique portée sur le Web deviennent les problèmes de l'heure.

Il faut garder à l'esprit que les mutations technologiques se traduisent en de multiples mutations méthodologiques. Si les fondements algorithmiques demeurent, tout au long de ces années, les informaticiens changent régulièrement de concepts, de méthodes et d'outils : les générations de langage de développement se succèdent, les bases de données changent de modèles, les interfaces sont profondément renouvelées, etc.. Ces évolutions générales de l'informatique, parfois liées à des effets de mode ou à des aléas industriels se répercutent sur les disciplines utilisatrices.

Une périodisation

La périodisation de l'informatique en géographie ne peut bien entendu se calquer sur la périodisation de l'informatique, même si un déterminisme technologique existe. Dans ce domaine tout découpage temporel s'accompagne d'une logique spatiale. L'informatisation de la géographie a un caractère international. L'impulsion vient des Etats-Unis, du Canada et de la Grande-Bretagne, et il est impossible de se cantonner à une approche nationale, même si la dynamique française diffère de la dynamique suisse ou allemande par exemple. Par ailleurs, les sources, souvent anglo-saxonnes, ont parfois tendance à peindre l'universel à partir d'un point de vue exclusivement états-unien-britannico-canadien.

Nous distinguons quatre périodes¹. La première période 1945-1960 est celle de la préhistoire de l'informatique géographique. L'ordinateur est utilisé pour traiter certaines données géographiques mais sans idée d'intégration des différentes techniques. Elle se passe selon nos sources essentiellement en Suède et aux États-Unis. La deuxième période va de 1960 à 1970 et correspond à l'étape des pionniers. Les ordinateurs sont utilisés dans tous les domaines de la géographie, soit en important des outils d'autres disciplines, soit dans la deuxième partie de la décennie en construisant des outils spécifiques. L'Amérique du Nord domine cette époque. Les années 1970-1985 peuvent apparaître rétrospectivement comme les années pré-géomatiques,

¹ En 1990, Coppock et Rhind divisaient l'histoire des SIG (uniquement) en 4 périodes, qui ne sont pas si éloignées des nôtres à 2 ou trois ans près : 1960-1973: la période des pionniers travaillant individuellement sur les données archivées sous format numérique. 1973- 1980: la recherche en géomatique se structure et se généralise et des expériences sont menées dans les Agences américaines. 1982- 1990: Développement commercial des SIG et diffusion internationale. En 1998, (Foresman 1998a) propose le découpage suivant : 1957- 1973 : l'Age des Pionniers, 1971-1984 : l'Age de la Recherche-développement, 1982-1993 : l'Age de l'implémentation et du commerce, 1992-2004 : l'Age des applications clients, 1999 - : l'Age des réseaux locaux et globaux

même si le mot et le concept de GIS (Geographical Information System) est plus ancien. Le moteur d'innovation de cette période est toujours nord-américain, mais on assiste à une diffusion généralisée des ordinateurs et des programmes géographiques chez les géographes du monde entier. Dans chaque pays plusieurs équipes de chercheurs développent des programmes et des outils spécifiques ayant des fonctionnalités proches. L'idée de l'intégration numérique apparaît progressivement mais les technologies et les méthodes sont trop frustrées pour en appliquer les principes. Un domaine de recherche s'organise cependant et un secteur économique naît aux États-Unis avec la création des premières sociétés privées. On peut dater arbitrairement de 1985 le moment où émerge quelque chose qui prend un nom, les SIG et la Géomatique, et qui s'auto-organise comme domaine d'activité, d'applications, de profit mais aussi de recherche théorique et pratique et d'enseignement. Cette auto-organisation de la géomatique se fait sur des bases nationales, mais dans un marché mondial, dès le début de la période pour les technologies et les logiciels, un peu plus tard pour les données et plus récemment, suite à l'apparition d'Internet, pour la recherche et la formation.

Nous avons donc opté pour un exposé en deux temps. Nous dressons d'abord le panorama international, c'est-à-dire essentiellement nord-américain, de 1950 à 1985. Puis, nous abordons la situation de l'informatique dans la géographie française de 1970 à 1985. La période 1985-2002 sera abordée ensuite de manière différente, à partir d'indicateurs quantifiés.

1.2. Informatique et géographie académique en Amérique du Nord (1950-1985)

L'état technologique de la géographie américaine dans les années 50

En 1954, The Association of American Geographers consacre un ouvrage collectif, *American Geography, Inventory and Prospect*, au bilan d'un premier demi-siècle de géographie aux États-Unis et à un essai de prospective (James, Jones et al. 1954). Certes le biais de ce type d'ouvrage est connu. Il s'agit souvent d'une vision officielle et conventionnelle, aveugle aux innovations qui apparaissent par définition dans les marges d'une discipline. Il s'agit cependant d'un rapport complet et détaillé de l'activité géographique, tourné vers la dimension professionnelle de l'activité géographique et portant sur tous ses champs à la fois sectoriels (géographie urbaine, géographie de la santé, de l'agriculture, ...) et méthodologiques. Cet ouvrage peut servir de point de référence dans l'évaluation du niveau d'instrumentation informatique de la géographie américaine à cette époque. Sur ce plan, on ne sera pas surpris : les mots "Computer" ou "Data Processing" sont absents de l'index et même du livre. L'ordinateur est en 1954 encore hors de l'univers des géographes. Plus étonnant peut-être : l'index ne comprend pas non plus "Data" et "Statistics". L'analyse statistique ne fait pas l'objet d'un chapitre à part, contrairement à l'interprétation des photos aériennes, la cartographie ou les techniques de terrain. La question de la collecte des données est traitée dans le dernier chapitre et abordée dans le corps du livre, à propos de la validité des modes et des unités spatiales de mesure des statistiques agricoles par exemple, mais les techniques d'analyse de ces données, y compris les calculs statistiques les plus simples, ne constituent pas un thème méthodologique en soi. Les frémissements de la "révolution quantitative" ne sont pas encore perceptibles. L'article de Schaeffer (1953) contre l'exceptionnalisme en Géographie qui en sera à l'origine a été publié seulement l'année précédente (Johnston 1997).

Selon les auteurs, une révolution technologique est bien en cours dans le domaine de la cartographie. 1950 marque selon eux le début d'un nouvel âge, dans lequel, comme l'imprimerie au XVI^e siècle, les innovations techniques vont produire une « explosion » (*outburst*) de l'activité cartographique. Les facteurs novateurs sont l'avion, la photographie, l'électronique et la technologie des plastiques, qui vont offrir simultanément des modes nouveaux de production et de diffusion des cartes. Un des exemples développés – au delà de son

apparence a priori anecdotique – est très instructif. Il s’agit des modèles de terrain (Terrain Models), autrement dit des maquettes ou des plans en relief. Selon les auteurs, cette technique très ancienne qui a connu un fort renouvellement durant la deuxième guerre mondiale dans le domaine militaire (préparation d’opérations terrestres, repérage d’objectifs de bombardement) devrait se prolonger dans le domaine civil (urbanisme et éducation). En effet le mode de production des cartes en relief devrait passer de l’artisanat (processus lent, coûteux, limité en nombre) à l’industrie (production de masse) grâce à la technologie des plastiques, ce qui permettra de répondre à la demande pour un prix acceptable. L’exemple est significatif car il renvoie à un domaine d’application, celui des Modèles Numériques d’Altitude et des rendus 3D, qui est emblématique de l’intérêt des outils numériques 50 ans plus tard. Si elle est peu repérable dans le secteur des plans en relief, cette révolution technologique s’est en effet produite dans le domaine de l’impression et de reproduction avec l’offset, la photocopieuse et les trames et lettrages sur support cellophane. Mais il n’y a aucun signe au début des années 50 aux États-Unis de la révolution informatique, huit ans après la construction du premier ordinateur.

1955-1960 : Les pionniers de la première informatique

Pourtant, on peut dater de l’année suivante la première utilisation dont nous avons trouvé trace d’une machine automatique de traitement de données par un géographe. Elle ne se situe pas aux États-Unis, mais en Suède et nous ne l’avons jamais trouvée répertoriée dans les histoires des SIG, peut-être parce qu’elle est perçue comme relevant plus directement de l’analyse des données statistiques que de la géomatique¹. En 1955, T. Hägerstrand, trois ans après son fameux article sur la propagation des vagues d’innovation (Hägerstrand 1952), code les adresses des ménages du recensement suédois sur les cartes perforées d’une machine mécanographique Hollerith, un des ancêtres directs de l’ordinateur (Hägerstrand 1955). Ce n’est pas tant la saisie de données censitaires qui constitue une nouveauté², ni même l’analyse géographique de ces données, mais bien la transcription par Hägerstrand de ces adresses sous forme de coordonnées x,y dans le système de la cartographie topographique suédoise. Cela lui permet de « donner à la dimension spatiale du matériel statistique le même statut neutre et objectif que la dimension temporelle a toujours eu » (p. 69, traduction personnelle). La machine mécanographique permet de calculer automatiquement des valeurs absolues et relatives, par maille de la taille souhaitée. Elle permet des comptages et des études de corrélation, la sélection de sous-groupes de population pour les étudier spécifiquement et des calculs de distance, au moyen des coordonnées de référence. Hägerstrand reprendra ce premier essai dans un article ultérieur, qui présentera à la fois une tentative d’analyse globale de l’utilisation de l’ordinateur en géographie et une proposition de systématiser le codage numérique à l’adresse dans les registres de population suédois (Hägerstrand 1967).

La première utilisation généralisée d’ordinateurs aux États-Unis est le fait d’un groupe de géographes réunis à la fin des années cinquante autour de W. L. Garrison à la Wahington School de Seattle. Le trimestre que Hägerstrand a passé à Seattle à cette époque (Johnston 1997, p.66) explique peut-être le lien. Le groupe de Garrison est un des premiers à travailler dans le sens d’une géographie « scientifique » nomothétique, à la recherche de lois et de régularités, en

¹ Si Rhind (Rhind 1998) fait bien référence au rôle pionnier de cartographie informatique du département de Géographie de l’Université de Lundt, il considère à tort que les premiers travaux sont ceux de (Nordbeck 1962).

² La machine inventée par Hollerith a servi à traiter les données du recensement de 1890 aux États-unis. Il s’agissait d’une machine qui utilisait le principe du passage du courant à travers les trous d’une carte perforée. Elle permettait de réaliser des comptages par addition. La première machine Hollerith est le point de départ des machines de traitement mécanographique. Tabulating Machines Corporation, la compagnie fondée par Hollerith en 1896, deviendra en 1924 International Business Machine, plus connue sous le nom d’IBM (Breton 1987, 1990) et (Birrien 1990).

rupture avec une géographie traditionnelle plus empirique. D'après Maguire (1989), Garrison fait référence à des techniques informatiques dans ses travaux sur la théorie de la localisation économique. Johnston (op. cit.), remarque que le groupe de la Washington School avait des compétences en mathématiques très supérieures à la moyenne des géographes américains de l'époque. Garrison utilisait par exemple dans ses travaux de géographie économique des techniques de programmation linéaire. Les contraintes techniques et financières sont alors très fortes. Pour sa thèse sur le commerce de détail à Spokane, B. Berry réalise une analyse factorielle qui nécessite un financement spécial pour payer les 10 heures très coûteuses de temps de calcul d'un IBM 650 (Chrisman 1998). Plusieurs géographes importants de la future géographie quantitative (B. Berry, F. Marble) font partie de l'équipe de Garrison. Entre Hägerstrand et le groupe de la Washington School, le berceau des techniques informatiques en géographie est placé très nettement entre la fée de la modélisation et celle de l'analyse quantitative.

Mais la troisième fée, Cartographie automatique, n'est pas loin. Tobler, lui aussi membre du groupe de Garrison, utilise avec le cartographe J. Sherman les techniques de composition photographique des couleurs pour produire des cartes par combinaison de typons où sont stockés individuellement chaque attribut de chaque variable (Sherman et Tobler 1957) cité par (Chrisman 1998). Dans le prolongement logique, Tobler signe en 1959 un article très précurseur dans la *Geographical Review*. Il y introduit conceptuellement la carte dans un modèle de traitement informatique à la fois comme support de stockage de données, et comme entrée et sortie du processus. Il y présente l'intérêt de l'automatisation de la cartographie, à une époque où les capacités graphiques des ordinateurs restent pourtant plus que sommaires. Il donne comme exemples des différentes opérations logiques possibles, le calcul d'intersection de surfaces, le changement automatique d'échelle et surtout de projection (Tobler 1959). Cet article est à l'origine du développement de la cartographie automatique (Maguire 1989), (Coppock et Rhind 1991), auquel Tobler va largement contribuer dans les décennies suivantes.

1960-1970 : Les développements parallèles

L'évolution technologique qui conduit à la « deuxième informatique » est symbolisée par la série 360 des ordinateurs IBM, beaucoup plus rapide et puissante, et surtout plus universelle, puisque tous les programmes développés sur une machine de la série pouvaient tourner sur une autre, ce qui n'était pas le cas auparavant. En 1957 a été mis au point le premier langage universel, le FORTRAN, qui libère le programmeur du fastidieux codage en langage machine. Même si les ordinateurs restent très coûteux, ces innovations expliquent la diffusion rapide des technologies informatiques dans les centres de recherche américains en géographie. On peut repérer trois courants parallèles.

Une réflexion globale sur l'informatique géographique

Une des premières réflexions spéculatives sur l'informatique en géographie est celle de L.T. Reinwald au meeting annuel de *The Association of American Geographers* en août 1961 sur le thème "un ordinateur pour le géographe", cité par Kao (op. cit.). Mais l'article que Kao lui-même publie dans la *Geographical Review* en 1963 essaie d'anticiper l'impact que vont avoir les futurs ordinateurs rapides sur la recherche géographique. Dans la lignée de Hägerstrand il montre que les méthodes anciennes d'organisation de l'information vont devoir être remises en cause. Dans le cas des données censitaires ou des tableaux statistiques en général, les ordinateurs vont conduire à relier systématiquement l'information localisante (portée par la carte) à l'information descriptive (portée par les tableaux). Dans le cas de l'information cadastrale, il sera nécessaire de proposer un repérage systématique sous forme de coordonnées pour décrire les objets. Kao établit aussi une liste des sujets de recherche à mener dans le

domaine de l'informatique géographique : le changement automatique de projection pour les cartes, la reconnaissance de motifs spatiaux sur les photographies aériennes. Le développement de l'usage des ordinateurs en géographie lui semble aussi nécessiter la réalisation d'un système cartographique universel, avec des coordonnées géographiques de référence permettant de localiser tous les objets géographiques, dans toutes les applications, civiles et militaires, nationales et internationales.

Kao distingue deux grands types d'analyse géographique posant des problèmes différents du point de vue informatique. Les problèmes de type comptable (*bookkeeping*) sont ceux qui se posent dans un environnement stable, où le traitement de données passées peut être déconnecté de l'instant présent. L'ordinateur est utilisé pour décrire, analyser et éventuellement simuler l'évolution d'un système à partir d'un jeu de données existant. Les fonctions dominantes sont du type stockage-interrogation associées à des calculs statistiques. Les problèmes que Kao dit relever du type calcul (*computation*) sont ceux où la gestion du présent ou du futur proche nécessite, en temps réel ou quasi, le traitement continu de données passées à la lumière de nouvelles données. Ce type de situation à environnement très dynamique caractérise les applications de météorologie ou de navigation. Comme à l'époque les coûts de stockage des données des nouveaux ordinateurs sont élevés alors que les coûts de calcul sont plus faibles, Kao parie, de manière un peu hasardeuse peut-on dire rétrospectivement, sur le développement accéléré du deuxième type d'applications. Enfin Kao s'essaye à distinguer les types d'utilisateurs. Il lui semble que les utilisateurs typiques sont ceux des sciences de la terre. Il classe donc ces dernières en fonction du type de problème informatique dont elles relèvent plus directement : comptables (paléontologie, géologie, géophysique), intermédiaires (océanologie, sismologie, météorologie), calculs (photogrammétrie, reconnaissance satellitaire, simulation en temps réel, guidage et navigation). Kao renonce à classer la géographie elle-même, étant donné la grande variété des études que le terme recouvre.

Kao est en relation avec le groupe de géographie de la Washington School. Son article sera d'ailleurs repris intégralement cinq ans plus tard, dans la collection d'articles que Berry et Marble consacrent à l'affirmation de la géographie statistique, et qui reprend d'ailleurs des articles de Tobler et Hägerstrand (Berry et Marble 1968). Dans ce recueil, c'est le seul article consacré aux techniques informatiques. Kao contribue d'ailleurs en 1967 au livre de Garrison et Marble sur la géographie quantitative (Garrison et Marble 1967). Même si le fond théorique est toujours celui de la géographie quantitative, l'article de Kao montre une première tentative d'appréhender globalement la place des techniques informatiques en géographie, en dressant la liste de problèmes communs et en établissant des types d'usage. Il illustre aussi la difficulté de cette tentative d'approche globale dans une discipline aux intérêts larges et aux pratiques diversifiées. Sa typologie d'application recoupe assez largement une opposition entre les approches actuelles de type base de données et modélisation/simulation.

Tout en refusant de produire « un essai philosophique sur la place du géographe dans l'âge futur du traitement automatique de l'information » Hägerstrand écrit un article en 1967 qui sera au départ de l'intérêt de nombreux géographes pour l'informatique. Il voit trois grandes utilisations possibles de l'ordinateur en géographie : la cartographie descriptive, les traitements analytiques (indices, échantillons, corrélations, classification), et la modélisation de processus aussi bien en géographie physique qu'humaine (Hägerstrand 1967). Cet intérêt pour l'informatique reste cependant très minoritaire dans la géographie académique de l'époque, comme le rappelle Tomlinson à propos de la géographie britannique (Tomlinson 1988).

Les premières bases de données géographiques

Garrison et ses étudiants ont développé nombre de méthodes quantitatives, statistiques et d'analyse spatiale devenues classiques en géographie. Selon Tomlinson ils travaillaient toutefois sur des jeux de données de taille limitée, souvent non spatialisés, et constitués la plupart du temps pour répondre à des questions théoriques (Tomlinson 1988). Son objectif, en jetant les bases en 1960 de ce qui deviendra le Canada Geographic Information System (CGIS), est de créer un système informatique capable de stocker un gros volume de données cartographiques sur un vaste espace (le Canada). Il s'agit de produire de manière systématique un grand nombre de cartes au 1:250 000 au moyen de traitements répétitifs. Le système rassemble de multiples données sur l'utilisation du sol couvrant l'ensemble des zones habitées du Canada, avec l'objectif initial de pouvoir répondre à des besoins de planification. La construction de la base de données est longue. Tomlinson quitte le projet en 1969, avant que celui-ci ne soit vraiment opérationnel. Ce sera le cas autour de 1971 et le CGIS restera jusqu'à la fin des années quatre-vingt la plus importante des bases de données cartographiques mises en œuvre. Selon Coppock et Rhind (1991) sa réussite technique l'emporte sur sa réussite opérationnelle. Outre que c'est la première fois que le terme de GIS fut employé, elle fut l'occasion d'innovations dans le domaine du matériel, grâce au partenariat d'IBM. La numérisation des cartes s'est faite grâce à la mise au point de scanners à rouleau en complément de tables à digitaliser. Mais le Canada GIS fut aussi le champ d'expérience de nombreuses innovations conceptuelles comme la vectorisation automatique, l'organisation en couches, la structure topologique et l'indexation des données ... (Goodchild, Kemp et al. 1990). Les retombées pratiques du système pour la gestion et la planification furent, semble-t-il, beaucoup plus limitées. C'est dû à la fois au caractère très innovant des techniques mises en œuvre dans un contexte technologique limité et à de multiples problèmes d'organisation du service d'autre part.

L'expérience du CGIS se situe à la marge du champ d'investigation que nous avons délimité pour notre recherche. Tomlinson n'est pas un géographe académique et le CGIS est un projet mené par une agence officielle (l'Agricultural Rehabilitation and Development Administration, au départ), en liaison avec une grande compagnie informatique. Mais Tomlinson, passé dès 1969 dans le privé, devient dans les années soixante-dix un consultant et un animateur important du domaine naissant des SIG y compris dans le domaine académique (GIS WORLD 1996).

Le CGIS naît au moment où comme le dit Tomlinson lui-même, les ordinateurs deviennent des processeurs d'information en plus de leur fonction de calculateur (Tomlinson 1988). Par ses caractéristiques, il préfigure les grandes bases de données spatiales portées par des autorités politiques locales ou régionales et s'avère bien être le premier SIG, au sens plein du terme, c'est à dire groupant des ressources informatiques (matériel et logiciel), une base de données et des ressources organisationnelles pour répondre à une finalité précise.

L'apparition des programmes spécialisés en statistique et analyse de données ...

Les ordinateurs à vitesse de calcul rapide de la deuxième informatique font apparaître dans le quotidien des géographes un nouveau type d'objets : les programmes informatiques spécialisés permettant de réaliser des tâches spécifiques de traitement des données géographiques. La manière dont ces programmes sont conçus et écrits peut varier. La programmation informatique reste à cette époque une tâche de spécialiste. Mais le programme devient un instrument de travail quotidien. Au milieu des années soixante, les analyses statistiques de données sophistiquées (analyses de régression, analyses factorielles, classifications automatiques) deviennent courantes dans la plupart des sciences. Les méthodes statistiques étaient connues depuis de nombreuses années (le début du siècle pour la régression, les années trente pour l'analyse en composantes principales et l'analyse canonique). Mais jusqu'aux années cinquante

la complexité et la masse des calculs étaient telles que les praticiens des différentes disciplines ne pouvaient les utiliser pratiquement que sur des jeux de données très réduits. C'est l'apparition de l'informatique, qui met à la disposition des utilisateurs ces outils théoriques. Les méthodes d'analyse des données ne sont pas spécifiquement géographiques. Si les données à traiter concernent des entités géographiques, la dimension spatiale de celles-ci n'est pas prise en compte. Il s'agit de séries d'observations, formant échantillon ou population, comme n'importe quel échantillon ou population statistique. On a vu que les premiers travaux des géographes américains remontent à la fin des années 50 (Berry 1958). Les géographes utilisent donc soit des outils développés dans d'autres champs scientifiques, soit des programmes qu'ils développent eux-mêmes. Dans leur manuel de géographie quantitative, les quelques pages que Cole et King (Cole et King 1968) consacrent aux ordinateurs se trouvent dans le paragraphe *Calcul* du chapitre mathématique. Après avoir passé en revue les différents types de machines à calculer mécaniques et électroniques, les auteurs définissent le fonctionnement des ordinateurs électroniques. Dans cette optique de calcul, l'effet de l'ordinateur est essentiellement évalué en terme de rapidité. Une analyse factorielle portant sur 6 individus et 10 variables, a pris 2 minutes et coûté 15 £ avec le "relativement petit" ordinateur de la Nottingham University, alors qu'elle aurait nécessité des années de calcul pour une personne utilisant une machine à calculer mécanique (*op. cit.* p. 62). Rien n'est dit du travail de programmation et des langages dans lesquels se matérialisent ces techniques d'analyse de données. Pour les auteurs, la diffusion de l'informatique chez les géographes ne peut être que lente, comme elle l'est chez les géologues. Cela s'explique dans les deux cas par une formation essentiellement qualitative qui les rend réticents à accepter des méthodes quantitatives plus rigoureuses. Si les auteurs de la géographie quantitative citent l'article théorique de Kao, déjà mentionné, ils ne semblent pas connaître les approches de bases de données cartographiques du type du CGIS de Tomlinson.

... en cartographie automatique, ...

La question se pose autrement pour les programmes de cartographie automatique qui apparaissent parallèlement dans un contexte de recherche géographique. Ceux-ci sont conçus et programmés dans un contexte disciplinaire plus proche de la géographie. Les outils informatiques pour la cartographie sont encore à inventer. Bien sûr la géographie académique n'est pas la seule à se poser la question de l'automatisation de la cartographie automatique. Les agences nationales cartographiques sont concernées très fortement, un projet comme le CGIS suffit à en témoigner. Mais un travail de conception très important est fourni à cette époque dans les universités américaines. Howard Fischer, architecte et urbaniste, obtient un important financement de la fondation Ford pour développer en 1965 son programme de cartographie automatique SYMAP pour (Synagraphic MAPPING System)¹ au Laboratory of Computer Graphics de l'Université de Harvard, qu'il fonde en 1966.

SYMAP propose de multiples fonctions de cartographie par plages ou par isolignes. Son fonctionnement est grandement déterminé par les caractéristiques matérielles des ordinateurs de l'époque. Il travaille bien sûr en mode "batch" (temps différé). La saisie des données se fait au moyen de cartes perforées, confiées à un opérateur et qui reviennent plus tard accompagnées d'un listing de sortie. Le format de données, contraint par la place des 80 caractères de la carte, apparaît, surtout vu rétrospectivement, comme rigoureux mais très lourd. La localisation des entités géographiques se fait dans un système de coordonnées en unité de distance de la page, à partir du haut et du bord gauche (selon une logique d'impression qui allait de bas en haut) et donc inversé par rapport aux coordonnées géographiques dans l'hémisphère nord (Mather 1991, pp. 119-125). La diffusion de SYMAP est très rapide. Dès 1967, il traverse l'Atlantique, pour

¹ Synagraphic viendrait du grec synagein, qui signifie rassembler (Burrough 1986)

être utilisé à l'Université Edimbourg (Mather, op. cit. p. 120). Il est diffusé dans 500 institutions dans le monde jusqu'au début des années quatre-vingt-dix, sans compter le marché pirate (Chrisman 1988). En France, l'Université de Strasbourg en est équipée par exemple dès les années soixante-dix. Le Harvard Laboratory of Computer Graphics, à l'intitulé duquel sera ajouté dans un second temps *and Spatial Analysis* crée ensuite d'autres produits : SYMVU pour les vues tridimensionnelles et CALFORM pour dessiner des cartes choroplètes sur traceur, permettant des sorties de meilleure qualité.

D. Sinton reprend le module de SYMAP d'impression en mode raster, pour en faire le cœur d'un système de stockage des données cartographiques dans des cellules d'une grille. Les traitements de combinaison cartographiques se font alors par combinaison de grilles correspondant aux différents thèmes (Chrisman 1998), (Coppock et Rhind 1991). GRID n'est utilisable qu'au moyen d'une programmation en langage FORTRAN. Sinton développera ensuite IMGIRID, une version utilisable à travers un système de mots-clés, qui en facilite l'usage par des non informaticiens (Faust 1998) (Steinitz 1993). La saisie de données se fait au moyen d'une grille en plastique puis d'un codage manuel. Ce programme n'est pas utilisé dans un contexte directement géographique. Il n'y avait d'ailleurs pas de département de Géographie à Harvard à cette époque (Mark, Chrisman et al. 1997) (Chrisman 1988). Mais il répond aux besoins divers d'analyse de paysagistes, de planificateurs régionaux et d'environnementalistes (Steinitz, op.cit.). Le Laboratoire est aussi le lieu de passage d'étudiants et de collaborateurs qui contribueront largement au développement des SIG aux États-Unis.

... et en télédétection

Le développement de l'industrie spatiale dans les années soixante a conduit à l'utilisation de l'informatique pour gérer les données captées par les satellites. Bien que les capacités mémoire de l'époque soient peu adaptées au stockage des données volumineuses de télédétection, des programmes spécialisés sont créés dès le milieu des années soixante en pariant que l'augmentation régulière de la puissance des ordinateurs en ferait bientôt l'outil de traitement idéal des données de télédétection. Ce développement se fait essentiellement à la NASA et avec des spécialistes de disciplines diverses mais il a aussi mobilisé des géographes (Estes et Jensen 1998) (Faust 1998). Le lancement en 1972 du premier satellite d'observation de la terre ERTS (Earth Resources Technology Satellite), bientôt rebaptisé Landsat, et la mise à la disposition régulière de la communauté scientifique des images numériques de la surface terrestre conduisent à une accélération de ce développement, qui reprend les concepts raster du programme IMGIRID pour gérer ces images en les adaptant à la nature multispectrale des données.

1970-1985 : La "diffusion latérale" de la technologie

Du point de vue des techniques informatiques, cette période est marquée par de nombreuses innovations. Dès la fin de années soixante arrivent les premiers mini-ordinateurs, plus petits et moins chers, qui vont conduire à une diffusion rapide de l'informatique dans les entreprises et dans les universités ; De nouveaux langages de programmation structurée apparaissent en même temps. Même si les services de planification gestionnaires d'information géographique privilégient les logiciels de cartographie sur gros ordinateurs, souvent écrits en FORTRAN (Shneider 1979), ces évolutions techniques vont faciliter la diffusion des outils informatiques en géographie comme ailleurs. Va jouer aussi dans ce sens le fait que l'interface par terminal clavier-écran remplace progressivement les cartes perforées. La diffusion des traceurs à plume qui offrent des capacités graphiques supérieures aux imprimantes ligne à ligne essentiellement utilisées jusque là vont donner des rendus cartographiques plus satisfaisants pour les utilisateurs.

Sous le terme de diffusion latérale, Tomlinson (1988) résume bien ce qui se passe dans les années soixante-dix dans l'informatique géographique: « peu d'innovation, mais plus de pays, plus d'institutions et plus de personnes impliquées ». Les grandes inventions technologiques de l'informatique en géographie des années soixante se diffusent dans le monde et dans la société à la faveur du déploiement des ordinateurs à microprocesseurs, puis, à partir de la fin des années soixante-dix, de la vague de la micro-informatique. La baisse des coûts des ordinateurs, et les nouveaux outils de programmation accroissent le nombre de programmeurs. On assiste à un foisonnement d'initiatives parallèles et non concertées, dans la sphère publique comme dans les universités.

La multiplication des bases de données cartographiques

L'expérience du CGIS canadien servira longtemps de référence aux initiatives dans ce domaine, même si à l'époque de son développement, il était peu connu des autres acteurs du secteur. De nombreux autres systèmes d'information comparables sont mis en oeuvre dans les années 70 auxquels participent des géographes académiques. Le Minnesota Land Management Information System, un des plus connus, a l'originalité de rassembler The Center for Urban and Regional Affairs (CURA) de l'Université du Minnesota et une autorité d'aménagement, la Minnesota State Planning Agency. D'après Mark, Chrisman et al. (1997), le système connaît un développement important, malgré une faible résolution dans la description de l'espace géographique au moyen de cellules de 16 ha environ chacune. Il est profitablement utilisé dans de réelles procédures de gestion. En fait nombre d'autres opérations du même type se soldent par des échecs, comme le Land Use and Natural Resources (LUNR) de l'Etat de New-York (Marble 1987). Selon Tomlinson (1987), les causes les plus fréquentes en sont la volonté de développer à chaque fois des outils informatiques complètement nouveaux. Tomlinson, cité par Coppock et Rhind, évalue le nombre de ces bases de données à plus de 1000 au début des années quatre-vingt en Amérique du Nord. Selon Marble (1987), dans la première moitié de la période toutes ces bases de données sont fondées sur un développement de programmes spécifiques. Dans la deuxième moitié, elles s'appuient sur des progiciels (*turnkey systems*), développés souvent par des sociétés privées.

Le développement de programmes informatiques

Les années soixante-dix aux États-Unis sont en effet marquées par la multiplication des programmes développés spécifiquement pour répondre à des besoins de cartographie et de gestion de données géographiques. Chrisman (1988) raconte le sentiment qu'il eut en 1974 de découvrir d'un seul coup que de nombreuses équipes travaillaient sur les mêmes thèmes que lui. Plus de 500 composants logiciels différents de traitement de données spatiales auraient été comptés aux États-Unis en 1976 (Marble, cité par Coppock et Rhind, *op. cit.*). Ce développement se fait maintenant dans trois contextes distincts, même si des passerelles étroites les relient : les laboratoires universitaires, les sociétés privées qui se créent à l'époque et les institutions publiques qui construisent leurs propres bases de données.

L'apparition des sociétés privées d'informatique géographique

Le Harvard Laboratory of Computer Graphics and Spatial Analysis s'avère une véritable pépinière d'entreprises. J. Dangermond y est passé avant de développer commercialement les idées originelles de Fischer à travers la fondation de la société ESRI (Environmental System Research Institute), qui deviendra le leader mondial sur le marché des logiciels SIG. Sinton qui avait développé les premières versions de GRID participe à la fondation d'Intergraph, qui deviendra "l'autre leader". Au Harvard Laboratory dans les années 70 a été mis au point ODISSEY, un système prototype prenant en charge la dimension topologique dans les structures

de données cartographiques en mode vecteur. Au début des années 80, une partie significative des concepteurs/programmeurs quittent le laboratoire pour travailler chez ESRI au développement du logiciel ARC/INFO. GRID a lui aussi donné naissance à de nombreux descendants académiques et commerciaux. Tomlin y a ajouté des fonctions et créé pour sa thèse son propre logiciel MAP (Map Analysis package) et conceptualisé un langage générique d'algèbre de carte (Chrisman 1998) (Tomlin 1990). Sur cette base conceptuelle de nombreux logiciels commerciaux ou universitaires seront produits : Map II, puis MF Works, Spans et Idrisi. ERDASS, autre logiciel leader, dans le traitement d'image et la télédétection cette fois, est issu en 1980 du Harvard Laboratory (Chrisman, 1988, op. cit.) (Faust 1998).

La structuration d'un champ de recherche déterminé

La décennie soixante-dix est marquée dans les pays anglo-saxons par la structuration d'un champ de recherche sur le thème de la cartographie automatique. Alors que ces questions étaient souvent traitées dans les colloques généraux de cartographie, une intense activité de rencontres et de séminaires spécifiques sur la cartographie automatique se développe, dont un exemple connu est la série des symposiums AUTO-CARTO, qui continue d'ailleurs aujourd'hui (Chrisman 1988). Des cours se mettent en place dans les universités. En 1982 paraît un manuel de cartographie assistée par ordinateur, présentant les principes et des applications fondées sur des programmes utilisables couramment, CMAP et SYMAP (Monmonier 1982). Dans le même temps que se multiplient des initiatives dispersées, une réflexion collective se met en place. Le passage de la cartographie automatique aux SIG se fera dans un second temps.

Ce rapide survol de 30 ans d'utilisation de l'informatique géographique en Amérique du Nord met bien en évidence quelques phénomènes généraux. D'abord il apparaît clairement que les cartographes et géographes américains ont joué un rôle important dans le développement d'outils informatiques pour la gestion de données spatiales. Les contributions des autres sphères de la recherche et de la technologie, que nous avons provisoirement laissées de côté, sont cruciales (informatique, dessin assisté par ordinateur, gestion des réseaux techniques, industrie spatiale, méthodes de construction de la cartographie de base ...). Mais la contribution conceptuelle et technique d'individus se réclamant d'un lien à la géographie académique, qu'ils aient poursuivi ou non leur carrière dans la recherche ou l'enseignement, est aussi fondamentale. L'informatique géographique s'invente en grande partie à l'occasion de PhD ou de travaux de Post-doc en géographie.

Le second enseignement est la très précoce diversité des contextes dans lesquels se font les recherches. On voit très tôt courir en parallèle de multiples méthodes : analyse quantitative, analyse qualitative, modélisation, cartographie descriptive, télédétection, planification régionale... de nombreux courants de la géographie sont là dès le départ. On constate aussi dès le début la mise en regard des nouveaux outils de traitements avec la question de l'organisation de grandes bases de données. Elle se pose dans un contexte prioritairement technique pour le CGIS de Tomlinson. Les deux textes de Hägerstrand de 1955 et 1967 l'abordent d'un point de vue plus analytique. En démontrant l'intérêt de l'ordinateur pour la cartographie descriptive, l'analyse et la modélisation, il est confronté au problème amont des données disponibles. Son département a un fort intérêt à la fois en géographie sociale et en aménagement. Il milite (depuis dix ans dit-il, en signalant son article de 1955) pour que les opérations de collecte d'information statistique et de production de carte soient vues comme deux aspects d'une même fonction. Il propose donc une transformation du système statistique suédois de la population, des taxes, de l'utilisation du sol ou du foncier. Celui-ci est en effet organisé autour d'un identifiant de parcelle cadastral, très ancien et malcommode, qui limite toute utilisation cartographique

systématique. Il préconise de prendre comme identifiant un codage (x,y) de chaque point centroïde des parcelles cadastrales, ce qui permettrait par ordinateur de cartographier en continu tous les phénomènes, y compris par exemple les migrations, à partir des registres individuels de population. Ce système participe de l'application de sa célèbre Time Geography. Hägerstrand est conscient du risque d'atteinte à la vie privée du système qu'il propose. Il répond en deux points. Le premier est que l'objectif n'est pas une cartographie au niveau de l'individu, mais par agrégation des données, plus aisée que celle proposée par les publications statistiques existantes. Le second est qu'il s'agit d'informatiser des données déjà accessibles aux chercheurs, ce qui est admis par la culture suédoise qui conçoit que plus l'information est disponible, plus est facilité le contrôle de l'intérêt public des décisions par le citoyen. Cet argument de la transparence est discutable, contexte suédois ou non, et le sera de plus en plus au fur et à mesure que les bases de données s'informatiseront. La question de l'organisation spatiale de grandes bases de données spatiales se pose dès les années soixante comme une question politique, même à travers un article proposant des méthodes d'analyse spatiale.

La mise en œuvre d'outils informatiques s'accompagne de problèmes pratiques lourds qui demandent une grande énergie. Il faut disposer de matériels chers et complexes à mettre en oeuvre, passer un temps infini à acquérir des données, disposer de compétences techniques rares pour développer des programmes. La lecture des différents témoignages montre qu'on trouve dès le début les questions de fond qui se sont posées ensuite. L'instrumentation informatique de la géographie génère des coûts d'exploitation importants et place les chercheurs dans une dépendance vis-à-vis des sponsors et des commanditaires. Laboratoires universitaires et sociétés privées sont simultanément partenaires et concurrentes et il existe maintes passerelles entre les deux systèmes.

Ce nouveau domaine de recherche est à la fois fondamental et complètement appliqué. La situation du Harvard Laboratory est exemplaire. D'après (Chrisman 1998), l'idée de Fischer est d'inventer un nouveau type de système, fondé sur la métacartographie (très) théorique du géographe suédois Bunge (1962). Il est directement utilisé de manière très appliquée par les "Landscape Architects" pour produire des plans régionaux à destination d'agences locales ; ceux-ci feront émerger en retour de nouvelles fonctionnalités génériques à partir de leurs besoins propres. Enfin les compétences nécessitées par les géographes sont très spécifiques. Même si Chrisman remarque qu'il était possible alors à un géographe autodidacte en programmation informatique de créer des outils de cartographie importants, la question de la compétence technique se pose aussi très tôt. Au Harvard Laboratory, une révolte des étudiants s'organise en 1973 sur le thème : « Nous sommes là pour apprendre la conception paysagère et la planification régionale et pas le FORTRAN et la manipulation ennuyeuse de données spatiales », accompagné du slogan « Forget computer and get back to the basics ! » (Jordan et Rado 1998), (Faust 1998). Le développement d'une version plus accessible et interactive de GRID répondit semble-t-il avec succès au problème. Mais, trente ans après, ce slogan n'est pas complètement dépassé, même si les ordinateurs n'ont plus rien à voir avec ceux de 1973.

Dans ces années, les avantages attendus d'un investissement informatique sont lointains. Automatisation des tâches, rapidité d'exécution, facilité de mise à jour, on attend de ces outils qu'ils changent les manières de travailler mais aussi qu'ils rendent possibles de nouveaux traitements et de nouvelles pratiques en modélisation, visualisation, simulation utilisables dans la planification. Mais les résultats concrets limités que permet l'informatique de cette époque peinent à convaincre au-delà du cercle des passionnés et des convaincus.

1.3. L'informatique dans la recherche géographique française avant la géomatique

Les différentes sources concordent pour dire que l'utilisation de l'ordinateur apparaît dans la géographie française dès le début de la période de "diffusion latérale" vers 1970 (Wieber 1980; Guermond 1995). Mais pour reconstituer les canaux par lesquels les outils informatiques se sont diffusés dans la géographie française nous ne disposons pas du nombre et de la diversité des récits et synthèses qui existent pour la géographie nord-américaine ou même britannique (Rhind 1977; Rhind 1998). Un recueil systématique de la littérature blanche et grise et une enquête par entretien auprès des chercheurs qui ont participé à ce mouvement devraient être réalisés avant de procéder à une synthèse. Toujours dans le cadre d'une première analyse exploratoire, nous nous appuyons uniquement sur quelques publications clés pour reconstruire les grandes lignes du développement des techniques informatiques dans la géographie académique française.

L'ordinateur, outil de la révolution quantitative

L'émergence de la géographie quantitative française

Il y a coïncidence, au début des années soixante-dix entre le développement des méthodes statistiques en géographie et la diffusion des ordinateurs. Ceux-ci sont d'abord utilisés comme de gros calculateurs, permettant de traiter de gros tableaux de chiffres, impossibles à traiter par un calcul "papier" (Guermond 1995). Les chercheurs travaillant sur ordinateur sont souvent membres de la Commission de Géographie théorique et quantitative créée suite aux efforts de S. Rimbart en 1975 (Wieber 1980). Quand Wieber fait en 1980 le bilan de la décennie passée en géographie quantitative, il lie indissolublement le développement de cette dernière à l'accès aux moyens modernes de calcul : « L'essor de la pratique quantitative dans la géographie française est contemporain d'une extension et d'une amélioration des équipements informatiques des Universités. ». Bien sûr d'autres facteurs sont autant ou plus explicatifs dans le développement des techniques quantitatives à partir de 1970. La découverte de la "science spatiale" des géographes anglo-saxons est certainement le principal. Elle se fait à travers plusieurs voies, dont au moins trois sont aisément repérables : le travail de présentation des travaux théoriques en langue anglaise effectué par P. Claval depuis plusieurs années, les publications en français de géographes travaillant au Canada avec les méthodes nord-américaines d'analyse des données (Racine et Reymond 1973) et la traduction en 1973 du livre de Haggett sur l'analyse spatiale, 8 ans après la première édition britannique (Haggett 1973). La géographie quantitative française se constitue dans le contexte intellectuel de la diffusion de la New Geography anglo-saxonne. Certes, dès le début, P. Claval souligne que l'opposition entre géographie traditionnelle et Nouvelle Géographie ne peut se réduire à une opposition entre méthodes qualitatives et approximatives et méthodes quantitatives et rigoureuses (et donc encore moins entre méthodes manuelles et méthodes informatiques). Pour Claval, la "nouvelle géographie" se traduit d'abord par une exigence théorique répondant à une nécessité de compréhension plus profonde des phénomènes. Il faut alors raisonner en s'appuyant sur une formalisation mathématique et vérifier ses hypothèses au moyen de procédures statistiques. « Sans les progrès de la réflexion théorique, les ordinateurs les plus puissants ne serviraient encore sans doute qu'à parfaire des typologies dont l'utilité est douteuse. Les moyens de calcul puissants permettent en revanche de procéder à de véritables vérifications des hypothèses mises en avant par les théoriciens, et rendent nécessaires les remises en cause perpétuelles des schémas généraux d'explication, sans lesquels il n'est pas possible de faire progresser la recherche. » (Claval 1972). Wieber relève que pour le plus grand nombre des géographes engagés dans Commission de Géographie théorique et quantitative, l'exemple de la nouvelle géographie est fondamental et que l'idée est de faire de la géographie « autrement ». L'accès à un ordinateur est donc une condition

nécessaire mais pas suffisante des pratiques quantitatives. Il faut pouvoir maîtriser les raisonnements et les méthodes en question. Cela demande une mise à niveau et un investissement personnel des géographes, pour qui la possession d'une culture mathématique est loin d'être la règle. Les premiers manuels de traitement statistique en géographie, comme celui du groupe Chadule en 1976, datent de cette époque (Chadule 1994).

La structuration de la recherche géographique quantitative

Les initiatives sont largement spontanées et ne sont liées ni à la taille des universités ni à la puissance de leurs ordinateurs. Il arrive qu'une équipe active en géographie quantitative coïncide avec un centre de calcul important. C'est le cas à Strasbourg ou à Paris. Mais l'équipe de Besançon, pourtant très active dans ce domaine, ne disposait jusqu'en 1975 que d'un « modeste I.B.M. 1130 » (Wieber, *op. cit.*). C'est qu'en effet l'accès à un ordinateur puissant ne suffit pas. La possibilité d'un dialogue avec les informaticiens, l'équipement en périphériques et une organisation locale favorable au travail informatique des non informaticiens sont primordiaux. Dans les années 70, Wieber distingue trois types de structures de recherche. Strasbourg est l'exemple du laboratoire de géographie quantitative qui possède un matériel propre, dont certains membres sont bien formés à la pratique mathématique et informatique et qui s'appuie sur une filière de formation spécifique. C'est un cas rare (quasi unique ?). Le second type est celui qui voit une équipe de géographes parfois réduite travailler avec un ou plusieurs mathématiciens, et dont l'efficacité est directement fonction de l'étroitesse de cette coopération. Wieber cite comme exemples : Rouen, Caen, Besançon, Paris 1 et Paris 7. Le troisième type est celui du chercheur isolé dans un Institut de Géographie qui travaille avec les informaticiens de son université (Metz, Tour et Saint-Etienne). Enfin une structure de regroupement très originale, le groupe Dupont fondé en 1971 à Avignon, réunit de jeunes géographes de tout le Sud-Est (Lyon, Grenoble, Avignon, Aix, Montpellier et Nice) travaillant en géographie théorique et quantitative. Il contribue à l'organisation de multiples stages, d'abord consacrés à l'analyse des données et au langage informatique puis à des outils plus spatio-temporaux. La diffusion des travaux emprunte largement le canal de la revue « l'Espace Géographique » créée en 1972, des Brouillons Dupont, de la revue de Nice « Analyse spatiale quantitative et appliquée », mais aussi de bon nombre de numéros spéciaux d'autres revues de géographie.

Dans les années soixante-dix, les domaines les plus concernés par ces recherches quantitatives sont la géographie urbaine, la géographie rurale, la géographie des transports, les structures régionales et l'aménagement, la climatologie, l'étude intégrée des milieux et des paysages, l'analyse des processus (énergie, eau) et les équilibres biogéographie et géomorphologie. Sont en retrait la géomorphologie et la géographie de la population, car, pour Wieber, elles se sont déjà dotées d'un appareillage technique et méthodologique, emprunté souvent à des sciences voisines¹. Parmi les techniques citées requérant l'usage de l'ordinateur, les méthodes les plus employées sont l'analyse statistiques uni- et bivariée, l'analyse des données et la classification automatique, ainsi que, dans une moindre mesure, les techniques de traitement d'enquêtes.

Les conséquences de l'usage de l'ordinateur

Ces années-là, l'ordinateur devient d'usage courant pour une minorité active de géographes. Peut-on en évaluer les conséquences sur leur travail scientifique ? On peut distinguer différents niveaux : les effets pratiques, les effets méthodologiques, les effets programmatiques et les

¹ (Charre 1996) note pourtant que, hormis la climatologie dans le sillage de Charles-Pierre Péguy, le recours aux méthodes quantitatives est toujours resté marginal dans la géographie physique française.

effets épistémologiques. Chacun de ces niveaux ayant bien entendu des répercussions sur les autres.

Au premier niveau, ce qui caractérise selon Wieber la géographie quantitative à cette époque est « l'habitude d'une pratique communautaire, d'un travail en équipe ». Si cette pratique s'explique vraisemblablement par le sentiment d'inventer collectivement une manière de faire de la géographie « autrement », on peut penser aussi que la logique de laboratoire, liée à la nécessité d'une forte instrumentation, n'est pas étrangère à ce sentiment collectif. Dans un autre contexte technique et culturel, Chrisman notait à la même époque que la cartographie numérique est une activité essentiellement collective (Chrisman 1988).

Au niveau méthodologique, l'ordinateur ne correspond pas toujours à une innovation pure. Dans bien des cas, son usage vient en concurrence de méthodes manuelles bien implantées. Il faudrait analyser finement la manière dont il transforme ou remplace ces méthodes. Le cas de la technique des matrices ordonnables est intéressant de ce point de vue. Mise au point en 1967 par J. Bertin, elle est assez largement utilisée au début des années 70 en géographie et cartographie pour classer et analyser l'information. Les méthodes d'analyse multivariée sur ordinateur viennent directement concurrencer cette méthode d'analyse visuelle fondée sur la manipulation manuelle d'un matériel spécifique. Un dossier spécial de l'Espace Géographique est consacré à la comparaison des avantages et inconvénients des deux méthodes (Brocard, Pumain et al. 1977). Celles-ci donnent des résultats comparables mais les matrices ordonnables apparaissent plus intuitives alors que les méthodes de calcul nécessitent une culture mathématique minimale pour être comprises. L'utilisation des matrices ordonnables peut cependant être biaisée par des effets de perception et par l'ordre que suit le chercheur dans ses manipulations alors que les méthodes de l'Analyse multivariée sont explicites et leur emploi un peu moins subjectif. Pour Brunet, le seul avantage de la matrice ordonnable est son caractère exploratoire : les manipulations permettent à l'utilisateur d'apprendre à bien connaître son jeu de données et de construire intuitivement des hypothèses de rapprochement entre individus et variables. Il est alors possible de vérifier ces hypothèses avec des traitements automatiques (Brunet 1977). L'informatisation des matrices ordonnables avait été envisagée par l'équipe de J. Bertin en 1970-72, mais abandonnée à cause des capacités trop limitées des écrans cathodiques de l'époque (Chauviré 1977). L'abandon définitif du projet d'informatisation des matrices en 1975 pénalise durablement leur utilisation dans la recherche. Alors que la composante des variables visuelles de la théorie de la sémiologie graphique connaît une grande diffusion, la composante traitement de l'information représentée par les matrices ordonnables reste confidentielle (Bonin 1997). Même l'apparition (tardive) dans les années 90 des techniques des matrices Bertin sur micro-ordinateurs, qui les rend pourtant réellement utilisables dans une logique exploratoire et les associe à des outils cartographiques, ne donne pas le renouveau attendu à une technique qui aura ainsi raté son passage à l'informatique (Baudoin 1997).

On peut aussi expliquer certains changements de programmes de recherche inattendus par l'informatique. Si l'on suit Pumain, Saint-Julien et al. (1983) l'utilisation de l'ordinateur dans les études intra-urbaines a ainsi conduit les géographes, vraisemblablement pour des raisons de facilité d'accès aux données, à des problématiques très différentes de la géographie classique et plus proches d'une géographie sociale alors en constitution. L'attention portée aux comportements et aux représentations des acteurs de la ville les auraient alors progressivement détourné de l'usage de l'ordinateur, de l'analyse statistique et de la modélisation¹.

¹ C'est notre cas par exemple. Alors que notre mémoire de maîtrise à Besançon en 1980 portait sur une analyse des acquisitions foncières de la Ville au moyen d'outils d'analyse des données, nous avons bifurqué l'année d'après vers une problématique de géographie sociale abordée de manière exclusivement "qualitative".

Enfin l'usage de l'informatique a été, toujours de manière sous-jacente, lié à des débats de fonds à propos de la géographie. Nous laisserons de côté pour l'instant le débat sur la validité même des techniques quantitatives en géographie, qui est pourtant très important à l'époque et qui complique l'action des "quantitativistes" comme le regrette Wieber. Il est en partie lié à des questions non conjoncturelles et mérite d'être étudié pour lui-même. Les critiques viennent du côté de la géographie traditionnelle qui dénonce la déformation de l'esprit géographique que les techniques quantitatives induisent et l'inadéquation des instruments utilisés pour répondre aux problèmes posés (Wieber, *op.cit.*). Mais elle est portée aussi par les tenants des approches marxistes et comportementales qui délaissent dans les années soixante-dix, pour diverses raisons, toutes les méthodes d'analyse des tableaux de chiffres au moyen d'ordinateurs, accusés « d'autonomiser l'espace » (Pumain, Saint-Julien et al. 1983).

Cartographie automatique et système d'information

Dans son rapport de 1980, Wieber mentionne l'utilisation dans la géographie quantitative française des trois grandes activités traditionnelles de l'ordinateur déjà pointées en 1967 par Hägerstrand : analyse des données, modélisation et cartographie automatique. La première domine les activités des années soixante-dix. La seconde, dont l'ordinateur est un outil essentiel, reste encore peu développée avant les années 80 (Pumain, Saint-Julien et al.). Si le test de différents modèles (lieux centraux, loi rang-taille, ...) a été effectué, la fabrication de modèles au moyen d'outils informatiques reste encore rare. La troisième vient en retrait dans ces années là, selon Wieber peut-être à cause des équipements spécifiques qu'elle requiert.

La cartographie automatique

Il convient de définir ce qu'on entend par cartographie automatique car le terme est ambigu. Un terme plus juste, mais peu employé car l'acronyme était déjà pris, serait Cartographie Assistée par Ordinateur, qui correspond au Computer Assisted Cartography (CAD) anglais. S. Rimbart utilise parfois CGAO (Cartographie et Géographie Assistées par Ordinateur). L'objectif n'est pas de faire réaliser les cartes finales par l'ordinateur — les techniques d'impression sont trop frustrées — mais de construire automatiquement des esquisses de cartes, des cartes de travail, avant de dessiner les cartes définitives. En France, les cartographes de ces années là étaient réticents envers la cartographie automatique à cause de l'esthétique médiocre de ce qu'ils percevaient comme les cartes finales d'une production automatique. Il semble qu'aux Etats-Unis, cette réticence était plus faible et que des cartes "automatiques" accompagnaient parfois les publications (B. Dupuis, comm. pers.).

Un des laboratoires qui investit très tôt le domaine de la cartographie automatique est celui de Strasbourg où S. Rimbart, formée aux Etats-Unis, est très attentive à ce qui se passe outre-Atlantique. La première référence bibliographique que nous ayons trouvée dans la géographie francophone à propos des GIS américains se trouve d'ailleurs dans un numéro d'une revue québécoise de peu postérieure aux travaux anglo-saxons. L'article daté de 1969 est signé de Rimbart et Lengellé et présente sous le nom de Geo-Coding System un concept qui a toutes les caractéristiques d'un SIG et qui renvoie d'ailleurs explicitement aux premières applications au CGIS de Tomlinson et aux premières expérimentations du Harvard Laboratory (Rimbart et Lengellé 1969).

Dans cet article, l'objectif des auteurs est de défendre l'intérêt d'une cartographie automatique qui offre une plus grande rapidité dans l'élaboration et supprime les délais de plusieurs années qui existent alors entre la collecte des données et la publication des cartes. Les classifications automatiques permettent de simplifier les données et d'obtenir des cartes lisibles ne dépassant pas deux ou trois critères. Les fonctions de simulation permettent un dessin expérimental par

production rapide d'esquisses. L'article examine longuement les procédures de préparation de l'information et présente de manière précise les outils de numérisation, qu'il s'agisse de claviers de perforation ou des très récents digitaliseurs graphiques et d'impression comme les imprimantes ligne à ligne, les machines à écrire adaptées, les coordinatographes (ancêtres des digitaliseurs) et les écrans cathodiques. Ces outils ne sont cependant pas des « jouets à la portée de n'importe quel petit atelier cartographique, artisanal et individualiste. (...) On doit donc imaginer des services, par exemple régionaux, où les géographes devraient se préoccuper d'avoir une place » *Ibid.*.

Les bases de données géographiques

L'approche de S. Rimbart, théoricienne de la cartographie (Rimbart 1964) et de l'analyse spatiale (Cicéri, Bertrand et al. 1977) est donc très orientée vers les processus globaux de traitement de l'information. Sous son titre technique, le livre qu'elle écrit en 1976 avec C. Cauvin est un manuel complet de cartographie automatique qui couvre le champ des méthodes de numérisation, d'analyse spatiale, de rendu. Il prend en charge les différents aspects du travail : matériel, logiciel et structuration de données (Cauvin et Rimbart 1976). Cauvin et Rimbart suivent de près l'élaboration des premiers principes des banques de données cartographiques urbaines, routières et cadastrales officielles. Elles se préoccupent aussi de l'inexistence du souci de localisation dans les banques de données sectorielles de tout type qui se constituent dans ces années là : « gestion financière, gestion des stocks commerciaux de contrôle administratif, planification sectorielle, vérification médicale, etc. ». C'est dans un rapport de Sylvie Rimbart pour le Conseil de l'Europe de 1979 que nous avons trouvé pour la première fois dans la littérature géographique française, l'acronyme SIG pour mentionner au détour d'une phrase l'ouvrage de synthèse publié par Hägerstrand et Kuklinski (Rimbart 1979).

L'aide à la décision

S. Rimbart voit deux apports possibles de la « cartomatique » à l'aménagement et la planification. Le premier est l'aide à la décision. La « prévision spatiale » permet de construire des scénarios d'utilisation du sol, fondés sur des techniques d'analyse spatiale et de modélisation. Il convient de se préoccuper de la modélisation dès le stade initial de la collecte des observations : « à la limite, une "donnée" n'existe que si elle peut entrer dans un modèle. Sinon les renseignements collectés par enquêtes, recensements ou satellites restent de simples observations ». Elle insiste aussi sur l'importance de la visualisation dans l'analyse. L'intérêt de pouvoir faire varier les modes de représentation en fonction de stratégies diverses d'interrogation est mise explicitement en avant : « Le lecteur de cartes d'inventaire traditionnelles se trouvait devant des représentations imposées par un auteur lointain et souvent inconnu. Information et interprétation graphiques étaient choisies en dehors de lui, sans tenir compte de ses besoins particuliers. Il ne disposait d'aucun moyen rapide pour transformer "ce produit fini" et parfaitement figé, en une carte "à sa demande". Or le choix d'une représentation n'est pas neutre : l'impression visuelle que donne la vue globale d'une carte, et donc l'interprétation qui s'en suit, sont différentes suivant les procédés employés. Aussi son intuition et sa culture géographiques se trouvaient-elles, malgré lui, orientées vers certaines conclusions, tandis que certaines hypothèses restaient écartées » (*op. cit.* p. 3).

Peut-être optimiste, S. Rimbart considère que la question technique ne se pose pas et que les outils informatiques permettant de répondre aux principales interrogations sont déjà opérationnels à l'époque. Les freins qu'elle met en évidence sont d'un autre ordre. Le premier est la disponibilité de l'information. Les inventaires cartographiques d'origine très ancienne des différents états ne doivent pas seulement être retranscrits sous forme informatique, ils doivent être repensés pour un usage informatique : « Mais ce serait garder une vue très étroite des

possibilités informatiques, que de se contenter de remplacer le travail de plusieurs semaines de dessinateur artisanal par celui de quelques minutes d'opérateur d'imprimante électrostatique, pour aboutir aux mêmes "instantanés fixes" d'une certaine représentation de l'état des lieux, pourtant en perpétuel devenir. » Les problèmes de repérage, qu'on appellerait aujourd'hui le géoréférencement, sont aussi mis en avant, couplés avec la question des unités de références, car dans le contexte technique de l'époque, S. Rimbart envisage un géoréférencement par quadrillage de grille hectométrique ou kilométrique, dans la continuité des propositions d'Hägerstrand. Enfin la question de la mise à jour est abordée dans ses aspects techniques, utilisation des digitaliseurs, description des premiers scanners en insistant sur l'utilité de la télédétection encore récente.

Cette première analyse est très novatrice et anticipe une bonne partie du questionnement qui se déploiera plus tard à propos des SIG.

De la micro-informatique à la géomatique

Dans les années soixante-dix, le travail sur ordinateur passait par l'utilisation d'un langage de programmation, le plus souvent le langage FORTRAN. Les géographes pouvaient alors utiliser des *packages* statistiques tout faits comme BMDP (BioMeDical computer Program), adapter des programmes spécifiques, dont le code était fourni par des publications spécialisées telles que *Catmog* (Concepts and Techniques in Modern Geography) publié par le Quantitative Methods Study Group de l'Institute of British Geographers, ou en développer de nouveaux sur les ordinateurs des centres de calcul, souvent en collaboration avec les informaticiens (Guermond et Leduc 1975). La diffusion rapide des micro-ordinateurs au début des années 80 change la donne. Ceux-ci permettent une autonomie par rapport aux centres de calculs. Les interfaces clavier-écran donnent une interactivité bienvenue par rapport aux perforateurs/listings des mini-ordinateurs et surtout offrent des capacités graphiques nécessaires aux géographes. Ils s'accompagnent aussi d'autres langages de programmation, supposés être plus simples à apprendre comme le BASIC ou le PASCAL. Le travail d'implantation de modèles en est facilité. On voit se multiplier les travaux de modélisation à Paris (D. Pumain, L. Sanders) et à Rouen (Y. Guermond, M. Bussi, G. Lajoie).

Le développement de progiciels géographiques

Les progiciels sont des ensembles de programmes interreliés dans un tout cohérent pour répondre à un ensemble large de fonctions. Ils sont destinés à être utilisés par des spécialistes d'un champ d'application et non par des informaticiens. Les progiciels existent avant le développement de la micro-informatique mais le développement de celle-ci est largement fondé sur eux et va contribuer à les généraliser. Les différentes équipes qui s'étaient spécialisées dans des applications de géographie quantitatives vont développer des progiciels, soit pour répondre à des thématiques spécifiques, soit pour des objectifs plus généralistes.

Le logiciel *Cartel*, conçu et développé sous l'impulsion de S. Rimbart principalement par J. Hirsch à l'Université de Strasbourg, est plutôt spécialisé en télédétection. Dès le début des années 80, avant l'arrivée des IBM PC, P. Dumolard développe à Lyon un logiciel de cartographie sur micro-ordinateur. A Besançon, T. Brossard et D. Joly mettent au point pour leurs propres besoins un outil de cartographie et d'analyse statistique spatiale complémentaire des logiciels d'analyse des données développés dans leur laboratoire à la fin des années soixante-dix (Brossard et Tourneux 1986). Depuis la création du Laboratoire de micro-infographique en 1970, Rouen a toujours été un centre important en informatique géographique. Au début des années quatre-vingt, Y. Guermond crée des outils de cartographie et de base de données par carroyage, sur le principe duquel seront développées de nombreuses applications.

P. Langlois conçoit en 1985 un logiciel généraliste de cartographie automatique vectoriel écrit en Pascal et fonctionnant sur Apple 2 utilisable par des non informaticiens (Langlois 1984b; Langlois 1984a). Celui-ci donnera suite à un ensemble logiciel (EdiCart, EdiStat et AutoDigit), commercialisés par la société Edigraphie à la fin des années quatre-vingt. Toujours à Rouen, L. de Golbréry et A. Chappuis se consacrent au développement de logiciels de cartographie statistique appliquant rigoureusement les règles de la sémiologie graphique de Bertin qui sera mis sur le marché. P. Waniez développe des outils utilisables sur Macintosh qui seront distribués très largement (Waniez 1989). Un peu plus tard J. Charre et P. Dumolard créent un logiciel destiné aux étudiants et chercheurs en géographie et accompagné d'un manuel d'utilisation sous forme de livre, qui apparaît comme le pendant informatique du manuel statistique de Chadule (Charre et Dumolard 1989). Enfin l'informaticien M. Souris développe à l'ORSTOM depuis le début des années 80 TIGER, un "véritable" système d'information géographique à noyau SGBD (Système de Gestion de Base de Données), qui deviendra le système Savane (Souris 1986). Il existe certainement un grand nombre d'autres progiciels développés à la même époque¹.

Ce développement de progiciels est un phénomène très important. C'est une manière pour les géographes d'être indépendants et de ne pas dépendre de structures de données inadaptées à leurs besoins. Les outils développés répondent aux intérêts et modes de pensée des équipes de géographes qui les emploient et peuvent être adaptés en fonction de leurs problématiques. Les progiciels développés par les équipes de Besançon, de l'ORSTOM, de Rouen et de Strasbourg supportent très solidement les travaux de recherche de ces équipes. Enfin, ils contribuent à un progrès conceptuel et théorique : « Écrire (un logiciel de cartographie) oblige à une réflexion sur les objets spatiaux, sur les données spatiales, sur le travail du cartographe concernant les unes et les autres, sur les diverses formes de cartographie. » (Charre et Dumolard, *op.cit.*). Langlois tire une conclusion identique du développement d'EdiCart. La conception d'un progiciel oblige à réfléchir à une conception du monde, dans sa réalité matérielle et spatiale (Langlois 2001).

S'ils ont grandement contribué à la réflexion conceptuelle et aux applications pratiques, il est plus difficile d'évaluer leur rôle de vecteur de diffusion des techniques de l'informatique géographique. Ces logiciels développés pour la recherche sont souvent restés confinés, pour des raisons variables, dans les équipes qui les ont développés. Il est vrai que la diffusion et la maintenance d'un logiciel est un travail souvent très lourd. De plus la logique de fonctionnement des équipes de recherche ne favorise pas la fédération des initiatives. Beaucoup de ces progiciels n'ont pas survécu à la vague des logiciels commerciaux d'origine nord-américaine qui a déferlé en France au début des années 90, même si certains continuent à être utilisés en complément de ces derniers (à Besançon, Strasbourg et à l'ORSTOM par exemple).

La généralisation de la micro-informatique

Dans les années quatre-vingt, la diffusion accélérée de la micro-informatique change la place de l'informatique en géographie. D'outil complexe d'abord difficile, l'ordinateur dans sa version micro devient un instrument assez simple et relativement docile grâce aux progiciels. Même si une résistance se manifeste, son utilisation se banalise pour l'exécution de certaines tâches géographiques non "quantitatives", le dessin des cartes, la cartographie ou le calcul statistiques. Un plus grand nombre d'étudiants a aussi accès aux outils de l'informatique géographique. L'apparition des tableurs permet de disposer d'un outil de calcul simple et puissant, utilisable individuellement pour analyser des tableaux, tester ou construire rapidement des petits modèles pédagogiques (Hardisty, Taylor et al. 1993). Il ne semble pourtant pas avoir donné lieu à beaucoup d'applications en France à part en géomorphologie (Mercier 1992).

¹ D'autant plus que nous laissons de côté l'ensemble des logiciels développés pour les données de télédétection.

L'informatique géographique reste une activité de spécialistes regroupés en équipes autour d'infrastructures de calcul importantes. Mais d'autres formes de pratique se diffusent, à caractère individuel ou par petits groupes. A côté des structures précédentes qui perdurent, (Groupe Dupont, rencontres de Théo Quant), une forme de travail en réseau se généralise qui, selon Guermond (1991), permet aux chercheurs d'échanger plus facilement les programmes et les données.

Un acteur important de cette époque est le Groupe RECLUS, fondé en 1983, qui regroupe 25 organismes de recherches en géographie. Son objectif scientifique est, selon son fondateur, de « sortir du carcan d'une géographie traditionnelle (parfois dite «vidalienne»), survalorisant la nature, le catalogue et le discours, et se méfiant de la théorie, pour favoriser la curiosité d'esprit, la rigueur de la mesure et du raisonnement, l'analyse spatiale, le travail sur les acteurs et les processus de production de l'espace géographique, l'implication dans les questions d'environnement et d'aménagement » (Brunet 1999). L'objectif scientifique n'est donc pas méthodologique et dépasse le cadre de la géographie quantitative. Le GIP accorde cependant tout de suite un intérêt aux méthodes informatiques. Il construit une chaîne de traitement intégrant des progiciels statistiques sur les ordinateurs du Centre de calcul de Montpellier et des logiciels graphiques sur les nouveaux micro-ordinateurs Macintosh. Du point de vue informatique, le GIP RECLUS a contribué à l'organisation de bases de données communales à l'échelle de la France et à la diffusion d'Atlas sur CD-ROM. Il a aussi publié un grand nombre de guides méthodologiques, qui ont largement contribué à populariser des méthodes, techniques et outils nouveaux pour une cartographie et statistique informatisées.

La géographie française saisie par les SIG

Le GIP RECLUS avait un intérêt méthodologique essentiellement orienté vers l'aval du traitement de données : analyse statistique, cartographie thématique et statistique, en support à son intense travail d'édition. Le GIP a joué, en tant que structure, un rôle faible dans le développement des SIG, même si certains des géographes du GIP ont individuellement joué un rôle très important dans la structuration de la géomatique (on pense entre autres à J-P. Cheylan et P. Mielliet). La première et unique publication du GIP dans ce domaine est d'ailleurs assez tardive et reflète un scepticisme certain à propos de l'outil (Charre, Mielliet et al. 1991). Il est surprenant de remarquer que le principal réseau qui œuvre à l'époque pour une rénovation méthodologique de la géographie semble ignorer une innovation technique d'importance dont l'émergence en France lui est strictement contemporaine. Outre son tropisme vers la cartographie de publication, fonction qui n'était pas le point fort des logiciels SIG de l'époque, les raisons qui peuvent expliquer cette réserve du GIP sont vraisemblablement à chercher dans le croisement/cloisonnement de réseau que Reclus produit par rapport à la géographie quantitative. Seule une analyse précise des stratégies et des enjeux de l'époque permettrait de comprendre les raisons de cette indifférence.

Il n'existe pas beaucoup de traces bibliographiques de la maturation des SIG dans la recherche géographique entre le rapport de S. Rimbart au Conseil de l'Europe en 1979 et la conférence SIGéo'88, adossée au colloque GéoPoint de 1988 d'Avignon, prélude à ce qui est souvent considéré comme la première vraie conférence du domaine, "SIGéo'89", organisée par Yves Guermond à Rouen l'année suivante et qui sera à l'origine du réseau Cassini et de la fondation de la géomatique en France (GDR Cassini 2000). Il faut nécessairement citer la journée d'information sur « Infographie et Systèmes d'Information Géographique » organisée en décembre 1984 à l'initiative des géographes de l'ORSTOM (maintenant IRD) (ORSTOM 1986). Le livre reprenant les communications constitue en effet un premier et remarquable cadrage de la problématique future des méthodes, applications et outils de la géomatique d'un

point de vue géographique. Marc Souris y fait un exposé très complet et informé des concepts informatiques des SIG (Souris 1986).

La suite de cette histoire relève du domaine propre de la géomatique, qui se constitue comme un domaine de recherche spécifique à partir de 1990 et sort du champ que nous avons délimité pour cette analyse. A partir des années 90, l'informatique est reconnue comme un domaine technique à part entière de la géographie. Le livre de A. Bailly sur les concepts de la géographie humaine, qui l'ignorait dans son édition de 1984, l'intègre à partir de 1991 (Guermond 1991). Un chapitre de l'Encyclopédie de géographie dirigée par A. Bailly, R. Ferras et D. Pumain est consacré en 1995 aux techniques informatiques. Il est d'ailleurs largement dominé par les SIG (Guermond 1995). Un an plus tard, un manuel de M. Derruau intègre un chapitre sur les applications et implications de l'informatique, en géographie physique cette fois (Charre 1996). Les techniques informatiques sont plus ou moins superficiellement mais désormais systématiquement mentionnées dans les dictionnaires, manuels et guide méthodologique de la géographie (Gumuchian, Marois et al. 2000). On peut remarquer que cette reconnaissance des outils informatiques se fait au moment de l'émergence de la géomatique. Les SIG prennent progressivement à partir de 1990 une place centrale, bien que discutée, au milieu des outils classiques de cartographie thématique et statistique, d'analyse spatiale, de modélisation et de simulation.

Cette petite histoire de l'informatique dans la géographie française d'avant les SIG, évidemment encore très superficielle, est plus proche et mieux connue que l'histoire américaine. Encore une fois, il ne s'agit que d'un premier cadrage qu'il faudrait affiner, de concert avec ses différents protagonistes, pour comprendre les enjeux, contraintes et stratégies de l'époque. Dans les articles publiés qui nous ont servi de sources, la dimension proprement technique (type d'ordinateur, de programme, de langage) est rarement mentionnée. Il y a une raison tactique. Les auteurs font très attention à ne pas être cantonnés « à l'arrière-boutique de la géographie (...) », le devant de la scène étant exclusivement tenu par le discours » (Guermond 1989). Alors qu'on leur demande de « mettre leurs algorithmes en annexe » *Ibid.*, il est compréhensible qu'ils ne placent pas leurs outils les plus techniques en avanture. La deuxième raison est plus profonde. L'enjeu scientifique de ce mouvement est épistémologique et porte sur des questions de formalisation de l'approche géographique, de méthodologie d'analyse et de modélisation spatiale. Les outils et techniques informatiques sont donc très en retrait des questions importantes. Pourtant il est légitime, dans une logique de compréhension scientifique de ce courant de la géographie, de comprendre en quoi les enjeux méthodologiques et scientifiques ont pu être plus ou moins liés à des choix ou des contraintes techniques.

Comme en Amérique du Nord, la plupart des domaines d'application de la géographie sont présents, ainsi que les grands ensembles de traitements : cartographie, analyse, modélisation. Dans l'état de notre documentation, les questions liées à l'organisation et à la structuration de bases de données en amont de ces traitements semblent toutefois en retrait de l'intérêt des chercheurs français. A part celles de S. Rimbart, les références trouvées sont plus tournées vers la cartographie, l'analyse et la modélisation des données que vers leur structuration, leur collecte et leur accessibilité, qui ne viennent au premier plan qu'à l'extrême fin de la période, au moment où les SIG apparaissent. C'est une hypothèse que seule une recherche systématique permettra de vérifier. Comme on le verra plus loin, le fait que les géographes doivent toujours utiliser des données produites par d'autres est en effet une critique portée très tôt à la géographie quantitative. S. Rimbart pointe cependant dès 1979 le problème de la rétention d'information qui rend les sources d'information non accessibles à cause du secret administratif : « La

législation qui, dans différents pays, limite l'accès aux sources, est révélatrice des tendances anti-démocratiques que suscite l'informatique » (Rimbert 1979 p. 6).

On constate par ailleurs que tout se passe comme si la collaboration locale et informelle entre géographes et informaticiens sur laquelle s'était fondée la géographie quantitative des années soixante-dix, s'autonomise en quelque sorte à la fin des années quatre-vingt dans une nouvelle discipline, la géomatique, dont les liens avec la géographie restent à éclaircir.

2. La place de la géomatique dans la géographie française: un essai de bilan quantifié

Tenter d'évaluer la part que les travaux sur les SIG occupent dans les recherches géographiques françaises, nous oblige à sélectionner artificiellement les travaux de géographes ou non géographes sur ou avec les SIG qui sont visibles dans l'espace scientifique de la géographie. Notre analyse est donc construite à partir de sources relevant de la géographie : le Répertoire des Géographes, édité par le laboratoire Intergéo puis Prodigé, le fichier des thèses et un corpus d'articles parus dans des revues de géographie collectés à cet effet. Il est évident que par ce biais nous éliminons de nombreuses recherches intéressantes, peut-être les plus intéressantes : celles menées par des géographes dans le contexte même de la géomatique, à l'intérieur du groupe Cassini ou publiées dans la Revue Internationale de Géomatique par exemple. Nous éliminons aussi les recherches géomatiques que les géographes mènent dans les champs des disciplines connexes, urbanisme, histoire, agronomie, économie, écologie, ou dans des contextes plus appliqués. Enfin nous laissons de côté aussi toutes les recherches effectuées par des non géographes dans le contexte de la géomatique. Deux remarques : 1) notre objectif est bien ici d'analyser la recherche sur les SIG dont les résultats sont facilement accessibles aux géographes, qu'elle soit produite ou non par des géographes ; 2) les stratégies de publication font qu'il est rare qu'un auteur ne publie pas une nouvelle fois les résultats, même déjà présentés ailleurs, qui peuvent être acceptés dans les revues de sa discipline. Analyser la part des recherches correspondant à l'investissement des géographes dans la géomatique, et surtout les travaux menés dans un contexte interdisciplinaire, est bien sûr indispensable. Cela nécessite d'autres moyens et une autre approche.

Établir un bilan quantitatif nécessite de trouver des sources d'information régulières. Celles que nous utilisons ne sont pas sans biais, mais ces derniers peuvent être considérés comme plus ou moins invariants au cours du temps. Les indicateurs restent grossiers mais pourraient assez facilement être affinés. Vu ses sources, cette analyse ne prend nécessairement comme référence que la géographie française et non francophone. Il serait nécessaire de compléter cette approche car les recherches géomatiques belges, suisses et québécoises sont nombreuses et importantes. Le Québec, vu sa situation nord-américaine, joue un rôle de passeur original qui nécessiterait de plus une étude spécifique¹.

2.1. La montée de la thématique SIG en géographie

Nous essayons d'abord d'évaluer l'évolution dans le temps du volume des travaux géomatiques en géographie à travers le nombre de contributions SIG aux colloques européens de Géographie quantitative, la liste des thèmes de recherche déclarés par les géographes dans le Répertoire des Géographes français et la proportion d'articles de recherche et de thèses en géographie portant les mots-clés SIG ou géomatique.

¹ Ces résultats ont fait l'objet d'une présentation un peu différente au Colloque international : Géomatique et applications, apports des SIG au monde de la recherche à Orléans en mai 2003 (Joliveau 2003)

Les thèmes de recherche

Une des voies de diffusion des SIG en France se fait, on l'a vu, par l'intermédiaire des équipes de géographie quantitative. On peut observer cette diffusion à travers l'analyse rétrospective de l'activité de l'*European Colloquium in Quantitative and Theoretical Geography (ECQTG)* que fait Unwin (1999). La référence à l'ECQTG n'est pas déplacée dans une analyse portant sur les géographes français. Ce sont des rencontres auxquelles ils sont fidèles (c'est souvent la nationalité la mieux représentée, bon an mal an entre 15 et 30 % des participants).

Comme le montre la Figure 5-1, le thème des GIS (Geographical Information Systems) n'apparaît pas avant 1980 dans ces colloques et occupe une place relativement faible dans les rencontres des géographes quantitatifs européens jusqu'en 1989. Alors que ces colloques se sont tenus 21 fois entre 1978 et 1999, 10 % du total des papiers se réfèrent à la thématique SIG. La répartition chronologique montre une apparition du thème en 1983, une stagnation relative jusqu'en 1989, un boom entre 1989 et 1993 et une stabilité à un niveau légèrement plus bas (14 % des papiers) depuis cette date. L'apparition de l'intitulé GIS dès 1983 au colloque d'Augsbourg témoignerait donc d'une antériorité «quantitativiste» des SIG dans la recherche en géographie. 1989 serait l'année de leur plus large diffusion dans le cercle des géographes "quantitativistes" avant de partir à la conquête d'un public plus large et de créer des cénacles spécialisés. Unwin explique la relative stabilité du nombre de papiers SIG dans l'ECQTG par le fait que ce type de colloque n'est pas le lieu le plus direct des publications SIG.

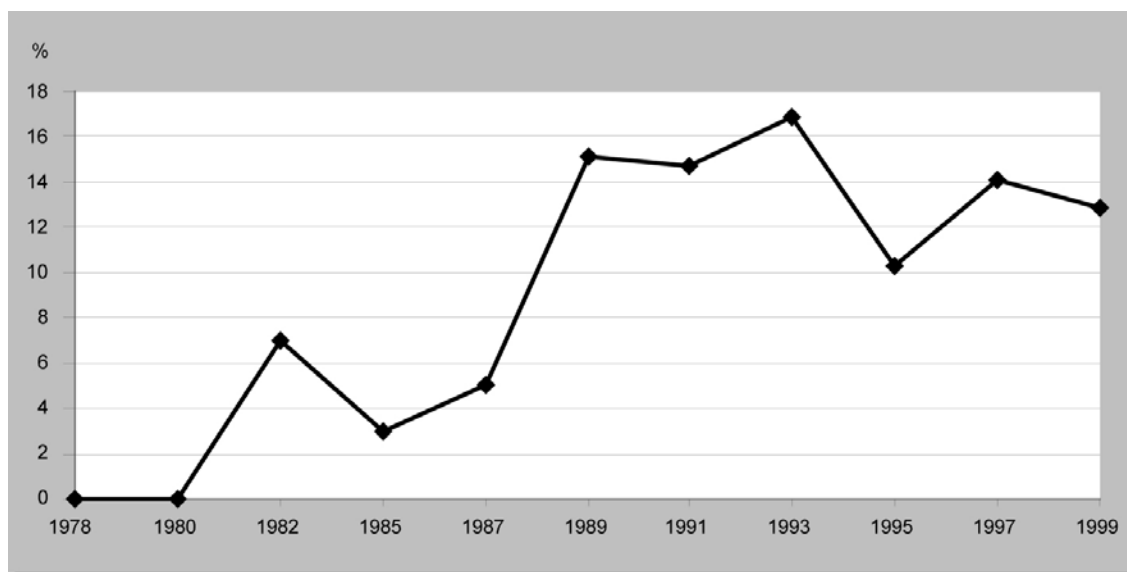


Figure 5-1. Pourcentage des communications sur le thème des SIG aux colloques ECGT.
Source Unwin (1999)

Le Répertoire des Géographes, publié assez régulièrement depuis 1969 (Joly 2002), est une source intéressante pour mesurer la diffusion de la thématique SIG chez les géographes français ou exerçant en France (Matoux-Lambert 1993). Ceux-ci sont en effet régulièrement invités à décrire leur activité sous forme de mots-clés. Il est donc possible à travers cette source de pointer les thèmes mobilisateurs ou en perte de vitesse. Bien sûr, le répertoire présente un certain nombre de biais. D'abord, tous les géographes ne remplissent pas de fiche dans le répertoire. En cas de non réponse, la fiche de l'édition précédente est maintenue, si elle existe. Par ailleurs, le Répertoire ne regroupe pas que les géographes du monde de la recherche, même s'ils y sont très largement majoritaires. De plus, les mots-clés sont à sélectionner dans une liste pré-établie qui évolue au cours du temps : le répertoire peut donc parfois saisir les innovations avec retard.

Enfin, déclarer un mot-clé n'est pas toujours le signe d'un travail de recherche effectif dans le domaine considéré ; il existe un effet mode dans les déclarations, qu'il ne serait d'ailleurs pas inintéressant d'étudier. Ces défauts ne semblent pas nous empêcher de répondre à cette question simple. A partir de quel moment les géographes français s'intéressent-ils à la géomatique ?

Le terme SIG apparaît dans la liste fournie par les auteurs du Répertoire en 1989 et se trouve aussitôt choisi par 40 personnes. Le pic de contributions SIG à l'ECQTG est donc aussi l'année de reconnaissance officielle des SIG comme objet et moyen de recherche dans le Répertoire. Comme on l'a vu plus haut, c'est bien entre 1984 et 1989 que se diffuse en France le thème des SIG, ce qu'entérine le Répertoire. Une rapide vérification a montré qu'en 1984 aucun géographe n'avait déclaré SIG parmi les mot-clés qu'il avait le loisir d'ajouter à ceux proposés. Le terme SIG vient donc rassembler sous une étiquette unique et explicite des notions qui étaient en l'air depuis plusieurs années. 1986 est certainement l'année de la cristallisation. On le voit en comparant deux contributions de P. Dumolard de cette année-là. La première publiée par les Brouillons Dupont de 1986, qui reprend les communications françaises au congrès de géographie quantitative d'Eindhoven, ne cite jamais le mot SIG. Il propose pourtant la conception d'un nouvel outil pour la cartographie électorale qui en a toutes les caractéristiques mais qui est nommé système de gestion des données spatiales ou système d'information structurée interrogeable (Dumolard 1986b). La même année au Géopoint, Dumolard fait une présentation de la notion de SIG à un auditoire supposé découvrir la notion (Dumolard 1986a). Mais la terminologie n'est pas stabilisée puisque le titre d'un autre article sur le même thème deux ans plus tard redevient « système de gestion de données spatiales », l'année où se tient "SIGéo88" à Avignon (Dumolard 1988).

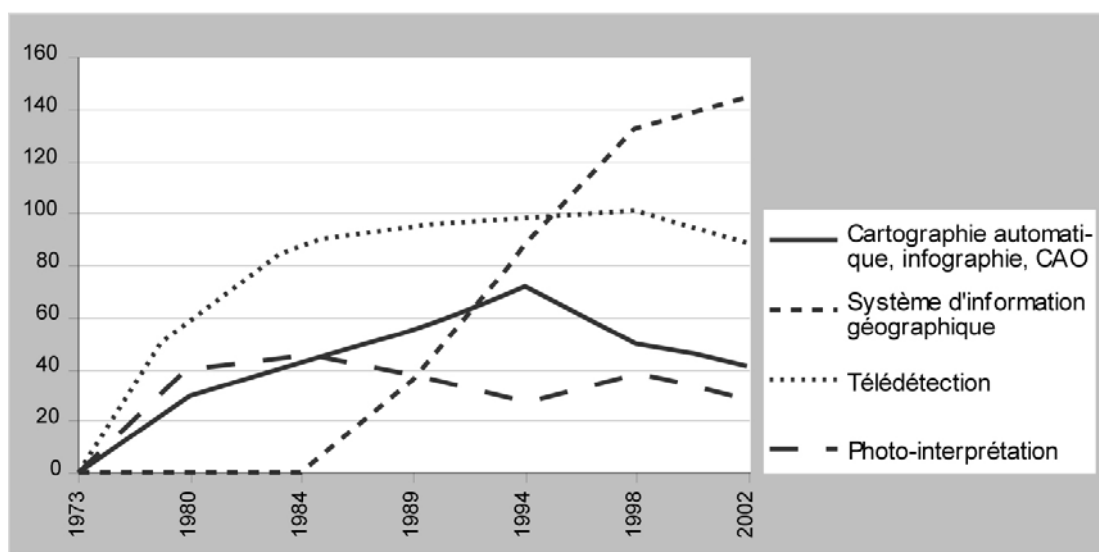


Figure 5-2. Nombre de citations de différents mots-clés dans les Répertoires des géographes

C'est très nettement dans l'orbite de la cartographie automatique que le terme SIG fait irruption dans la communauté des géographes. Près de la moitié de ceux qui déclarent en 1989 le thème SIG déclarent aussi le thème «cartographie automatique», proposé depuis 1980 dans le répertoire. Il y connaît rapidement un vif succès, comme le montre la Figure 5-2. La croissance est régulière de 1989 à 1998, et s'infléchit légèrement ensuite. On passe ainsi de 37 géographes répertoriés à 146 dans la dernière édition en 2002. La diffusion est donc rapide. En comparant la

courbe à celle d'autres thèmes méthodologiques tels que cartographie automatique et infographie ou télédétection, on constate un décalage d'une dizaine d'années, avec une pente plus forte et des valeurs absolues plus élevées. Alors que le mot-clé télédétection culmine à 99 géographes en 1998, 25 ans après son apparition, et la cartographie automatique à 72 en 1994, les SIG concernent presque 150 notices du dernier répertoire, moins de 15 ans après son émergence. En valeur relative, l'effet est moins évident. En effet, le nombre de notices de géographes s'élève au cours du temps (de 1300 en 1989 à près de 2000 en 2002). En 1984, juste avant le lancement du satellite SPOT, 8,3 % des géographes déclaraient s'intéresser à la télédétection. Les SIG n'atteignent que 7,2 % en 2002. Les géographes officiellement "convertis" aux SIG pour leurs travaux de recherche restent très minoritaires en 2002. L'inflexion de la courbe est-elle le premier signe d'un fléchissement à venir ? Il est trop tôt pour le dire mais la forme des courbes des autres thèmes méthodologiques peut laisser augurer une croissance continuant à vitesse plus lente pendant plusieurs années suivie d'un plafonnement à un nombre relativement élevé de pratiquants.

Qui sont les géographes qui s'intéressent aux SIG ? Dans l'attente des résultats d'une analyse typologique plus fine, on peut constater d'abord que le mot-clé SIG grignote régulièrement le mot-clé cartographie automatique au cours du temps, sans l'annihiler cependant. A la fin de la période, plus de la moitié des géographes spécialisés en cartographie automatique associent les SIG à leurs thématiques (Figure 5-3). Les SIG constituent donc au début, au moins pour partie, un nouveau nom des recherches de cartographie automatique. Cependant, on constate que le thème cartographie automatique continue à croître jusqu'en 1994, avant de baisser ensuite. Il conserve toutes ces années un nombre d'adeptes qui résistent aux SIG. Si ces derniers trouvent donc vraisemblablement une origine dans les travaux de la cartographie automatique et de l'infographie des années 80, ils ont une dynamique propre, qu'illustre le fait que les géographes mentionnant les SIG et pas la cartographie automatique deviennent rapidement les plus nombreux.

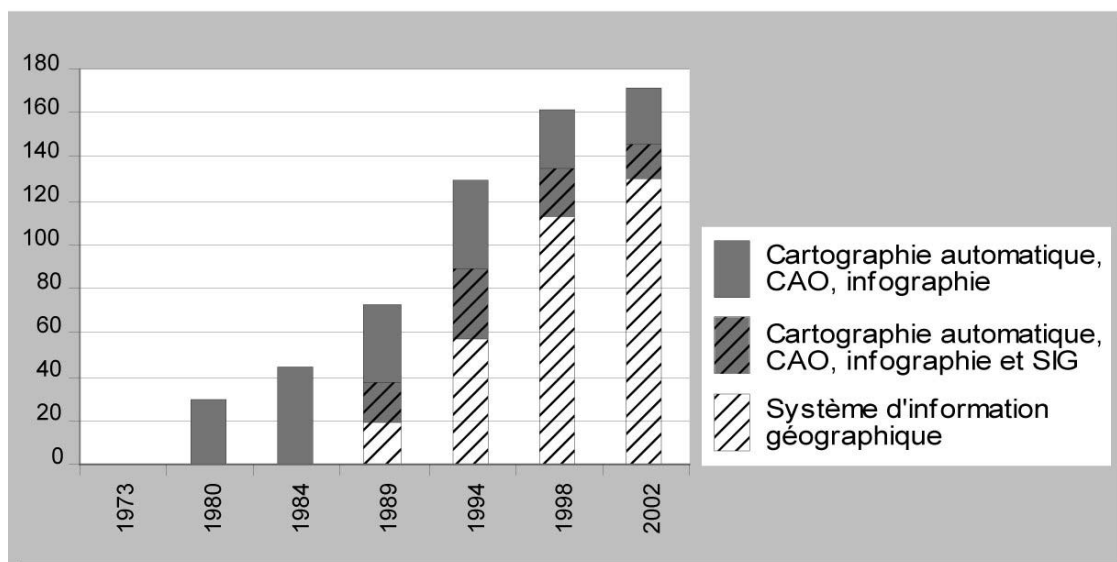


Figure 5-3. Les mots clés «Cartographie automatique» et «SIG» dans les Répertoires des géographes

Les articles scientifiques

Le bilan sur les articles de géographie concernant les SIG ou la géomatique que nous proposons ici n'est pas fondé sur une recension exhaustive. Nous avons retenu un panel de 5 revues, choisies en diversifiant le type de comité de rédaction (national ou régional), l'orientation plus ou moins moderniste ou traditionnelle et le mode de diffusion (édition papier ou Internet) : l'Espace géographique, les Annales de Géographie, La Revue de Géographie de Lyon (RGL)-Géocarrefour, Mappemonde et Cybergéo. On peut noter qu'il s'agit de revues généralistes et qu'aucune revue spécialisée (en géographie physique par exemple) n'est retenue¹. La sélection des articles dans le corpus se fonde sur la mention du mot-clé SIG ou Géomatique (en fait, ce dernier n'apparaît pas). Même si leur contenu aurait pu conduire à les sélectionner, nous avons exclu les articles dans lesquels l'auteur ne mentionnait pas SIG comme mot-clé. De même, nous n'avons pas retenu les types de texte non munis d'un indexage par mots-clés, comme par exemple les *Notes* des Annales de Géographie. La recension a eu lieu à partir des tables récapitulatives par mots-clés, quand elles existaient. Les (rares) oublis constatés ont été corrigés. On a compté 95 articles ou textes portant le mot-clé SIG entre 1989 et 2002 : 11 dans l'Espace Géographique, 2 dans les Annales de Géographie, 13 dans RGL-Géocarrefour, 49 dans Mappemonde et 20 dans Cybergéo.

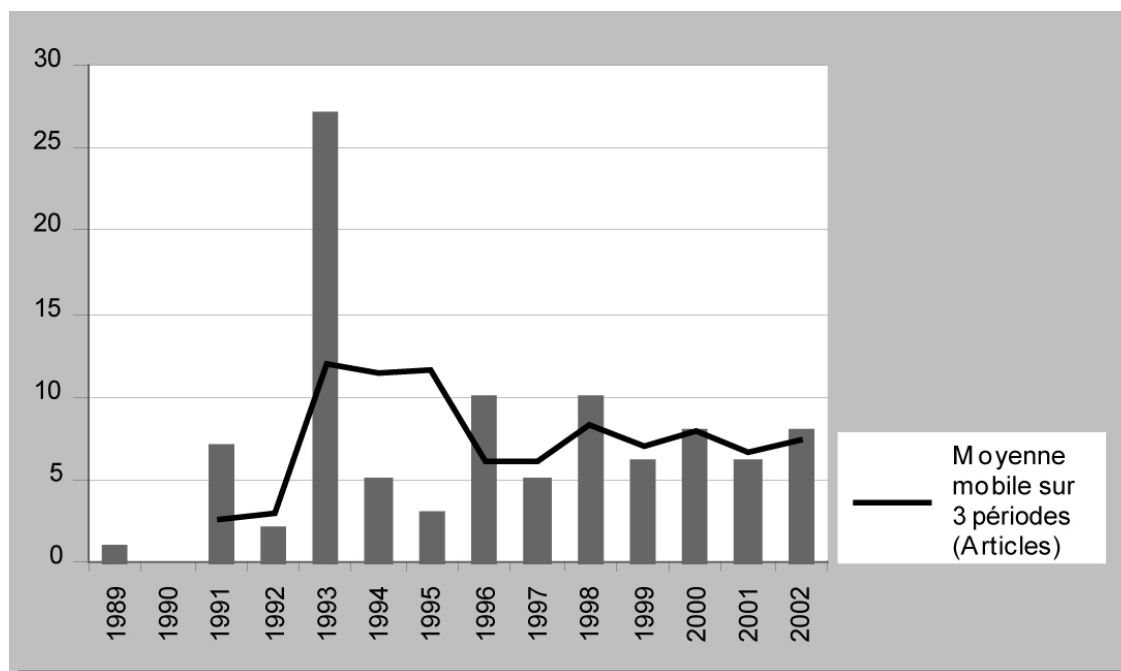


Figure 5-4. Nombre d'articles dans des revues de géographie portant le mot clé SIG

¹ Les relevés postérieurs que nous avons faits dans la revue Géomorphologie ne semblent pas invalider les résultats.

On constate sur la Figure 5-4 que les articles pionniers apparaissent eux aussi en 1989, avec un pic très fort en 1993 et un pallier de 6 ou 7 articles par an ensuite. Certains chiffres sont cependant en trompe-l'œil. Pour la RGL (en 96) et Mappemonde (en 93), un seul numéro spécial contribue pour presque la moitié de la production d'articles de la revue. Par ailleurs, les articles du numéro spécial de Mappemonde 4/93 sont très nombreux et ne dépassent pas deux pages. On constate un intérêt pour le thème des SIG très variable selon les revues. Les Annales de Géographie par exemple ont complètement ignoré le thème jusqu'à la fin 2002. Certaines années, Cybergéo et Mappemonde représentent à elles deux la totalité des articles édités sur ce thème, et chaque année au moins la moitié. 10 % des articles de ces deux revues portent le mot-clé SIG sur la période, alors que les 95 articles SIG correspondent approximativement à 5 % de la production totale des 5 revues entre 1989 et 2002. Ce sont donc les revues les plus récentes : Mappemonde (fondée en 1986) et Cybergéo (fondée en 1992), qui sont les vecteurs les plus actifs du thème des SIG en géographie. Plus jeunes, elles se révèlent aussi plus ouvertes à un thème émergent.

Une autre manifestation de l'intérêt des géographes pour la géomatique est leur lecture des revues spécialisées dans ce domaine. Un indicateur est fourni par l'enquête récente du CNRS sur les Revues en Sciences Humaines et Sociales, qui a sélectionné dans son panel d'étude la Revue Internationale de Géomatique. Entre 1992 et 2001, la Revue Internationale de Géomatique est assez faiblement citée par les revues de Géographie. Le palmarès est le même que précédemment (Cybergéo exceptée) : 29 citations en dix ans pour Mappemonde, 26 pour l'Espace géographique, 10 pour Géocarrefour. Toutes les autres ont moins de 5 citations (CNRS 2004).

Les thèses

Le nombre de thèses soutenues est un autre indicateur (Figure 5-5). On a pris comme source le site Web *SUDOC* en sélectionnant les documents de type thèse de géographie, dont n'importe quel mot de la notice est SIG ou Système d'Information Géographique. On obtient 55 réponses (notons que les thèses de géographies sont minoritaires parmi les 125 thèses mentionnant les SIG). On constate une croissance régulière des thèses de 1991 à 1997, suivie d'un creux marqué en 98-99 et une reprise ensuite à un rythme de 7 thèses par an. La valeur de 2002 est incomplète, le fichier n'étant certainement pas à jour à la date de consultation. On ne constate donc pas de baisse récente après le creux. La courbe est décalée de trois ans par rapport à celle des articles, ce qui correspond bien au temps de gestation minimal d'une thèse.

Il faudrait s'intéresser à d'autres sources : les livres, les séminaires, les manuels spécialisés, les encyclopédies de la géographie, mais la place manque. Il faudrait surtout procéder à une analyse qualitative de ces documents peu nombreux. Il n'existe pas de livre ou de manuel consacré spécifiquement aux SIG à l'attention des géographes. Et les colloques sont rares. Si l'on écarte les rencontres de Cassini, ou celles de SIGéo qui les précédaient, par essence pluridisciplinaires, et les quelques colloques de géographie et cartographie où ont été abordés accessoirement les SIG, le seul où ils furent le thème central semble être celui de Géopoint en 1994. Organisé par le groupe Dupont en pleine montée de la vague des SIG, le colloque qui portait sur « S.I.G., Analyse spatiale et aménagement » a regroupé 137 participants, partagés entre 7 ateliers (Groupe DUPONT 1994a). Là encore, une fois passée cette période d'innovation, le thème des SIG n'a plus donné lieu à la tenue d'un colloque spécifique à la géographie.

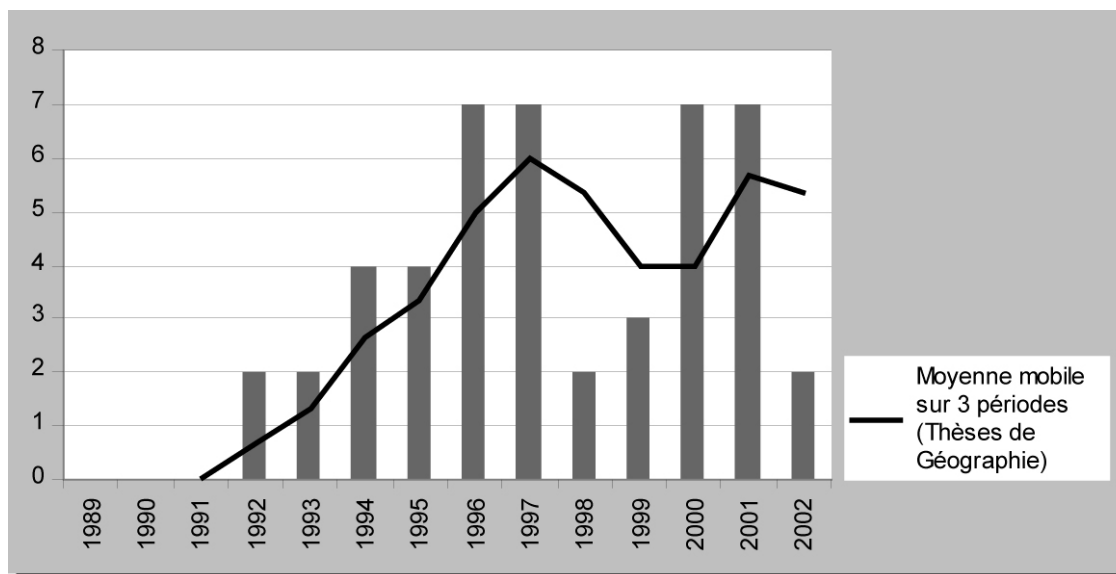


Figure 5-5. Thèses de géographie soutenues mentionnant le mot SIG

2.2. Les caractéristiques des publications

De quoi parlent les articles de recherche indexés SIG accessibles aux géographes non spécialistes ? Nous avons voulu dépasser un simple bilan quantitatif, en analysant les champs thématiques abordés dans le corpus d'articles rassemblé. Celui-ci se compose donc des articles estampillés du mot-clé SIG parus dans les 5 revues citées plus haut, auxquels on a ajouté les communications à Géopoint 94. Le corpus est donc de 132 références, écrites par 200 auteurs (doublons compris).

Pour analyser ces articles, nous proposons quatre descripteurs : le(s) domaine(s) disciplinaire(s) de l'article, la ou les finalités de la recherche relatée, le point de vue adopté sur les SIG et les dimensions méthodologiques des SIG abordés. Chaque article a été lu et un ou plusieurs mots-clés pour chaque descripteur lui ont été associés. Même s'il a été réalisé avec le plus de soin possible, le descriptif reste subjectif et reflète le jugement de l'auteur¹. Par ailleurs, on l'a déjà dit, le corpus est hétérogène. Il est dominé en nombre par le numéro spécial de Mappemonde de 1993 et les communications du colloque Géopoint de 1994 qui se caractérisent par leur brièveté.

¹ Auteur qui est juge et partie, puisque certains de ses articles font partie du corpus.

Regroupant plus de 40 % des textes, ces deux documents totalisent moins de 30 % des pages produites.

Ces limites énoncées, il nous semble intéressant cependant de repérer le poids relatif des intérêts thématiques et, éventuellement, de leur évolution dans le temps. Pour simplifier l'analyse, nous avons distingué deux périodes : avant 1996, période de jeunesse des SIG dans la recherche en géographie en France, sont parus 60 % des articles et 40 % après 1996, qu'on pourrait appeler l'ère de la maturité.

Les grands domaines d'application

On peut d'abord faire une distinction entre les articles dont le SIG est l'objet même de l'exposé et ceux pour lesquels il apparaît comme le moyen d'une autre fin. Dans le corpus qui nous intéresse, le deuxième type de posture devrait être dominant, puisque la réflexion portant sur l'objet SIG en lui-même relève plus directement des revues de géomatique. Ensuite, on peut distinguer les articles relevant d'une approche explicitement géographique de ceux relevant plutôt d'autres disciplines ou démarches. Un article peut appartenir à plusieurs catégories.

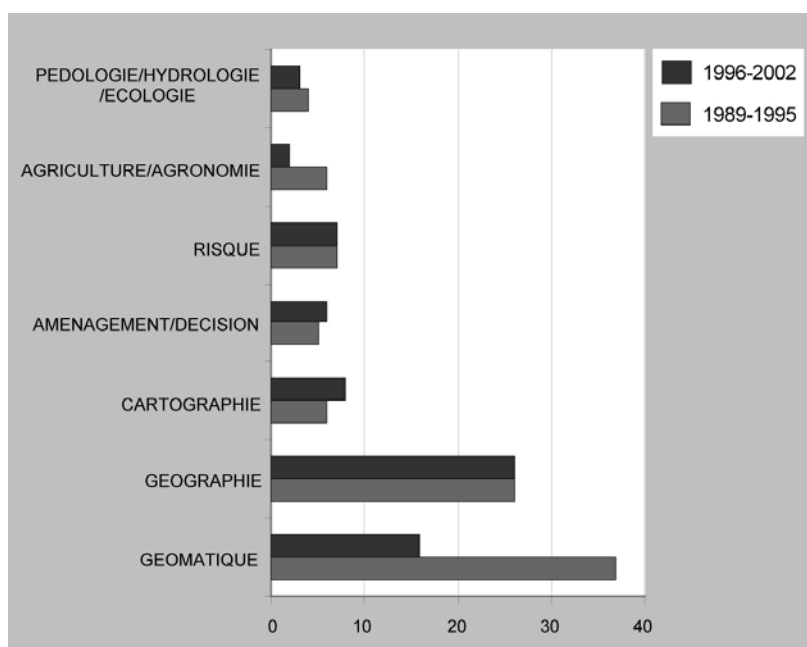


Figure 5-6. Nombre d'articles SIG par grands domaines disciplinaires

Ce qui frappe dans la Figure 5-6, c'est la permanence des structures au cours du temps, à l'exception de la baisse très significative après 1996 des articles que l'on a appelés géomatiques, c'est-à-dire dont la problématique porte sur le SIG pour lui-même. C'est la baisse de ce type d'articles qui explique la baisse générale constatée. Une fois passée la période de découverte des SIG, il semble que ce soient les applications qui intéressent prioritairement les géographes et plus la théorie.

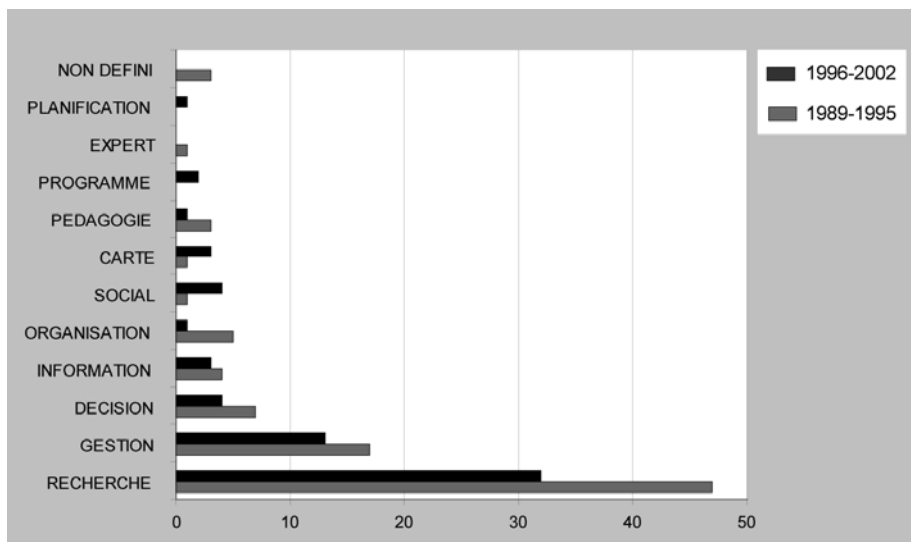


Figure 5-7.
Nombre
d'articles SIG
par grands
domaines de la
géographie

La Figure 5-7 récapitule la répartition thématique à l'intérieur du grand domaine Géographie et illustre la diversité des approches géographiques qui utilisent les SIG. Le terme Géo-modélisation caractérise les articles dont l'intérêt pour les méthodes et techniques de modélisation spatiale au sens large est manifestement fort, qu'un domaine d'application soit ou non mentionné. Ce tableau confirme aussi une perception généralement partagée, selon laquelle les SIG concerneraient prioritairement les thèmes de géographie environnementale ou physique. C'est d'autant plus vrai, que le thème du risque a été isolé comme un grand domaine à part. On constate cependant un certain rééquilibrage dans la période récente.

Les finalités de la recherche

Le second descripteur distingue les articles en fonction de la finalité générale du projet relatif (Figure 5-8). L'étude du corpus nous a conduit à une liste de 11 finalités possibles, un article pouvant relever de plusieurs finalités. Il peut rendre compte des résultats d'une *recherche*, éclairer une application de *gestion*, aider à une procédure de *décision*, construire un outil ou une démarche de *pédagogie*, mener une analyse à dimension *sociale* ou *organisationnelle*, mettre en place une démarche de *planification*, un système d'*information*, réaliser un logiciel ou un programme *informatique*, publier une *carte*, mettre en œuvre une démarche d'*expert*.

Le type d'article sélectionné met bien entendu la finalité recherche en tête des résultats. Malgré cela, il faut noter la présence forte des problématiques de gestion (de l'espace, de l'environnement, de l'aménagement, ...) mais aussi de l'aide à la décision. Ce dernier thème fait, par l'intermédiaire du SIG, une entrée significative dans la recherche en géographie. Les autres finalités sont en trop petit nombre pour être interprétées. On pourrait s'interroger sur la baisse de l'analyse organisationnelle et la montée symétrique de l'analyse sociale, mais le point saillant est leur caractère marginal dans la littérature géographique sur les SIG.

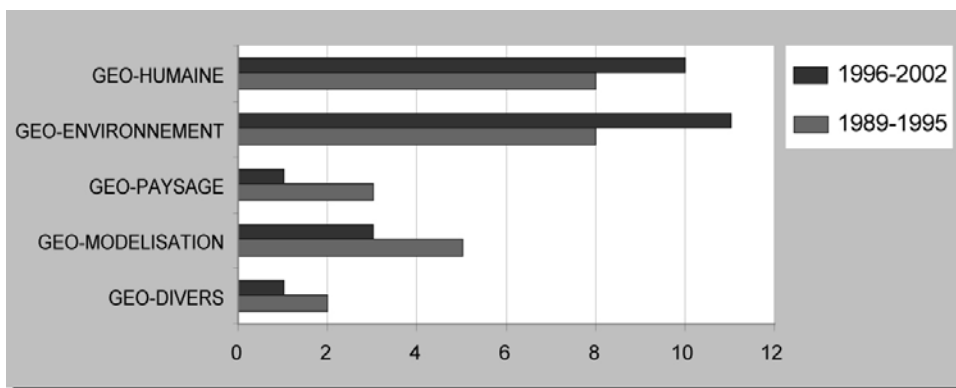


Figure 5-8. Nombre d'articles SIG par grande finalité

Les points de vue sur les SIG

Le troisième descripteur rend compte du point de vue que l'article ou la communication adopte sur le thème des SIG, indépendamment de sa thématique (Figure 5-9). Nous avons appelé *méthodologiques* les articles qui visent à exposer une démarche permettant de répondre à un problème ou à une question spécifique. C'est le point de vue le plus représenté dans les publications. Vient ensuite le point de vue *conceptuel*, qui consiste à proposer de nouveaux concepts ou de nouvelles notions pour penser une situation. Le point de vue *technique*, qui accorde une grande place aux procédures pratiques de la discipline concernée (outils, programmes ou logiciels dans le domaine de la géographie, algorithmes ou structures de données en géomatique, ...), vient en troisième. Notons qu'il baisse significativement dans la seconde période. Le point de vue *épistémologique* qui s'intéresse aux enjeux et conséquences des SIG sur la discipline de référence de l'auteur, arrive ensuite.

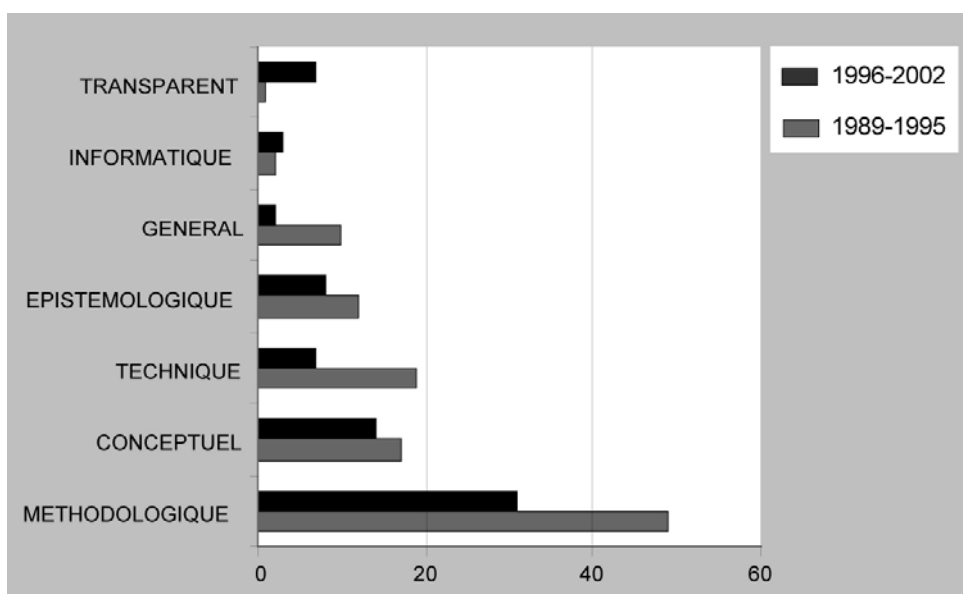


Figure 5-9. Nombre d'articles par point de vue adopté sur les SIG

Les autres points de vue sont minoritaires. Le point de vue *général*, qui vise à présenter et expliquer des notions sur les SIG caractérise assez naturellement la période de découverte. Le

point de vue *informatique*, qui prend la question des SIG dans leur aspect de méthodes et de questions informatiques est quasiment absent de la littérature géographique. Enfin, le point de vue que nous avons appelé *transparent*, c'est-à-dire pour lequel le SIG n'est mentionné que par formalité en mot-clé, mais ne fait l'objet d'aucun exposé spécifique n'apparaît que dans la période de maturité. Devenu outil parmi les autres outils, le SIG est mentionné pour mémoire mais non développé. Deux remarques : 1) Cela peut caractériser aussi bien des articles à forte composante de modélisation quantitative, pour lequel le SIG n'est souvent qu'un réceptacle habituel et anodin des données, que des études de géographie plus descriptive utilisant les fonctions des SIG pour produire des cartes ; 2) Cela peut souligner en creux les lacunes de l'étude. Il est possible que dans des articles non répertoriés les SIG soient utilisés aussi sans le mentionner dans un mot-clé. En fait, ce cas est vraisemblablement assez rare. A contrario, le grand nombre d'articles où le SIG n'est pas « transparent » pourrait être le signe d'un certain maintien du questionnement sur le rôle et le statut des SIG dans la recherche géographique.

Les fonctions des SIG

Le quatrième descripteur vise à repérer les grandes fonctions des SIG privilégiées dans les articles, en particulier ceux à dimension méthodologique. Il est à utiliser avec discernement car il est périlleux à établir à partir de comptes-rendus parfois très succincts. La typologie des fonctions est justifiée dans le Parcours 1.

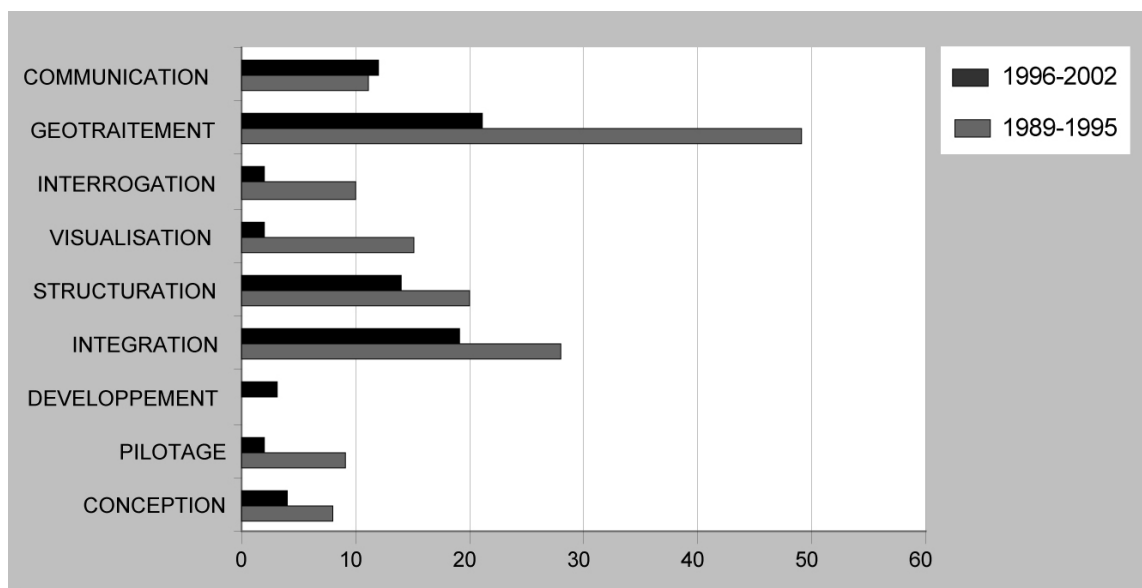


Figure 5-10. Nombre d'articles par grandes fonctions SIG

La Figure 5-10 montre que les fonctions de *géotraitement* (traitements géométriques, mesures et calculs de distance, algèbre de cartes, interpolation spatiale et géostatistique, analyse topographique, analyse de densité et de potentiel, etc.) sont les plus citées (trois auteurs sur quatre s'y réfèrent) mais que leur domination diminue avec le temps. Les fonctions de *symbolisation* (construction de documents à la sémiologie élaborée : cartes thématiques et statistiques, diagrammes, atlas papier ou électroniques ...), proches de la cartographie et privilégiées par un support comme Mappemonde, devançant les fonctions de *visualisation-navigation* (exploration attributaire et spatiale, navigation 2D/3D, liens entre les vues, ...) plus interactives et plus souples. Les fonctions d'*interrogation* (requêtes attributaires, spatiales,

calculs attributaires, ...) sont plus rarement mises en avant. Ensuite viennent dans l'ordre les fonctions situées en amont, *l'intégration* des données (saisie et acquisition, géoréférencement, mesure des erreurs, métadonnées, ...) et *la structuration* (choix des structures informatiques, organisation des données, modes et formats, généralisation, ...) dont l'intérêt occupe une place relative plus importante après 1996. Les fonctions de *conception* (modélisation d'un territoire ou d'une activité, stratégies de description numérique des phénomènes, modèles de données) et de *pilotage* (gestion du projet, questions organisationnelles, ...) concernent peu, et de moins en moins avec le temps, les géographes. Enfin, les tâches de *développement* informatique liées au SIG sont très peu citées dans notre corpus, et même si elles se concentrent dans la deuxième période elles restent trop rares pour indiquer l'émergence d'une culture, même embryonnaire, du développement informatique chez les utilisateurs de SIG de cet échantillon.

2.3. Commentaires

Tous les indicateurs convergent pour indiquer une croissance rapide du thème SIG dans la recherche géographique à partir de 1989 avec un ralentissement ensuite, mais qui, selon les indicateurs se produit en 1993, 1996 ou plus récemment. Un socle stable de travaux se maintient une fois que s'atténue l'effet nouveauté. Le pic suivi d'une baisse peut s'interpréter de deux manières différentes. L'explication la plus simple est l'effet de mode. Une fois celui-ci évanoui, il ne reste dans les publications que les recherches de fond. On peut aussi l'expliquer par une banalisation de l'usage des outils SIG dans le même temps qu'ils se diffusent. Le mot-clé SIG perdrait son intérêt comme mot-clé d'un article car il n'est plus le marqueur d'une innovation méthodologique. Le SIG devenu banal, il devient transparent. Une question se pose alors sur le statut de cette transparence. Est-elle le signe d'un apprivoisement des technologies SIG, ou d'une utilisation sans réflexion particulière d'outils techniques ? Un signe que cette deuxième réponse n'est pas à rejeter d'emblée est le peu de citations de la Revue Internationale de Géomatique dans les revues de géographie qui reflète « le décalage existant en matière de recherche entre les communautés de géographes et de géomaticiens » (CNRS 2004).

Il existe une production scientifique régulière sur le thème des SIG dans la littérature géographique française. Elle représentait ces dernières années 7 à 8 % des chercheurs, 5 % des articles, 5 à 7 thèses bon an mal an. Mais on n'observe pas à travers nos indicateurs cette déferlante de la géomatique sur la géographie dénoncée ou espérée par certains commentateurs. En tout état de cause, la place des SIG dans la production de la recherche géographique apparaît un peu en retrait de l'intérêt déclaré des géographes dans le Répertoire. Plusieurs explications peuvent être avancées. Il est possible que les SIG soient moins utilisés dans le domaine de la recherche en géographie que dans celui des études appliquées ou des travaux de gestion environnementale et d'aménagement, qui donnent plus rarement lieu à des publications scientifiques dans des revues générales. Une autre explication pourrait être que les géographes français écrivent moins sur les SIG dans les revues de géographie générale que dans d'autres supports plus spécialisés, et que la majeure partie de la littérature sur les SIG se trouve hors des revues traditionnelles. C'est la question de l'existence d'un noyau commun de la géographie en tant que discipline qui se pose alors, ainsi que la place des techniques géomatiques dans ce noyau.

Les 132 articles répertoriés couvrent une grande variété d'applications, de démarches et de domaines thématiques de la géographie. Ils illustrent le caractère multiforme des SIG qui peuvent servir à de multiples applications de recherche. Cette diversité participe aussi du sentiment général que l'on a des SIG dans la recherche française en géographie : une multitude d'expériences et d'approches, entre lesquelles le seul point commun semble être les outils employés. Or, si l'on prend le temps de réfléchir sur des clés de regroupement et de typologie,

on peut esquisser les lignes de forces qui structurent l'activité des SIG en géographie : un intérêt essentiellement méthodologique, avec une permanence des réflexions conceptuelles et épistémologiques ; un accent très appuyé sur les fonctions analytiques et un questionnement qui se reporte du thème de l'interrogation et de la visualisation vers celui de l'intégration et de la structuration des données ; un désintérêt général pour les questions liées à la dimension organisationnelle, à la gestion des projets et aux techniques informatiques. On peut aussi remarquer que coexistent dans cette littérature, à des niveaux d'intensité différents, les différentes vues classiques des SIG : le SIG comme logiciel, le SIG comme système de gestion de base de données, le SIG comme système d'information, et le SIG comme construction sociale. Un des enjeux pour les géographes serait certainement de mieux articuler ces vues complémentaires et d'en proposer une approche géographique plus intégrée.

3. Géomatique et géographie, débats et enjeux

Dans notre première section nous avons montré que l'idée d'une irruption soudaine des SIG dans la recherche en géographie est fautive. Ceux-ci ont fait l'objet d'une construction technique et conceptuelle lente et continue, dont les racines se trouvent dans les dernières machines mécanographiques et qui s'est poursuivie en élargissant son audience au fur et à mesure que les ordinateurs étaient plus faciles d'emploi pour finir par se banaliser avec le micro-ordinateur. Depuis l'origine, l'informatique géographique combine plusieurs questions : celle des bases de données géographiques, de la cartographie automatique, de l'analyse (spatiale) des données et de la modélisation. Ce travail continu ne s'est pas fait majoritairement en géographie, loin de là. Il a touché de nombreuses disciplines de recherche, les milieux industriels, l'administration et les collectivités locales. Les géographes y ont cependant toujours été présents, à différents titres : inventeurs de méthodes et de modèles, développeurs de programmes, collecteurs de données, producteurs de cartes, fournisseurs d'analyse, conseillers des planificateurs.

Les géographes n'ont pas simplement adopté les SIG comme outils. Ils ont contribué à l'élaboration conceptuelle de leur principe technique, créé des outils propres, réfléchi à leur mise en œuvre. Comme on vient de le voir dans le cas français, l'intérêt que les géographes portent aux SIG est d'ordre méthodologique et conceptuel, avant d'être utilitaire. Le rôle des SIG, leur place dans la discipline et leur impact sur les pratiques de la recherche en géographie ont été débattus. Nous allons tenter de reconstituer rapidement deux de ces débats. Inversant la chronologie, nous retracerons d'abord les arguments échangés dans la géographie française à propos des SIG puis nous tenterons une présentation synthétique de la violente et polymorphique controverse qui a traversé la géographie anglo-saxonne des 15 dernières années.

3.1. En France, un débat entre spécialistes

La question des enjeux et conséquences de l'utilisation des SIG en géographie a été posée très tôt dans la géographie française. Dès la fin des années 80, quelques critiques sont apparus à propos des SIG dans des articles de revue. Les ateliers du colloque Géopoint de 1994 constituent la première et unique retranscription d'un débat des géographes sur la question des SIG au moment de leur émergence (Groupe DUPONT 1994b)¹. Il s'agit parfois de réflexions construites mais le plus souvent d'incidentes ou de remarques allusives. En combinant ces différentes sources, nous avons tenté de mettre en évidence, en quelques points clés, les principales questions que posent à cette époque les SIG aux géographes².

SIG et création d'information

Tout un atelier de Géopoint est consacré à la collecte et à la production des données. La discussion tourne essentiellement autour du problème institutionnel de l'accès des chercheurs aux bases de données de l'IGN. Il ne s'agit pas d'une question spécifique des SIG, mais la diffusion de ceux-ci souligne le décalage de plus en plus important en France entre les capacités de traitement dont disposent les chercheurs et les données effectivement disponibles dans les bases de données officielles, compte tenu de la politique tarifaire et juridique adoptée. Les SIG ne semblent pas poser de problèmes techniques très différents du point de vue des données que les outils précédents. Aucune explication n'est fournie cependant au paradoxe soulevé par G. Feyt et J-P. Cheylan : pourquoi les SIG de recherche apparaissent-ils davantage dans le secteur de l'environnement où les données sont rares, que dans d'autres domaines tels que la recherche urbaine et la géographie socio-économique où elles sont plus abondantes ? (Groupe DUPONT 1994b). C'est pour nous le signe que la question des données, de leur production et de leur organisation devient centrale.

SIG et analyse spatiale

Selon S. Rimbart, les SIG n'ont pas à devenir la priorité des chercheurs, qui feraient mieux de se consacrer à l'amélioration de la sémiologie graphique dans les logiciels, à la diffusion des méthodes d'analyse spatiale et à l'étude des surfaces cartographiques (Rimbart 1989). Le caractère insuffisant et inadapté des fonctions analytiques des SIG est très souvent pointé mais selon Dumolard (1994), il peut être corrigé. Pour lui, vouloir se passer de la puissance des SIG serait rétrograde. Pour Charre, l'alternative est simple. Les SIG peuvent devenir « l'équivalent du Quid et alimenter des inventaires » ou « être associés à un ensemble méthodologique nécessaire à l'analyse spatiale » et s'intégrer dans une méthodologie géographique (Charre 1994). Pour Mathian et Sanders, l'intégration des méthodes d'analyse spatiale et de modélisation au sein d'un SIG serait une évolution d'ampleur aussi importante pour la géographie que la diffusion de l'informatique en géographie dans les années 1970 (Mathian et Sanders 1994). Le débat dans les Ateliers de Géopoint 94 met en évidence une opposition entre ceux qui doutent que l'intégration des outils de modélisation et des SIG soit possible (M. Le Berre) et ceux qui non seulement pensent le contraire mais défendent l'idée que les SIG, bien utilisés, sont même un facteur de facilitation et d'amélioration de la pratique de l'analyse spatiale (J. Charre, H. Mathian, D. Pumain, L. Sanders,).

¹ Pour ne pas alourdir le texte, nous renverrons aux interventions orales dans les Ateliers de Géopoint par un simple nom d'auteur, suivi de cette référence (Groupe DUPONT 1994b).

² Il s'agit d'une version complètement remaniée de la contribution que nous avons présentée au Colloque d'Orléans (Joliveau 2003)

Qu'apportent les SIG à la géographie ?

Les avis divergent sur les apports des SIG à la géographie. Pour certains, les SIG ne changent rien, ou presque. Ils permettent pourtant de faire la même chose qu'avant mais plus rapidement et donc de réaliser des traitements cartographiques que l'on ne réalisait en fait jamais (Voiron et Dagonne 1994). Pour H. Dao, les SIG sont le nouvel outil central de la géographie, même s'ils sont mieux adaptés à la prise en compte de la réalité dans ses aspects matériels, biophysiques et techniques que dans ses dimensions sociales et culturelles. Pour P. Dumolard (1994), l'intérêt des SIG est proportionnel à la place que le géographe accorde à l'information spatiale dans sa démarche. Un avis assez largement partagé est qu'ils permettent d'intégrer dans l'analyse des données hétérogènes, ce qui était impossible ou difficile à réaliser sans eux. J. Charre (1994) craint, on l'a vu, que les SIG ne produisent une régression idiographique de la discipline, conduisant par combinaisons successives de critères à différencier chaque lieu de son voisin : « Verticalement on combine des couches d'information, on entasse, on fait de l'inventaire. Il se dégage de cela une odeur qui rappelle un peu celle de la synthèse géographique, donc une odeur un peu rance ». Mais il remarque qu'il est possible aussi de les utiliser toujours "verticalement" pour explorer des covariations entre distributions spatiales et "horizontalement" dans une approche d'analyse spatiale en introduisant la notion de distance. D'autres pensent cependant qu'ils obligent à réfléchir sur ce qu'est vraiment l'information géographique. Pour Thériault (1996), le principal défi des SIG aux géographes est d'ordre conceptuel ; ils vont obliger ces derniers à formaliser des concepts, qui, bien qu'utilisés dans la discipline depuis longtemps, n'ont jamais reçu de définitions strictes et rigoureuses. L'intérêt des SIG pour l'enseignement de la géographie est aussi mis en avant.

Enfin, les critiques portent sur le risque d'hégémonie des SIG en géographie. Durand-Dastès s'inquiète du rôle central que l'on semble donner aux SIG, alors que c'est l'analyse spatiale qui lui paraît devoir primer dans le travail du géographe. Waniez, Vizintim et al. dénoncent la mode « tout SIG » et l'engouement irréfléchi pour un outil à tout faire qui prétendrait remplacer tous les autres (Waniez, Vizintim et al. 1993). F. Voiron et Dagonne (op. cit.) critiquent comme S. Rimbart en 1989 le syndrome de la base de données, piège que constituerait pour le géographe la quête de la donnée pour la donnée, indépendamment d'une problématique. Waniez, Vizintim et al. (op. cit.) pointent aussi le risque « d'ensiler » des données indépendamment de toute question préalable.

SIG et rapport de la géographie avec les autres disciplines

Certains soutiennent que les SIG renouvellent en la modernisant l'image de la géographie dans le grand public comme parmi les décideurs. Ils lui donnent aussi un nouveau statut dans le concert des disciplines : « Il est satisfaisant de voir qu'à côté des autres disciplines littéraires, où il n'y a pas de contrats avec l'industrie, la géographie se met au même plan que les disciplines scientifiques grâce aux SIG » (Guermond 1994a). Vidal (Géopoint 1994) pense qu'avec les SIG les géographes peuvent avoir un rôle de médiateur entre les concepteurs des systèmes et leurs utilisateurs, tels que les décideurs par exemple. Ils auraient aussi un rôle didactique en aidant les gestionnaires territoriaux à passer d'une culture sectorielle à une culture spatiale. T. Saint-Gérand et al. (1994), ainsi que plusieurs autres auteurs, insistent sur la nécessité impérieuse d'un travail commun entre thématiciens et informaticiens pour développer de nouveaux outils. Pour Thériault (op. cit.), les SIG sont des outils fondamentalement interdisciplinaires et les géographes doivent apprendre à travailler dans cet esprit. A. Ruas (1994) pense aussi que le croisement de données multi-sources permis par les SIG permettra enfin une interdisciplinarité des sciences géographiques, économiques et sociales. Mais dans les débats, une inquiétude latente est perceptible. Faute de compétences techniques, la maîtrise de l'information géographique ne risque-t-elle pas d'échapper aux géographes (G. Feyt) (Géopoint 1994) ? Les

géographes sauront-ils être à la hauteur des coûts et de la complexité technique de ces systèmes ?

SIG et géographie appliquée

Pour P. Dumolard, une géographie appliquée n'est crédible que si elle privilégie « la représentation et la communication de l'information spatiale comme moyens heuristiques de découverte, de validation et de diffusion ». Le SIG devient alors « l'outil incontournable » de cette géographie appliquée. P. Pottier (1994) est plus dubitatif. Pour lui, la conception de l'espace géographique que proposent les SIG est d'essence structuraliste et se limite à des relations d'ordre géométrique. Elle est peu adaptée « aux appréciations non visibles et immatérielles des dynamiques territoriales » qui sont dominantes en aménagement. La question politique n'est pas non plus oubliée, Y. Guermond conclut Géopoint94 sur le thème de la relation entre SIG et démocratie, qui lui semble moins une question d'outil que de volonté politique.

Un bilan

A la relecture de ces débats, on mesure combien dans leurs échanges, les intervenants se réfèrent à des conceptions différentes des SIG au sens de notre Parcours 1. Certains adoptent une conception *logiciel*, d'autres une conception *système d'information/base de données* et d'autres enfin une conception *méthodologie intégrée*. Les propositions et arguments passent sans cesse d'un niveau à l'autre, et l'on ne perçoit pas toujours à quoi il est fait référence : une méthode d'analyse, une technique quantitative, une fonction logicielle ? La définition des SIG n'est pas encore très affirmée.

Il ressort aussi très nettement de ce débat que nombre d'intervenants sont plutôt critiques et réservés par rapport à un usage généralisé des SIG en géographie. Une forte minorité les perçoit comme des outils complexes et lourds, au mieux insuffisants, au pire dangereux, la plupart du temps inadaptés à des problématiques géographiques. Pour de nombreux membres du Groupe Dupont, les SIG sont trop peu équipés en fonction d'analyse spatiale, et déficients du point de vue de la sémiologie. Surtout, ils mettent la question des données au centre de la problématique, ce qui est perçu comme une régression vers l'inventaire, la description, la compilation irréfléchie et non problématisée.

Ils apparaissent autant comme un risque que comme une opportunité pour la géographie, qu'on la nomme « quantitative », formalisée ou modélisatrice comme on voudra. Cette réaction était déjà celle de S. Rimbert en 1989. Elle critiquait les SIG car ils développaient les capacités de traiter les données sans diffuser en parallèle une culture de l'analyse spatiale et de la sémiologie graphique (Rimbert 1989). Pour elle, confrontés au développement très rapide de ces outils de gestion et d'aménagement, les géographes ne devaient pas se tromper de programme scientifique. La priorité n'était pas de céder au syndrome « des SIG et des Bases de données » ni de concourir à la promotion de systèmes qui n'avaient pas besoin des chercheurs pour cela. La priorité était de travailler au rattrapage des lacunes de la cartographie assistée par ordinateur.

L'explication de cette réticence ou de cette méfiance se trouve dans la nouvelle configuration de l'informatique géographique qui se met en place à la fin des années 80¹. Dominé par l'industrie et par les sociétés privées, piloté par les administrations et les collectivités locales, le secteur de l'informatique géographique change. La mise à l'écart de la recherche d'un système devenu essentiellement commercial est soit crainte (Guermond 1994b) soit revendiquée (Rimbert). Chez S. Rimbert l'analyse de ce changement de contexte prend l'allure de la fin d'une période :

¹ Une transcription burlesque et humoristique de cette période confuse se trouve dans (Miller et Thériault 1991)

« En un sens, le succès de la production commerciale géomatique est l'expression de l'intérêt de vingt années de recherche en géographie théorique et quantitative. En quelque sorte, les SIG sont le triomphe de deux à trois décennies d'analyse spatiale. (La façon dont les SIG sont utilisés est une autre histoire !) ». (Rimbert 1999).

Une question pourtant : les géographes n'ont-ils rien à dire à propos de cette autre histoire ?

3.2. Le débat de la géographie anglo-saxonne à propos des SIG

Cette question est abordée, entre autres, par le débat qui a agité la géographie anglo-saxonne tout au long des années 90. Débat n'est même pas le mot approprié. Il s'agit d'une véritable querelle scientifique, au ton virulent et polémique, qui vit s'opposer frontalement deux camps : les géographes de la géographie sociale et humaine d'une part et les géographes des SIG d'autre part. Il n'est pas possible de rendre compte ici des différents arguments échangés. Nous utilisons essentiellement l'article synthétique de Schuurman (2000) pour présenter les termes principaux d'une querelle complexe, qui eut plusieurs temps et fut marquée par des tentatives de conciliation plus ou moins réussies.

Le débat fut lancé au début des années 90, par Taylor (1990) qui mettait en cause la direction erronée que prenait la géographie sous l'influence du développement des SIG. Cette première attaque, et les réponses de défense ont contribué à établir une liste d'arguments visant à critiquer l'utilisation des SIG en géographie.

Le positivisme des SIG

Un premier reproche porte sur le *positivisme* des SIG à travers leur prétention à rendre compte d'un monde objectif sous une forme numérique et dans un système de données cartésien, qui les conduirait à trahir la complexité du réel, en oubliant l'irréductibilité de l'espace social et culturel et en écartant tout ce qui n'est pas observation ou expérience. Les SIG seraient ainsi épistémologiquement liés à un mode de raisonnement hypothético-déductif de type positiviste et écarteraient sans procès d'autres modes de raisonnement tout aussi valides (dialectique, déconstructiviste,...). Taylor parle de la pire forme de positivisme, l'empirisme le plus naïf. Cette critique de l'empirisme est aussi la critique de la géographie quantitativiste et modélisatrice et de la mouvance de la "science spatiale" qui a dominé la géographie-anglo-saxonne des années soixante. Ce qui sous-tendrait cette conception de la géographie est que les problèmes géographiques peuvent la plupart du temps se traduire sous la forme d'une description pertinente de la structures spatiale d'une distribution. La critique porte alors sur le caractère non théoriquement expliqué des modèles spatiaux mis en œuvre. Les SIG sont présentés comme un resourcement de la "science spatiale", qui s'était épuisée dans les années quatre-vingt et que les tenants d'une géographie marxiste, radicale et post-positiviste pensaient avoir éradiqué.

Réalisme naïf

Une autre critique porte sur le réalisme naïf qui caractériserait les spécialistes des SIG, assumant que les SIG représentent le monde « réel » de manière adéquate, même si c'est de manière imparfaite. La représentation spatiale des phénomènes est en effet un moyen de lier les théories scientifiques au monde réel (Schuurman 2002). Cela les conduirait à ignorer le fait que les SIG sont d'abord des constructions sociales qui dissimulent les jugements de valeur qu'ils stockent implicitement et qu'il existe des différences subjectives dans les manières de percevoir la réalité.

Anti-humanisme et naïveté politique

Les SIG conduiraient aussi à privilégier en géographie des questions techniques plutôt que les interrogations fondamentales de la discipline. Les recherches avec les SIG seraient pilotées par les données, le plus souvent de seconde main, sans théorie cohérente pour les guider. Elles seraient extrêmement dépendantes des intérêts privés ou des enjeux des pouvoirs locaux et nationaux et conduiraient leurs concepteurs à soumettre leurs travaux à des objectifs extrascientifiques, essentiellement pratiques et acritiques. On a ainsi beaucoup dénoncé le fourvoiement politique et éthique de la géographie des SIG dans la participation aux appareils de surveillance et d'encadrement des individus et des groupes. Son utilisation militaire a été mise en cause de manière très violente. On a par exemple associé les morts irakiens de la première guerre en Iraq à l'utilisation de technologies de l'information géographique (Smith 1992). Cette cécité porterait aussi sur les conditions humaines et sociales du monde virtuel et de la société numérique dont seraient porteuses les technologies de traitement de l'information.

La défense des géomaticiens

Les géographes des SIG ont répondu sur plusieurs plans. Ils ont d'abord mis en cause les compétences des "social scientists" à juger de matières techniques qu'ils ignoraient (S. Openshaw a même parlé « d'infirmités de l'ordinateur »). Ils ont discuté les méconnaissances des applications réelles des SIG qui sous-tendaient ces attaques et dénoncé un combat d'arrière-garde qui serait le reflet de stratégies de pouvoir pour le contrôle de la discipline géographique. Ils ont aussi avancé, un peu imprudemment peut-être, que la mise en œuvre des SIG par des géographes, et non par des informaticiens ou des ingénieurs, était justement la garantie d'une utilisation socialement adéquate des données et des outils. Ils ont défendu la légitimité d'approches scientifiques de type positiviste en sciences sociales et dénoncé l'obscurantisme d'une position qui refuserait non seulement « toute quantification mais même tout travail fondé sur l'utilisation de données » (Unwin 1994).

Beaucoup de spécialistes des SIG ont vu dans ces accusations l'expression extrême des errements anti-scientifiques et relativistes d'une certaine géographie post-moderne et déconstructionniste nord-américaine. Mais elles ont été cependant entendues comme un appel à mieux explorer la question des usages sociaux des SIG, qui est maintenant un domaine de recherche très développé outre-atlantique. Elles ont aussi conduit les géomaticiens anglo-saxons à réinterroger leur positionnement scientifique. C'est ce qui a conduit Chrisman par exemple à enrichir son cadre conceptuel des SIG des dimensions institutionnelles et sociétales (Chrisman 1997) (voir Parcours 1). Ces critiques ont aussi conduit aux programmes de recherche des "Public Participation GIS" analysés au Parcours 4. Enfin, elles ont contribué à la tentative de conceptualiser une Science de l'Information Géographique autonomisée par rapport à la Géographie.

Ce débat trouve au fond sa source dans le même malaise que celui des géographes français au début des années 90, mais il s'est exprimé dans un contexte différent. Les géographes américains et anglais étaient beaucoup plus impliqués dans la construction des outils de la géomatique. Celle-ci est devenue plus tôt et plus rapidement une activité économique florissante dominée technologiquement par les compagnies privées au service des pouvoirs locaux et étatiques. La question de la responsabilité des géographes dans les utilisations qui étaient faites de ces technologies s'est donc posée plus fortement. Et elle a été soulevée par les chercheurs les plus sensibles aux questions sociales liées à l'espace, les spécialistes de la géographie sociale et

culturelle¹. Même si la question de la séparation entre “GIS scholars” et “social scientists” s’est à un moment posée, il faut remarquer que la coexistence s’est organisée. Les publications des uns ont souvent laissé la place aux vues des autres. Par ailleurs les géomaticiens anglo-saxons n’ont jamais renié leur appartenance à la géographie.

3.3. Géomatique et géographie, les enjeux

Le projet scientifique de la géomatique

L’approche adoptée ici a conduit à laisser de côté une discussion approfondie du projet scientifique de la géomatique. C’est une question complexe, impossible à traiter en quelques lignes, mais il faut revenir sur quelques questions importantes.

Comme on l’a vu, la question d’une recherche en géomatique est apparue quand le développement de l’information spatialisée numérique et des outils informatiques mis en oeuvre pour la traiter a obligé à repenser sous forme d’un champ commun un ensemble d’activités plus ou moins autonomes jusqu’alors. Les géomètres, photogrammètres, topographes et cartographes travaillaient traditionnellement de manière indépendante, même s’ils échangeaient des résultats. L’hypothèse qui sous-tend le terme de géomatique est que la numérisation de l’information sur l’espace terrestre conduit, non à la fusion de ces métiers, mais à l’échange et à la compatibilité systématiques de leurs données, techniques, méthodes et outils. C’est très clair dans l’éditorial de 1993 qui salue le changement de nom de la Revue des Sciences de l’Information géographique (au pluriel) à la Revue de Géomatique (au singulier). « Le terme “géomatique” (...) tend de plus en plus à exprimer une approche synthétique qui associe à la matière du géographe, du géologue, du géodésien, du géomètre, etc., l’outil et la recherche informatique la plus actuelle où l’espace devient une composante essentielle de l’information à traiter et analyser. Un seul terme pour faire converger des approches qui demeurent trop souvent composites. N’est-ce pas, en soi, un beau programme ? » (Boursier, Cheylan et al. 1993). Convergence, intégration de métiers et d’activités diverses, la géomatique en tant que discipline des SIG s’est constituée dans les années 80 sur ces bases.

Au États-Unis, au Canada puis en France et dans le monde, la géomatique est devenue un véritable secteur d’activité, une industrie, qui regroupe les activités de photogrammétrie, d’arpentage foncier, de topographie, de géodésie de télédétection, de cartographie automatique et de base de données spatiales. Il est animé par des salons commerciaux, une presse spécialisée, des associations professionnelles, des forums sur Internet ... La géomatique apparaît comme une *technoscience* pour reprendre le mot de G. Balandier (Balandier 2001), mot qui traduit bien une activité orientée vers la production de nouvelles connaissances au moyen de « la traduction technologique des acquis sans cesse accumulés par l’activité scientifique, la conversion non différée de chaque découverte en outils plus performants, en moyens d’actions nouveaux et bénéfiques » (p. 41-42).

Le débat dans la géographie anglo-saxonne traduit la réaction méfiante d’une partie de la communauté géographique par rapport à cette technoscience triomphante. C’est une réaction du même ordre qui a conduit les géomaticiens français issus de la géographie comme de l’informatique à veiller à se placer en dehors de cette vague de la géomatique “industrielle et commerciale” et à travailler en amont, sur des questions et des concepts, des méthodes ou des outils non pris en compte dans les produits logiciels du marché. Il est très frappant de constater combien les chercheurs géomaticiens français participent peu aux activités du secteur professionnel de la géomatique. Ils se font rares, par exemple, aux salons et aux rencontres des

¹ C’est une particularité de la géographie, et un problème de cette situation, que les critiques soient de la même discipline que ceux qu’ils critiquent.

métiers de la géomatique et sont généralement peu actifs dans les listes de diffusion à caractère professionnel. Du point de vue de la recherche en informatique, cette coupure est une nécessité intrinsèque à la discipline qui ne pose pas de problème. Du point de vue des chercheurs issus de la géographie, cela peut se comprendre à la fois comme une continuation de la tradition de la géographie modélisatrice et quantitative (Rimbert 1999) et comme une volonté d'indépendance politique et conceptuelle par rapport aux intérêts commerciaux colossaux qui émergeaient. Mais cela se traduit par une coupure des chercheurs avec les usages et les usagers quotidiens et professionnels de la géomatique. La lecture des articles et des ouvrages de la GIScience nord-américaine montre un intérêt beaucoup plus large pour la communauté des utilisateurs des GIS, qu'il s'agisse de géographes académiques ou de cadres du privé.

Mais cette méfiance ne peut remplacer une réflexion scientifique sur le statut des connaissances produites. Vu de la géographie, une question se pose alors. La géomatique peut-elle être envisagée comme une nouvelle forme d'ingénierie géographique ? L'ingénierie géographique renvoie à une mission ancienne de la géographie, celle de la description et de l'inventaire de la surface terrestre. Longtemps le travail du géographe a consisté à mesurer, explorer et raconter la diversité du monde. Il s'agit de cette géographie fondamentale dont parle Lacoste (1980), celle d'avant la géographie moderne et scolaire. Les géographes sont alors autant des explorateurs que des savants. Dresser la carte d'un espace c'est permettre son exploitation et sa mise en valeur pour un État ou une compagnie industrielle. Ce n'est qu'ensuite, au XIXe siècle, que la tâche d'élaborer des cartes sera détachée de la géographie sous forme d'une discipline autonome, la cartographie. Si tous les géographes ne sont pas des explorateurs à l'égal d'Humboldt, cette géographie a nourri la vogue des sociétés de géographie et accompagné l'aventure coloniale. Il est d'ailleurs intéressant de constater que la constitution d'une géographie comme discours scolaire puis comme discipline « explicative » universitaire à la fin du siècle dernier coïncide avec la fin de l'exploration du globe.

Est-il exagéré de voir dans la géomatique, un nouvel avatar, à la mode informatique, de cette géographie fondamentale ? N'y a-t-il pas au cœur du projet de la géomatique l'idée de raccorder la géographie des ingénieurs et la géographie des professeurs ? Si l'aventure numérique de la fin du XXe siècle est moins risquée que l'exploration au XVIIIe siècle, elle a quelques points communs avec elle. Quand le géographe La Condamine part au Pérou en 1735, il est associé à un mathématicien, un astronome et un naturaliste. Il procède avec eux dans le même temps à la mesure très précise de l'arc du méridien terrestre, par force calculs, tout en analysant l'hydrologie et la forme des vallées, l'activité volcanique et les moeurs des habitants (Trystram 1993). Cette activité multidisciplinaire préfigure celle de la géomatique contemporaine, associant géographes, informaticiens, topographes et télédéTECTEURS. Un autre signe, même s'il est anecdotique, est le nom que se choisit le réseau de recherche français sur les sciences de l'information géographique, qui se constitue au début des années 1990 : "Coordination pour l'Analyse Spatiale et les Systèmes d'INformation géographiques Intelligents" : C.A.S.S.I.N.I. Clin d'œil à la fameuse famille d'astronomes et géographes qui réalisa la première carte topographique du Royaume de France. Cette géomatique là traite d'inventaires localisés, de constitutions de bases de données de référence, de méthodologies de description du réel, de modèles de données spatio-temporels, d'ontologies. Elle est associée à un nouveau mode de description de la surface terrestre, appuyée sur des données, des méthodes et des outils numériques. Les relevés ne concernent plus seulement la topographie mais tous les domaines : services techniques des communes, parcs naturels, gestionnaires de réseaux, opérateurs téléphoniques, compagnies de transports. Partout se constituent des bases de données numérisées, à différentes échelles et plus ou moins coordonnées entre elles. C'est d'ailleurs sa nouveauté : elle unit et standardise des pratiques d'ordres différents.

On comprend que ce programme d'ingénierie géographique ne passionne pas tous les géographes. La tradition explicative de la géographie savante, qu'elle soit formalisée et modélisatrice, qualitative ou empirique, ne se satisfait pas d'un programme perçu comme essentiellement descriptif et principalement technique. La tradition critique de la géographie sociale y voit même un projet dangereux.

Confrontés depuis le début à ce type de critiques et de réticences, les chercheurs de GIScience anglo-saxonne ont été conduits à approfondir leur réflexion épistémologique. On se référera ici au programme présenté par Longley, Goodchild et al (2001), qui se construit sur une opposition entre deux paradigmes scientifiques (Hills 1999) :

- Une approche scientifique correspondant au premier paradigme est spécialisée dans ses objets et ses thématiques. Sa curiosité scientifique est d'ordre plutôt théorique, à finalité objective et désintéressée. Elle est à la recherche de lois générales mais sans avoir d'obligation de réussite dans cet objectif. Le travail est fondé sur la neutralité et le caractère impersonnel du chercheur. Elle procède par suite de conjectures et de réfutations, selon des méthodes scientifiques anciennes et validées. Les publications se font de manière personnelle ou collective dans le cadre homogène de journaux scientifiques avec une évaluation par les pairs. Elle est pratiquée par des chercheurs de carrière, souvent permanents.
- Une approche scientifique relevant du second paradigme est au contraire à caractère holistique et non réductionniste. Elle répond à une mission plus stratégique et appliquée que théorique et elle est pilotée par le contexte et non par l'objet. Elle a des obligations de résultat. Elle est fondée sur une approche réflexive plutôt que sur des jugements absolus. L'organisation du travail est collective. Le cadre de publication est hétérogène et utilise beaucoup Internet. Une non-publication des résultats est envisageable pour des raisons d'avantage compétitif. Cette approche reflète le monde non académique, celui dans lequel travaillent la majorité des diplômés. Elle est pratiquée par des équipes mixtes de chercheurs et de professionnels qui s'assemblent en fonction d'une logique de projet.

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, Longley, Goodchild et al ne classent pas la géographie dans le premier paradigme et la géomatique (au sens de GIScience) dans le second. Pour eux si la géographie relève en effet du premier paradigme par son objectif général de recherche de vérités universelles, ses recherches souvent appliquées relèvent dans la pratique plutôt du second. A l'intérieur de la géographie, la géomatique travaille, elle, exclusivement dans le contexte du second paradigme. Ses travaux mobilisent souvent les sciences naturelles, les sciences sociales et les sciences économiques et permettent rarement de formuler des lois universelles, tout en utilisant ces dernières. Comme le travail interdisciplinaire en équipe est une nécessité, les valeurs et références des différents chercheurs en géomatique ne peuvent pas être semblables. Les projets associent aussi souvent des scientifiques et des acteurs parties-prenantes des problèmes. Les critères d'évaluation de la réussite des projets de recherche communs sont donc variables en fonction des équipes, et même en fonction des origines des différents membres à l'intérieur des équipes. Les chercheurs en géomatique peuvent et souhaitent souvent travailler successivement dans différents domaines d'application. Les formes de publication varient du simple rapport et du site Web à la publication académique.

Il n'est pas question d'accepter cette proposition sans analyse critique. Elle apparaît comme une tentative pour conceptualiser a posteriori une pratique scientifique des SIG qui pourrait s'extraire de cette démarche positiviste classique que les chercheurs en géographie sociale reprochaient à la géomatique. Elle est aussi fondée sur un modèle d'organisation institutionnelle

de la recherche complètement nord-américain. Pour notre part¹, ce paradigme correspond bien, dans certains de ses aspects, au contexte dans lequel nous avons mené les projets rapportés dans les parcours précédents. C'est le cas en particulier de la méthode de gestion paysagère que nous tentons de mettre au point dans le Parcours 2. Il s'agit de projets pluridisciplinaires orientés vers la résolution de questions pratiques et menés en liaison avec des acteurs ou des parties prenantes du problème. L'objectif est d'inventer ou, plus souvent dans notre cas, d'assembler de manière si possible innovante des solutions méthodologiques *ad hoc* répondant au problème donné. Pour comprendre la manière dont les questions se posent dans ce type de projet, prenons l'exemple des modèles spatiaux. Un géographe modélisateur n'a guère besoin d'un SIG : les outils ont de faibles performances et sont mathématiquement limités. Un SIG devient utile si la question scientifique interfère avec un problème concret, pose des questions multidisciplinaires, renvoie à une réalité spatiale complexe et nécessite impérativement une représentation spatiale du problème et des solutions envisageables (Goodchild 2003a). Ces problèmes nécessitent donc bien ce qu'on pourrait appeler une ingénierie géographique, ingénierie bigarrée et complexe, articulant des connaissances scientifiques générales et des savoirs vernaculaires, des méthodes naturalistes et des approches culturelles, des analyses sociales et des modèles spatiaux. Le géographe n'est certes pas un ingénieur, mais certaines des questions pratiques auxquelles il tente de répondre peuvent renvoyer à des questions fondamentales intéressantes, en géographie physique ou sociale comme en analyse spatiale.

Cette capacité à produire de la connaissance lors de la résolution de problèmes conduit nécessairement vers les épistémologies constructivistes (Le Moigne 1999) : « Le sujet connaissant ne représente pas des choses mais des opérations (ou des interactions) et la connaissance qu'il en construit par des représentations est elle-même opératoire, ou active » (Le Moigne 1999, op. cit. p. 69). Cela ouvre la question de la possibilité de sciences de la *conception* (Le Moigne 1990) ou de *l'intervention* (Goodchild 2003b) dont la géomatique pourrait relever. Ce mode de travail scientifique pose cependant de multiples problèmes, en particulier celui de la validation des résultats, comme nous l'avons vu dans le parcours précédent à propos des recherches sur les représentations spatiales. Cela conduit à renouveler la problématique de la géographie appliquée, telle qu'elle se posait traditionnellement (Philipponneau 1999). Nous n'irons pas plus loin dans cette direction.

Une question importante est de savoir si un tel contexte épistémologique est compatible avec la culture scientifique des géographes de la modélisation et de l'analyse spatiale. Il conduit en effet à travailler en fonction d'applications pratiques et applicables assez rapidement, même s'il est possible d'articuler des travaux théoriques et fondamentaux aux temps de retour plus longs, ce qui demande un dispositif de recherche plus complexe. La géomatique, qui regroupe en plus des informaticiens et des géographes, des agronomes, écologues, hydrologues ... apparaît comme un bon cadre de travail pour ce type d'approche mais elle devrait s'ouvrir encore à des spécialistes de sciences humaines et sociales : sociologues, historiens, économistes ...

Le rapport des géographes à l'informatique

Les critiques des SIG du débat anglo-saxon auront sans doute rappelé d'autres débats plus anciens. P. George était parti en 1972 à l'assaut de « l'illusion quantitative en géographie » (George 1972). Il est frappant de constater que nombre de ses arguments correspondent point par point à ceux des critiques actuels des SIG.

1^{er} argument : Avec l'informatique, « le mesurable devient objet majeur, sinon exclusif, de

¹ Mais il nous semble que c'est une posture adoptée aussi par des chercheurs plus directement orientés vers l'analyse spatiale. Voir par exemple l'intervention de D. Josselin au colloque d'Orléans en mars 2003 et l'ensemble des travaux de S. Lardon.

recherche » et le problème principal devient celui de la mobilisation et de l'exploitation des données. L'outil informatique induit toute une méthode de recherche. Il est indissociable d'une approche déductive, fondée sur la vérification d'hypothèses a priori : « On mesure ce que l'on veut mesurer parce que l'on a fait un choix théorique préalable. Et l'on écarte explicitement ou implicitement ce qui n'entre pas dans le schéma conceptuel initial. ». Il y a donc un risque « à confier à la machine le soin de cautionner une opinion ou une thèse, plus que de prospecter un inconnu » et on découvre souvent ce que l'on a consciemment ou inconsciemment évoqué au départ. La géographie étant une science d'observation « qui doit garder son indépendance à l'égard de tout a priorisme », les méthodes deductives doivent être cantonnées « aux recherches de spécialités préalables à l'étude géographique ». La géographie, elle, dresse *in fine* les bilans de ce que peuvent apporter toutes les méthodes de recherche y compris celles qui se fondent sur l'intuition.

Les SIG sont là plutôt du côté de P. George contre la science spatiale. On a vu que les géographes de l'analyse spatiale leur ont reproché justement leur incompétence dans les questions d'analyse et leur caractère d'outils fourre-tout et empiriques. Leur utilité dans une exploration non dirigée d'une base de données leur vaudrait peut-être l'absolution (!) de la part de P. Georges. On a vu cependant des défenseurs des SIG défendre à la fois l'intérêt d'une démarche hypothético-déductive fondée sur des raisonnements à partir de modèles de données spatiaux appliqués à un jeu de données, et une approche inductive utilisant les bases de données géographiques constituées dans les SIG des agences publiques ou des sociétés privées pour tester les modèles de la science spatiale afin de répondre à des questions d'ordre pratique.

2^{ème} argument : « Une géographie quantitative repose sur des données incomplètes et fausses ». Les données numériques qu'utilise le géographe sont entachées de toute une série de biais qui les rend inutiles ou trompeuses. Elles ont été collectées à des fins pratiques et non scientifiques. Les données administratives ou les fichiers industriels ont finalement un intérêt limité dû au caractère sectoriel des objectifs auxquels ils répondent, aux erreurs d'enquête, aux contraintes budgétaires, aux réticences ou falsifications des enquêtés, etc.. En définitive, « les données statistiques séduisantes par la rationalité du chiffre n'apportent que des approximations plus ou moins biaisées dans des sens variés par la subjectivité même de leur objet ». Par ailleurs, pour améliorer ces données, le géographe est obligé de se livrer à des ententes et des compromis avec les organismes producteurs, « ce qui constitue une autre forme de déviation de la recherche pure vers des objectifs partiels de caractère conjoncturel, mais rentables ».

L'extrême dépendance des SIG par rapport aux intérêts privés ou aux enjeux des pouvoirs locaux et nationaux et le risque de la déviation des objectifs de recherche pour des raisons politiques ou financières est un vieux classique de la critique anti-SIG.

3^{ème} argument : « Il est superflu de répéter que certains de ces faits et de ces éléments ne sont pas saisissables par le calcul ou que leur dimension échappe à la formulation mathématique, des facteurs religieux, nationaux, des mentalités, des structures sociales, des niveaux d'instruction, des états sanitaires et endémiques, par exemple. » Toute situation géographique à expliquer combine « des données mesurables et des variables incommensurables. L'influence de ces dernières est, sinon décisive, du moins toujours importante. » Pour George les ensembles complexes que sont un paysage naturel ou une société, s'ils sont composés d'éléments mesurables, n'ont pas en propre de dimension, ne peuvent s'exprimer en formule numérique.

Il s'agit là de l'argument classique des représentations sociales, culturelles, esthétiques et idéelles qui ne peuvent être correctement encodées dans les SIG.

4^{ème} argument : « Les plus précieuses des données servant à la qualification et à l'interprétation d'une situation sont les virtualités, les tensions, les contraintes chargées de possibilités multiples

entre lesquelles le « hasard » historique tranche. Se condamner à les ignorer est faire une géographie stérile sans valeur prévisionnelle ou prospective. (...) C'est aussi dissocier, et de façon purement abstraite, la géographie et l'histoire en revenant à une conception abandonnée il y a plus de vingt ans, suivant laquelle la géographie donnait l'image d'équilibres immuables – à l'échelle humaine – dont l'histoire récente a montré toute l'inanité ».

La difficulté à prendre en compte correctement les dynamiques temporelles est une faiblesse reconnue par les spécialistes des SIG et constitue un des programmes de recherche actif du domaine.

5^{ème} argument : « On présente souvent un faux dilemme. Si le géographe ne participe pas à l'élaboration des données, c'est-à-dire à la préparation des programmes (...) il ne saurait en conséquence se plaindre de leur inadéquacité (sic) à ses recherches. (...) S'il se place au rang des techniciens programmeurs ou préprogrammeurs, il sectorialise son action, et au lieu d'être juge des pièces du procès, prépare une plaidoirie, défend une thèse. Il a aliéné son indépendance au bénéfice d'une idéologie, celle qui commande le choix de l'hypothèse à modéliser. »

L'argument de la nécessaire compétence informatique pour juger de la recherche en SIG a été un argument de défense des défenseurs des SIG. Cet argument renvoie aussi au second.

6^{ème} argument : P. George ne rejette pas « cet instrument prestigieux » qu'est l'ordinateur, pas plus qu'il ne rejette l'avion mais « les méthodes quantitatives appliquées à des faits d'intérêt géographiques (...) sont un instrument de documentation. Leur traitement d'ailleurs est du ressort des techniciens de la documentation et d'opérateurs de calculs (il n'est pas sans utilité que les premiers, dans la mesure où ils sont appelés à traiter des données d'intérêt géographique, aient une culture géographique). Le travail proprement géographique se situe à l'aval de celui du documentaliste. »

30 ans plus tard, certains continuent à s'inquiéter d'une dérive technique de la géographie à cause des SIG (voir plus loin).

Ce qui est saisissant dans ce texte de P. George est que les arguments pour ou contre l'informatique géographique n'ont pas changé en trente ans – le débat anglo-saxon l'a prouvé et on l'entend tous les jours dans les couloirs des universités – alors que le niveau d'informatisation de la société, les techniques informatiques et les outils géographiques n'ont strictement plus rien à voir avec ceux d'alors. On a l'impression que le rapport à l'informatique d'une majorité de géographes s'est en quelque sorte figé, et ne se corrige guère malgré le rajeunissement des cadres. On pourra en conclure que c'est simplement P. George qui avait raison : la pratique de l'informatique est accessoire en géographie, ce que les géographes prouvent tous les jours. Nous nous inquiéterions nous plutôt de la cécité de ceux qui peuvent tenir imperturbablement pendant 30 ans un discours sur un objet en aussi forte évolution. Et nous gardons pour la fin le 6^{ème} argument de George : « Le propre de l'ordinateur et des méthodes quantitatives est de conditionner toutes les réalités humaines au gabarit de modèles : n'est-ce pas le sort des villes modernes et le rêve de certains urbanistes technocrates ? Mais les réactions de l'espèce sont imprévisibles à l'égard d'une mise en carte perforée totale de toute la condition et de toute la quotidienneté humaine. Et c'est encore être géographe que d'étudier ces réactions en chaque moment et en chaque lieu. » A l'heure où la Terre est numérisée plusieurs fois dans des bases de données, peut-on être géographe au sens de P. George, et continuer à refuser de considérer par principe des outils qui donnent accès à cette nouvelle réalité humaine ?

Cette réticence d'un grand nombre de géographes à l'informatique a des conséquences très dommageables sur la diffusion d'une culture géographique dans l'usage des SIG. Elle s'explique par deux problèmes connexes. Le premier est lié à une méconnaissance des questions de mesure et de quantification. On l'impression que dans l'esprit des étudiants, et plus tard des

chercheurs, il existerait deux univers différents en géographie, l'univers du qualitatif (avec un petit q) et l'univers du Quantitatif (avec un grand Q). Le choix de l'univers dans lequel on va vivre sa vie de géographe se fait tôt, avant le bac et pour la vie ... J. Charre a montré pourtant de manière lumineuse que pour ce qui compte, c'est-à-dire le traitement d'une information géographique au sens le plus large du mot, l'important est moins l'opposition qualitatif/quantitatif que la distinction informel/formel qui met au centre de la démarche scientifique la question de la formalisation du raisonnement géographique, y compris au moyen de nomenclatures qualitatives (Charre 2000). La deuxième question est celle de la culture informatique des géographes, qui prolonge cette question. En effet comme le remarque Charre, les SIG ont au moins eu une conséquence favorable. Ils ont contribué à mettre de l'ordre dans la conception de l'information géographique. De ce point de vue, ils devraient donc être enseignés extrêmement tôt en géographie, non pas pour des questions de mode, mais parce qu'ils contribuent à formaliser les traitements de l'information sans nécessairement procéder à une quantification nécessitant des compétences mathématiques élevées. Leur emploi nécessite essentiellement une logique de définition, de classement, d'organisation portant sur des entités ou des traitements. Mais l'équation simple qui demeure dans les esprits depuis l'âge du FORTRAN (ordinateur = Quantitatif), ajouté au fait que l'on enseigne étrangement les techniques selon l'ordre de leur apparition dans l'histoire de la géographie fait que le niveau de formation des étudiants géographes aux SIG reste faible.

La question de la formation sérieuse des géographes aux outils de l'informatique est centrale pour une meilleure utilisation des SIG en géographie et une meilleure participation des géographes au projet de la géomatique. Pour en être triviale, elle n'en est pas moins fondamentale.

Les enjeux de la géomatique dans la géographie française

Les SIG, une dérive technique de la géographie ?

On peut penser que la teneur du débat anglo-saxon sur la place des SIG dans la géographie est très liée au contexte spécifique de la géographie nord-américaine. En regard, la puissance de la géographie de l'analyse spatiale française n'a rien à voir, l'industrie géomatique reste encore sous-développée et la géographie sociale est peu tournée vers l'étude des objets techniques. Pourtant, on a vu apparaître quelques velléités de critique des SIG venant de la géographie culturelle et sociale française. Staszak écrit par exemple que «... de plus en plus d'étudiants en géographie se tournent vers la cartographie et les SIG, fascinés par la puissance et le prestige de ces outils, mais également en réponse à la demande croissante des entreprises et des collectivités locales. Les publications techniques sur ces sujets se multiplient. Sur le plan épistémologique, ceci correspond à un glissement dangereux. (...) La dérive de la géographie vers les SIG risque de réduire la discipline à une technique de manipulation de données, abandonnant à d'autres le soin (et la responsabilité) de poser les bonnes questions, de construire les bonnes interprétations. » (Staszak 2001a), (p. 86-87). Cela peut apparaître comme une version édulcorée de la critique des social scientists anglo-saxons. Ceux-ci étaient plus radicaux. Ils ne parlaient pas de dérive technique mais de déviance complète, d'erreur à la fois « ontologique, épistémologique, méthodologique et éthique » (Sui 1994). Mais, surtout ces critiques étaient reliées, pour les plus intéressantes d'entre elles, à des observations et des enquêtes précises et à une connaissance concrète des outils et applications en cause. Est-ce bien le cas en France ?

Est-il raisonnable de craindre une dérive technique de la géographie française ? L'analyse quantitative des travaux présentée plus haut conduit à dissiper l'idée d'une dissolution de la géographie dans la géomatique. Il semble qu'une fois retombé l'effet de la nouveauté, une sorte d'indifférence épistémologique et méthodologique se soit installée chez la majorité des

géographes français vis-à-vis des SIG. Le débat plutôt technique de “Géopoint94” n’a pas mobilisé au-delà des praticiens des SIG, de l’analyse spatiale et de la modélisation. Aucun nouveau débat n’a eu lieu depuis, et pas non plus d’article, de discussion ou d’échange formel à propos de la place, du rôle, de l’intérêt, des contraintes ou des dangers de ces outils dans la discipline à différents niveaux : formation des géographes, organisation de la recherche, travail interdisciplinaire, effets politiques sous-jacents, nouvelles formes d’expertise en aménagement et gestion environnementale... Les questions de fond sont rarement abordées. Pourtant les SIG n’ont jamais été autant utilisés dans la gestion territoriale, l’environnement, l’aménagement. Leur utilisation se banalise rapidement dans les disciplines voisines (archéologie, écologie, agronomie, hydrologie, économie spatiale ...). La diffusion des SIG dans la société et la recherche en France multiplie les exemples concrets à observer et devrait justement donner lieu à une multiplication des recherches.

Pour de nombreux géographes français, les SIG sont essentiellement un domaine technique dans lequel les étudiants trouvent des débouchés professionnels. Pour d’autres, ils constituent un outil utile pour stocker les données nécessaires à l’analyse spatiale, la modélisation ou la cartographie. Pour peu d’entre eux, ils constituent un objet de questionnement, pour ne pas dire de recherche pleinement géographique. Le nombre de géographes français impliqués dans la géomatique reste faible et n’a guère tendance à augmenter. Les études de la géomatique n’intéressent pas beaucoup les géographes au-delà d’un petit noyau. Les géographes semblent peu lire d’articles de géomatique, et ceux qui le font sont essentiellement les spécialistes intéressés par les questions de formalisation et de modélisation présents à “Géopoint94”.

Pour le coup, c’est cette indifférence méfiante de la majorité qui risque finalement d’être la cause de la dérive technologique soi-disant redoutée. La coupure entre géomaticiens et géographes risque en effet de s’étendre. Les géographes non spécialistes vont se trouver incapables de suivre le développement des techniques géomaticiennes. Et les liens des géographes-géomaticiens avec leur discipline d’origine se distendront. La pratique des SIG par les géographes se trouvera déconnectée à la fois des travaux théoriques en géomatique et de l’avancée théorique, conceptuelle et critique de la géographie. Les systèmes d’analyse et les bases de données spatialisées se feront sans esprit géographique. Quant aux bonnes questions et aux bonnes interprétations à faire avec ces outils, ce seront les spécialistes d’autres disciplines ou des équipes interdisciplinaires sans géographes qui les poseront et les donneront. Sans faire preuve de machiavélisme, on peut même se demander si cette coupure n’est pas le souhait secret de J-F. Staszak. Introduire un recueil de texte intitulé *Géographies anglo-saxonnes, tendances contemporaines* (Staszak, Collignon et al. 2001) par un exposé exclusivement consacré au courant post-moderne de la géographie américaine (Staszak 2001b), n’est-ce pas implicitement rejeter en dehors de la géographie l’autre grand courant actif (et antagoniste, on l’a vu) qu’est la Geographical Information Science ?

Un projet géomatique en géographie

Régulièrement, des appels ont été lancés pour prévenir les géographes du risque d’être exclus du prochain train de l’informatique géographique. 1969, S. Rimbart : « Faut-il laisser aux ingénieurs, aux architectes, aux sociologues, le soin de multiplier des expériences qui pourraient tout aussi bien être dans leur domaine. Les géographes ont-ils une place ? » (Rimbart et Lengellé 1969). 1994, Y. Guermond : « Est-ce que ça ne va pas se passer en dehors de nous ? Est-ce qu’on ne va pas devoir ramasser les miettes ? » (Guermond 1994b). 2001, M. Thériault : « Les géographes peuvent-ils se permettre d’être virtuellement exclus de tous ces domaines d’application parce qu’ils n’ont pas acquis les habiletés techniques et les connaissances fondamentales nécessaires ? » (Thériault 2001). Ceci dit, Thériault analyse très bien les enjeux de la géomatique et les handicaps dont souffre la géographie québécoise pour y répondre dans

de bonnes conditions. Si la situation est un peu différente de ce côté de l'Atlantique, les difficultés sont analogues pour des géographies qui relèvent des sciences humaines, contrairement aux géographies britannique et du nord de l'Europe : une insuffisance de formation en mathématique et en sciences, une formation géomatique tournée vers l'utilisation d'outils plus que vers la connaissance des principes et des concepts et un manque « d'arrimage conceptuel entre les concepts de la géographie et les principes fondamentaux des SIG » (Thériault, op. cit.).

Ces insuffisances ont des répercussions au niveau de la concurrence des géographes avec les spécialistes d'autres disciplines dans deux domaines qui sont liés : l'emploi des diplômés et la recherche. Au Québec, Thériault distingue deux types de géographes diplômés : pour une majorité, ils ont été seulement initiés à la géomatique et suivent des recettes pratiques. Leur formation est insuffisante pour détecter les problèmes conceptuels et ils pourraient devenir, individuellement, ces techniciens non critiques dont parlait Staszak. Les seconds sont une minorité ; ils maîtrisent la technologie géomatique, les méthodes d'analyse spatiale et les approches formalisées. Ils sont capables d'élaborer des approches adéquates à l'étude des dynamiques spatiales et les relations entre les phénomènes géographiques. Le problème pour Thériault est que la perception de la compétence des géographes en géomatique au Québec est fortement liée à la survisibilité de la première catégorie, qui est la plus nombreuse.

Si on trouve aussi en France ces deux types de profil, il nous semble que cette typologie, qui présuppose un continuum qui irait du technicien au concepteur, ne correspond pas tout à fait au marché de l'emploi de la géomatique tel qu'il se développe en France. Les profils sont plus diversifiés, aussi bien côté technique que conception. Ils dépendent de la position fonctionnelle du spécialiste SIG, qui peut être variable, comme nous l'avons rapidement évoqué dans le Parcours 1. Ces profils sont d'ailleurs en évolution permanente au fur et à mesure des changements de la technologie et des restructurations organisationnelles liées à la diffusion des SIG. Par ailleurs pour les géographes, les débouchés professionnels de la géomatique sont traditionnellement en France en concurrence avec ceux des concours pour l'enseignement primaire et secondaire, ce qui complique encore un peu plus l'élaboration de programmes de formation en géographie.

Du point de vue de la recherche, il est amusant de constater que Thériault prévoit, comme Staszak mais pour des raisons opposées, qu'avec la diffusion des SIG dans la société comme dans les autres sciences, les champs d'expertise traditionnels des géographes vont être investis par les sciences connexes (mais la connexité disciplinaire de Thériault n'est peut-être pas celle de Staszak !). C'est pourquoi il propose pour la géographie québécoise une stratégie d'ouverture résolument interdisciplinaire vers les SIG, dans un esprit de partage des expertises et de collaboration avec les autres sciences. Pour lui, les géographes ne doivent surtout pas abandonner le front de la recherche méthodologique, s'ils veulent dans le futur continuer à disposer d'outils adaptés à une problématique géographique. Du point de vue de la géographie française c'est tout l'enjeu de la géographie de la modélisation et de l'analyse spatiale que de relever ce défi dans le cadre renouvelé de la géomatique. Le principal facteur dirimant nous semble être le niveau mathématique, scientifique et informatique des étudiants géographes. Ce problème est habituellement tourné par le recrutement dans des formations de troisième cycle en géographie d'étudiants venant de disciplines plus mathématisées et qui sont formés à la géomatique dans des instituts de géographie. C'est une bonne chose sur le fond, mais cela ne facilite pas cet « arrimage » nécessaire entre les concepts de la géomatique et les concepts de la géographie. D'un point de vue plus pratique, cela a aussi pour conséquence d'élargir encore la distance entre les géomaticiens et les géographes. Les premiers travaillent sur les concepts, les méthodes et les outils d'après-demain tandis que les seconds utilisent au quotidien les concepts,

les méthodes et les outils d'avant-hier. On en vient à faire l'impasse sur les enjeux méthodologiques et techniques d'aujourd'hui.

C'est pourquoi à côté de cet axe méthodologique, il nous semble nécessaire de porter au feu de la géomatique un deuxième fer, celui de l'analyse des *usages techniques, politiques et sociaux de l'information géographique dans la société contemporaine*, envisagée comme une question scientifique à part entière. Il s'agit d'un problème éminemment géographique et qui permettrait de mobiliser sur des questions géomatiques d'autres géographes que les méthodologues et les modélisateurs. Les méthodes de la géographie sociale et culturelle sont efficaces dans un tel projet comme l'ont montré les travaux de Roche (2000) à propos de la gestion du territoire des collectivités locales et – nous l'espérons du moins – nos recherches des parcours 2, 3 et 4 du présent mémoire. Les géographes ne sont pas forcément les plus mal placés pour travailler dans ce domaine, comme le montrent, par exemple, les travaux sur les rapports entre espace et technique de Santos (1997). Là encore, les enseignements du débat de la géographie anglo-saxonne peuvent nous faire gagner du temps. L'idée qu'il est nécessaire d'analyser des systèmes techniques tels que les SIG, de l'extérieur et à distance, comme le ferait un sociologue par exemple, a été petit à petit abandonnée (Schuurman 2000). Pour ne pas rester purement théorique et académique, une analyse critique de l'usage des SIG doit pouvoir s'exprimer depuis une position de géographe, dans un langage et selon des catégories compréhensibles et recevables par les praticiens et concepteurs de ces systèmes. Ceci milite donc pour une meilleure formation aux concepts des SIG de tous les géographes, qu'il s'agisse des futurs professionnels, méthodologues et modélisateurs de la géomatique mais aussi des futurs spécialistes de géographie physique, sociale et culturelle, et enfin des enseignants, car c'est notre devoir de donner aux citoyens les codes et les outils pour décrypter le monde numérique.

Encore faudra-t-il avoir un véritable débat à propos de cet "arrimage" conceptuel entre géomatique et géographie. S'il ne vise qu'à associer le SIG/objet technique à une "science spatiale" plus ou moins renouvelée, cela ne peut que contribuer à creuser le fossé entre géomaticiens–géographes et géographes. Si on l'envisage *aussi* comme une association entre le SIG/construction sociale et une géographie critique de la technique, les deux approches travaillant de concert selon un paradigme voisin de celui décrit plus haut, mais qui est encore à inventer, il y a une chance de contribuer par la géomatique à un renforcement de la géographie.

4. Orientations

4.1. Faire le point

C'est un questionnement personnel sur l'origine de notre cadre de travail actuel qui nous a conduit à cette revue bibliographique à caractère historique, très incomplète et critiquable, mais qui a justement été écrite pour être corrigée, complétée, discutée. Dans un milieu très oublieux du passé même récent, et à l'affût de la dernière nouveauté, même la plus futile, il nous semble indispensable et sain de donner une vue du chemin parcouru. Celle-ci permet de prendre conscience de la permanence des thèmes dans les débats qui ont animé les géographes autour de la question de l'informatique géographique.

Notre implication personnelle dans les SIG s'est faite, tout comme celle de nombreux autres chercheurs, au moment de l'explosion commerciale et industrielle de la géomatique. Cette rapide reconstruction historique nous a fait prendre conscience que cette explosion correspondait pour les géographes à une déstabilisation complète d'un champ de recherche organisé depuis des années. C'était à la fois une preuve de la qualité du travail accompli dans le développement d'outils informatiques pour l'analyse spatiale, mais aussi un dessaisissement pour des usages non prévus, et enfin, par certains côtés, une trahison : ces outils commerciaux

qui se diffusaient toujours plus vite et plus nombreux étaient en effet loin de ressembler à ceux dont les chercheurs avaient rêvé, et même parfois ceux qu'ils avaient construits dans leurs laboratoires.

Le principal mérite du bilan quantitatif de ce parcours est de proposer une pesée globale du thème géomatique dans la géographie, et non chez les géographes, puisque seuls les travaux visibles en géographie sont présentés. Malgré son caractère approximatif et ses biais certains, il illustre le caractère solide, quoique très minoritaire, de la géomatique en géographie. Ce qui est plus inquiétant est le fait que l'intérêt pour la géomatique semble y croître moins vite dans le domaine de la recherche que dans celui des applications professionnelles. Par ailleurs le fossé qui existe en France entre géographes et géographes-géomaticiens ne paraît pas en voie de se combler, ce qui nous semble poser un problème grave pour la discipline. Dans l'analyse des enjeux de la géomatique et de la géographie, il est évident que ce qui est présenté ici n'est qu'une esquisse. Mais il nous semble que la proposition de deux axes de travail géographique en géomatique, le premier sur les méthodes et le second sur les usages, serait une bonne manière de conforter à la fois la place de la géomatique dans la géographie et celle de la géographie dans la géomatique.

4.2. Directions

Notre travail historique exploratoire nous amène à penser qu'une reconstruction approfondie et problématisée de la diffusion de l'usage de l'informatique dans la géographie française de 1970 à 1990, c'est-à-dire dans sa période pré-géomatique, ainsi que de la teneur des débats méthodologiques qui l'ont accompagné, est un projet scientifique qui contribuerait de manière utile à l'histoire de la discipline. Cela nécessite bien sûr une enquête d'une autre ampleur que celle à laquelle nous avons procédé. Un tel projet devrait trouver un cadre institutionnel recevable et ne peut s'élaborer que de manière collective, avec la participation active du plus grand nombre possible des chercheurs qui ont participé activement à cette aventure intellectuelle.

Il ne nous semble guère utile d'aller plus loin sur le terrain de l'évaluation quantitative de la place de la géomatique en géographie, sauf à compléter l'échantillonnage de textes par ceux collectés depuis dans le *Bulletin de l'Association des Géographes Français* et dans *Géomorphologie*, ce qui élargit la base de sondage. En revanche, nous envisageons une analyse des données approfondie du Répertoire des Géographes, pour comprendre plus finement la logique, si elle existe, de l'évolution des mots-clés liés aux SIG (cartographie, cartographie automatique, statistique, analyse spatiale, modélisation, etc..).

Pour ce qui est des enjeux géomatiques en géographie (et réciproquement), les directions des thèmes de recherche de nos parcours 2, 3 et 4 sont autant de voies tracées sur le thème des usages techniques, politiques et sociaux de l'information géographique.

5. Bibliographie

- Balandier G.** (2001). *Le Grand Système*. Paris, Fayard. 272 p.
- Baudoin A.** (1997). *La sémiologie graphique à l'épreuve du froid. L'introduction de la sémiologie graphique en Norvège ; réflexions d'un acteur.*, in 30 ans de Sémiologie graphique, Cybergéo.
- Bergeron M.** (1992). *Vocabulaire de la géomatique*. Québec, Office de la langue française.
- Berry B. J. L.** (1958). *Shopping Centres and the Geography of Urban Areas. A Theoretical and Empirical Study of the Spatial Structure of Intra-urban Retail and Service Business*. PHD Thesis, University of Washington.

- Berry B. J. L. et Marble D. F.**, Eds. (1968). *Spatial Analysis, a reader in statistical geography*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 512 p.
- Birrien J.-Y.** (1990). *Histoire de l'informatique*. Paris, PUF. 126 p.
- Bonin S.** (1997). *Le développement de la graphique de 1967 à 1997*, in 30 ans de Sémiologie graphique, Cybergéo.
- Boursier P., Cheylan J.-P. et Rouet P.** (1993). Editorial. *Revue internationale de géomatique* Vol. 3 n°1-2: 7-9.
- Breton P.** (1987, 1990). *Une histoire de l'informatique*. Paris, La Découverte, Seuil 1990. 261 p.
- Brocard M., Pumain D. et Rey V.** (1977). Analyse de données : traitements visuels et mathématiques. *L'Espace Géographique* n°4 1977: 247-260.
- Brossard T. et Tourneux F.-P.** (1986). *DIGICART : logiciel de cartographie assistée par ordinateur*, in 4ème Colloque Européen de Géographie Théorique et Quantitative, Eindhoven, 9-13 septembre 1986, Brouillons Dupont, 14-1986. 17-25.
- Brunet R.** (1977). Perception et calcul dans l'analyse typologique. *L'Espace Géographique* n°4 1977: 260.
- Brunet R.** (1999). *Le GIP RECLUS*. 2004. <http://www.mgm.fr/ARECLUS/gipf.html>
- Bunge W.** (1962). *Theoretical Geography*. Lund, Sweden, Gleerup.
- Burrough P. A.** (1986). *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford, Clarendon press. 194.
- Cauvin C. et Rimbert S.** (1976). *Les méthodes de la cartographie thématique, fascicule 1: la lecture numérique des cartes thématiques*. Fribourg, Suisse, Editions Universitaires de Fribourg. 172 p.
- Chadule G.** (1994). *Initiation aux pratiques statistiques en géographie*. Paris, Masson, 3ème édition, 1ère édition : 1976. 203 p.
- Charre J.** (1994). *SIG, analyse spatiale et modélisation*, in Géopoint 94, S.I.G., Analyse spatiale et aménagement, Université d'Avignon, 25-26 mai 1994, Faculté des Lettres et Sciences Humaines. 37-42.
- Charre J.** (1996). Applications et implications de l'informatique in *Concepts et composantes de la géographie physique*. M. Derruau. Paris, Armand Colin.
- Charre J.** (2000). Quantitatif, qualitatif et informel en information géographique. *L'espace géographique* (2000-3): 273-278.
- Charre J. et Dumolard P.** (1989). *Initiation aux pratiques informatiques en géographie, le logiciel infogéo*. Paris, Masson. 199.
- Charre J., Miellet P. et Waniez P.** (1991). *Pratique des systèmes d'information géographique raster*. Montpellier, G.I.P. Reclus. 56 p.
- Chauviré Y.** (1977). L'utilisation des matrices ordonnables par les géographes français (1967-1976). *L'Espace Géographique* n°4 1977: 261-267.
- Chrisman N.** (1988). The Risks of Software Innovation: a Case Study of the Harvard Lab. *The American Cartographer* Vol. 15, n°3: 291-300.
- Chrisman N.** (1997). *Exploring geographic information systems*. New-York, John Wiley & Sons. 298 p.
- Chrisman N.** (1998). Academic Origins of GIS in *The History of Geographic Information Systems, Perspectives from the Pioneers*. T. W. Foresman. Upper Saddle River, Prentice Hall: 33-48.
- Cicéri M.-F., Bertrand B. et Rimbert S.** (1977). *Introduction à l'analyse de l'espace*. Paris, Masson. 173.
- Claval P.** (1972). La réflexion en géographie et les méthodes d'analyse. *L'espace géographique* n°1, 1972: 7-22.
- CNRS** (2004). Numéro spécial : les revues en sciences humaines et sociales. *Sciences de l'Homme et de la Société* n°69.
- Cole J. P. et King C. A. M.** (1968). *Quantitative Geography, Techniques and Theories in Geography*. London, John Wiley & Sons. 692 p.
- Coppock J. T. et Rhind D. W.** (1991). The History of GIS in *Geographical Information Systems : Principles and Applications*. D. J. Maguire, M. F. Goodchild et D. W. Rhind. Harlow, Longman Scientific and Technical, 1: 21-43.
- Davis W. S.** (1992). *Principes d'informatique, concepts*. Québec, Addison-Wesley. 194 p.

- Dumolard P.** (1986a). *Avant la carte, l'information géographique*, in Géopoint 1986, Avignon, 30-31 mai 1986, Université d'Avignon. 51-52.
- Dumolard P.** (1986b). *D'une base de données à un système de gestion des données spatiales*, in 4ème Colloque Européen de Géographie Théorique et Quantitative, Eindhoven, 9-13 septembre 1986, Brouillons Dupont, 14-1986. 17-25.
- Dumolard P.** (1988). Vers un système de gestion de données spatiales. *Cahiers de Géographie de Besançon*: 27-40.
- Dumolard P.** (1994). *Systèmes d'Information géographique, une vue d'ensemble*, in Géopoint 94 S.I.G., Analyse spatiale et aménagement, Avignon, 25-26 mai 1994, Faculté des Lettres et Sciences Humaines. Université d'Avignon. 10-13.
- Ellul J.** (1977). *Le Système technicien*, Le Cherche-Midi, réédit. 2004. 337 p.
- Estes J. E. et Jensen J. R.** (1998). Development of Remote Sensing Digital Image Processing and Raster GIS in *The History of Geographic Information Systems, Perspectives from the Pioneers*. T. W. Foresman. Upper Saddle River, Prentice Hall: 163-180.
- Faust N.** (1998). Raster Based GIS in *The History of Geographic Information Systems, Perspectives from the Pioneers*. T. W. Foresman. Upper Saddle River, Prentice Hall: 59-72.
- Foresman T. W.** (1998a). GIS Early Years and the Threads of Evolution in *The History of Geographic Information Systems, Perspectives from the Pioneers*. T. W. Foresman. Upper Saddle River, Prentice Hall: 3-17.
- Foresman T. W.**, Ed. (1998b). *The History of Geographic Information Systems, Perspectives from the Pioneers*. Upper Saddle River, Prentice Hall, 397 p.
- Garisson W. L. et Marble D. F.**, Eds. (1967). *Quantitative geography*. Evanston, Nortwestern University Studies in Geography, n°13-14,
- GDR Cassini** (2000). *Dix années au service de la recherche en géomatique. Bilan 1992-1999*, GDR Cassini 19 p.
- Géopoint** (1994). *Retranscription des débats par ateliers*, in Géopoint 94 S.I.G., Analyse spatiale et aménagement, Avignon, 25-26 mai 1994, Faculté des Lettres et Sciences Humaines. Université d'Avignon. 187-228.
- George P.** (1972). L'illusion quantitative en géographie in *La pensée géographique française contemporaine, mélanges offerts à André Meynier*, Presses Universitaires de Bretagne: 121-130.
- GIS WORLD** (1996). *Interview Roger Tomlinson: The Father of GIS*, Geoworld. 2004. <http://www.geoplance.com/gw/1996/0496/0496feat2.asp>
- Goodchild M. F.** (2003a). *GIS and Modeling*, Environmental Systems Research Institute. 2004. http://www.csiss.org/aboutus/presentations/files/goodchild_gismodeling_sept03.pdf
D:\Projets\Habilitation\goodchild_gismodeling_sept03.pdf
- Goodchild M. F.** (2003b). *Linking Science to Practice in Landscape Change*, National Science Foundation. 2004. http://www.csiss.org/aboutus/presentations/files/goodchild_nsf_jan03.pdf
D:\Projets\Paysage\goodchild_nsf_jan03.pdf
- Goodchild M. F., Kemp K. K. et eds. a.** (1990). *NCGIA Core Curriculum in GIS. History of GIS*, National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara CA. 2004. <http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/gis.notes/ncgia/u23.html#UNIT23>
- Groupe DUPONT** (1994a). *S.I.G., Analyse spatiale et aménagement*, in Géopoint 94, Avignon, 25-26 mai 1994, Faculté des Lettres et Sciences Humaines. Université d'Avignon. 231 p.
- Groupe DUPONT** (1994b). *S.I.G., Analyse spatiale et aménagement. Comptes-rendus des Ateliers*, in Géopoint 94, Avignon, 25-26 mai 1994, Faculté des Lettres et Sciences Humaines. Université d'Avignon. 231 p.
- Guermond Y.** (1989). Toujours la modélisation spatiale. *Cahiers géographiques de Rouen* n°31: 3-4.
- Guermond Y.** (1991). Informatique et géographie in *Les concepts de la géographie humaine*. A. S. Bailly. Paris, Masson, 2ème édition: 205-208.
- Guermond Y.** (1994a). *Conclusion de Géopoint 94*, in Géopoint 94, Avignon, 25-26 mai 1994, Faculté des Lettres et Sciences Humaines. Université d'Avignon. 187-228.

- Guermond Y.** (1994b). *Conclusion de Géopoint 94*, in Géopoint 94 S.I.G., Analyse spatiale et aménagement, Avignon, 25-26 mai 1994, Faculté des Lettres et Sciences Humaines. Université d'Avignon. 187-228.
- Guermond Y.** (1995). Information, informatique et systèmes d'information géographique in *Encyclopédie de géographie*. A. Bailly, R. Ferras et D. Pumain. Paris, Economica: 277-282.
- Guermond Y. et Leduc A.** (1975). Réflexions sur les procédures de classification automatique à propos de l'utilisation agricole du sol en France. *L'Espace Géographique* n°1, 1975: 45-52.
- Gumuchian H., Marois C. et Fèvre V.** (2000). *Initiation à la recherche en géographie, aménagement, développement territorial, environnement*. Paris, Montréal, PUM - Anthropos. 425 p.
- Hägerstrand T.** (1952). The propagation of innovation waves. *Lund Studies in Geography* SER B. HUMAN GEOGRAPHY n°4: 3-22.
- Hägerstrand T.** (1955). Statistika primäruppgifter, flgkartering och "Data processing" - makiner : Eff kombinerings-projekt. *Svensk Geogr. Arsbok* 31: pp. 233-255.
- Hägerstrand T.** (1967). The computer and the geographer. *Trans. Inst. Br. Geographers* (42): pp. 1-20.
- Haggett P.** (1973). *L'analyse spatiale en géographie humaine*. Paris, A. Colin. 390 p.
- Hardisty J., Taylor D. M. et Metcalf S. E.** (1993). *Computerised Environmental Modelling : a Pratical iIntroduction Using Excel*, Wiley. 204 p.
- Hills G.** (1999). The University of the future in *Foresight : Universities in the future*. M. Thorne. London, Department of Trade and Industry: 213-232.
- James P. E., Jones C. F. et Wright J. K.,** Eds. (1954). *American geography, Inventory & Prospect*, Association of American Geographers, Syracuse University Press, 590.
- Johnston R. J.** (1997). *Geography and Geographers, Anglo-American Human Geography since 1945*. London, Edward Arnold., 5ème. 475 p.
- Joliveau T.** (2003). *Les SIG et la recherche française en géographie. Bilan et questions*, in Colloque international : Géomatique et applications, apports des SIG au monde de la recherche, Orléans, 13-14 mars 2003, à paraître. 15 p.
- Joly G.** (2002). *Répertoire des géographes français*. Paris, CNRS-Prodig.
- Jordan L. E. et Rado B. Q.** (1998). Investments in Personal ComputingS in *The History of Geographic Information Systems, Perspectives from the Pioneers*. T. W. Foresman. Upper Saddle River, Prentice Hall: 73-82.
- Lacoste Y.** (1980). Les objets géographiques in *Cartes et figures de la Terre*. Paris, Centre Georges Pompidou, 1: 16-23.
- Langlois P.** (1984a). Edicart V (1,p) Logiciel de cartographie sur micro-ordinateur - Manuel de présentation. Cartographie automatique sur traceur vectoriel. *Cahiers géographiques de Rouen*: 65-72.
- Langlois P.** (1984b). *Edicart. Cartographie automatique sur traceur vectoriel*. Rouen, Laboratoire de micro-infographique. Université de Rouen 57 p.
- Langlois P.** (2001). *Formalisation des structures géographiques de base. De l'espace-temps-matière au Géosystème*, in Quatrièmes rencontres de THEOQUANT. 11-12 Février 1999, Besançon, Laboratoire THEMA. Université de Franche-Comté. 27-39.
- Le Coadic Y.-F.** (1994). *La science de l'information*. Paris, PUF, 2ème éd. 127.
- Le Moigne J.-L.** (1990). *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod. 178 p.
- Le Moigne J.-L.** (1999). *Les épistémologies constructivistes*. Paris, PUF, 1ère édition : 1995. 127 p.
- Longley P., Goodchild M. F., Maguire D. et Rhind D.,** Eds. (2001). *Geographic Information Systems and Sciences*. Chichester, John Wiley & Sons, 454 p.
- Maguire D. J.** (1989). *Computers in Geography*. Essex, Longman Scientific & Technical. 248.
- Maguire D. J., Goodchild M. F. et Rhind D.,** Eds. (1991). *Geographical Information Systems : Principles and Applications*. Harlow, Longman Scientific and Technical.
- Marble D. F.** (1987). "Geographic Information System: An Overview" in *GIS : For Resources Management: A Compendium*, ACSM/ASPRS, Première publication en 1984 in PECORA 9 Proceedings Spatial Information Technologies for Remote Sensing Today and Tomorrow, october 2-4, Sioux Falls , SD, pp. 18-24: pp. 1-8.

- Mark D. M., Chrisman N., Franck A. U., McHaffie P. H. et Pickles J.** (1997). *The GIS History Project*, NCGIA. http://www.geog.buffalo.edu/ncgia/gishist/bar_harbor.html
- Mather P. M.** (1991). *Computer applications in geography*. Chichester, Wiley. 257.
- Mathian H. et Sanders L.** (1994). *S.I.G. modélisation dynamique et recherche*, in Géopoint 94, S.I.G., Analyse spatiale et aménagement, Université d'Avignon, 25-26 mai 1994, Faculté des Lettres et Sciences Humaines. 143-147.
- Matoux-Lambert C.** (1993). 20 ans pour un répertoire; le répertoire des géographes in *Matériaux pour une sociologie de la géographie*. D. Dory, Douzant-Rosensfeld et R. Knafou. Paris, L'Harmattan: 29-45.
- Mercier J.-L.** (1992). *Pratique de Lotus 1-2-3 en géomorphologie*. Paris, Hermes. 208 p.
- Miller M. et Thériault M.** (1991). Les systèmes d'information géographique ou la dernière tentation du géographe. *Cahiers de géographie du Québec* Vol. 34, n°91: 81-85.
- Monmonier M.** (1982). *Computer-Assisted Cartography: Principles and Prospects.*, Prentice-Hall. 214 p.
- Nordbeck S.** (1962). Location of Areal Data for Computer Processing. *Lund Studies in Geography* Séries C, General Mathematics and Regional Cartography n° 2.
- ORSTOM**, Ed. (1986). *Traitement des données localisées, l'infographie à l'ORSTOM*. Journée Infographie et SIG, 20 décembre 1984. Bondy, Editions de l'ORSTOM, 304 p.
- Philipponneau M.** (1999). *La géographie appliquée, Du géographe universitaire au géographe professionnel*. Paris, Armand Colin. 299 p.
- Pottier P.** (1994). *S.I.G. et aménagement : avec quelle géographie ?*, in Géopoint 94, S.I.G., Analyse spatiale et aménagement, Université d'Avignon, 25-26 mai 1994, Faculté des Lettres et Sciences Humaines. 163-165.
- Pumain D., Saint-Julien T. et Vigouroux M.** (1983). Jouer de l'ordinateur sur un air urbain. *Annales de Géographie*: 331-346, repris dans Pinchemel P., Robic M.-C. et Tissier J.-L. (1984). Deux siècles de géographie française - Choix de textes, Comité des travaux historiques et scientifiques, 348-355.
- Quodverte P.** (1994). *La cartographie numérique et l'information géographique. Importance et conséquences du progrès des sciences et des techniques*. Doctorat d'Etat. *Géographie*. Orléans, Université d'Orléans: 3 vol. 769 p.
- Racine J.-B. et Reymond H.** (1973). *L'analyse quantitative en géographie*. Paris, Presses Universitaires en France. 316 p.
- Rhind D.** (1977). Computer-aided cartography. *Trans. Inst. Br. Geographers* (2): pp. 71-96.
- Rhind D.** (1998). The Incubation of GIS in Europe in *The History of Geographic Information Systems, Perspectives from the Pioneers*. T. W. Foresman. Upper Saddle River, Prentice Hall: 293-306.
- Rimbert S.** (1964). *Cartes et graphiques*. Paris, SEDES. 236 p.
- Rimbert S.** (1979). *Les possibilités d'utilisation de la cartographie automatique en aménagement*. Strasbourg, Conseil de l'Europe.
- Rimbert S.** (1989). G.I.S. ou pas ? *Mappemonde* 1989, n°1: pp. 1-3.
- Rimbert S.** (1999). *A propos de la " key to the door "*.
<http://www.cybergeopresse.fr/durham/unwin/unwin.htm>
- Rimbert S. et Lengellé J.** (1969). Vers une automatisation de la cartographie thématique. *La revue de géographie de Montréal* (XXIII,2): 187-193.
- Roche S.** (2000). *Les enjeux sociaux des Systèmes d'Information Géographique, les cas de la France et du Québec*. Paris-Montréal, éditions de l'Harmattan. 158 p.
- Ruas A.** (1994). *S.I.G. et grandes bases de données*, in Géopoint 94, S.I.G., Analyse spatiale et aménagement, Université d'Avignon, 25-26 mai 1994, Faculté des Lettres et Sciences Humaines. 53-58.
- Saint-Gérard T. et Berger M.** (1994). *Adopter ou adapter les S.I.G. pour la recherche en S.H.S.*, in Géopoint 94, Université d'Avignon, 25-26 mai 1994, Faculté des Lettres et Sciences Humaines. 3 p.
- Santos M.** (1997). *La nature de l'espace*. Paris, L'Harmattan. 275 p.
- Schaeffer F. K.** (1953). Exceptionalism in geography : a methodological examination. *Annals of the Association of American Geographers* (43): pp. 226-246.
- Schuurman N.** (2000). Trouble in the heartland : GIS and its critics in the 1990s. *Progress in Human Geography* 24, 4: 569-590.

- Schuurman N.** (2002). Reconciling Social Constructivism and Realism in SIG. *ACME* Vol. 1: 74-80.
- Sherman J. et Tobler W. R.** (1957). The Multiple Use Concept in Cartography. *Professional Geographer* 9(5): 5-7.
- Shneider D. M.** (1979). *Computer Assisted Land Resources Planning*, Planning Advisory Service.
- Smith N.** (1992). History and Philosophy of geography. Real wars, theory wars. *Progress in Human Geography* 16: 257-271.
- Souris M.** (1986). Systèmes d'Information Géographique et bases de données in *Traitement des données localisées, l'infographie à l'ORSTOM*. ORSTOM. Bondy, Editions de l'ORSTOM: 29-88.
- Staszak, J.-F. , Collignon B., Chivallon, C. , Debarbieux, B. , Généau de Lamarlière I. et Hancock C.,** Eds. (2001). *Géographies anglo-saxonnes. Tendances contemporaines*. Paris, Belin, 315 p.
- Staszak J.-F.** (2001a). La géographie in *Epistémologie des sciences sociales*. J.-M. Berthelot. Paris, PUF.: pp. 77-116.
- Staszak J.-F.** (2001b). Les enjeux de la géographie anglo-saxonne in *Géographies anglo-saxonnes. Tendances contemporaines*. Staszak, J.-F. , B. Collignon, Chivallon, C. et al. Paris, Belin: 7-21.
- Steinitz C.** (1993). GIS : a personal perspective. *GIS Europe* juin, juillet, septembre 1993: pp. 19-22, 42-45, 38-40.
- Sui D. Z.** (1994). GIS and urban studies: Positivism, post-positivism, and beyond. *Urban Geography* 1994 (15): 258-278.
- Taylor P. J.** (1990). GKS. *Political Geography Quarterly* 9: 211-12.
- Thériault M.** (1996). L'intégration des études environnementales et des S.I.G. pour appuyer les décisions d'aménagement. Un objet de recherche prometteur. *Revue de Géographie de Lyon* 71. n°2/96: 2.
- Thériault M.** (2001). Les SIG en géographie. Outil de démocratisation ou instrument élitiste ? in *Géographie et société. Vers une géographie citoyenne*. S. Laurin, J.-L. Klein et C. Tardiff. Sainte-Foy (Québec), Presses de l'Université du Québec: 93-108.
- Tobler W. R.** (1959). Automation and Cartography. *The Geographical Information Review* Vol. XLIX 1959: 527-534.
- Tomlin D.** (1990). *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. Englewood Cliffs, Prentice Hall. 249 p.
- Tomlinson R. F.** (1987). Current and potential uses of geographical information systems. The North American experience. *International Journal of Geographical Information Systems* vol. 1, n°3: 203-218.
- Tomlinson R. F.** (1988). The Impact of the Transition From Analogue to Digital Cartographic Representation. *The American Cartographer* vol. 15 n°3: 251-261.
- Trystram F.** (1993). *Le procès des étoiles*, Payot. 285 p.
- Unwin D.** (1994). Cartography, Visc and GIS. *Progress in Human Geography* 18 (N°4): 516-522.
- Unwin D.** (1999). EUROQUANT at 21: 'coming of age'? *Cybergéo* No 114,.
- Voiron C. et Dagherne A.** (1994). *Système d'information géographique et analyse d'image*, in Géopoint 94, S.I.G., Analyse spatiale et aménagement, Université d'Avignon, 25-26 mai 1994, Faculté des Lettres et Sciences Humaines. 43-48.
- Waniez P.** (1989). *Cartographie sur Macintosh*. Paris, Eyrolles.
- Waniez P., Vizintin M. et Brustlein V.** (1993). Pour l'expérimentation des SIG en géographie, le SIG Paraná. *Mappemonde* (3/93): 29-34.
- Wieber J.-C.** (1980). Quelques aspects de la pratique française en géographie quantitative in *Recherches géographiques en France*. C. N. F. d. Géographie, CNRS: 21-25.

6. Renvois

Table des figures

Figure 5-1. Pourcentage des communications sur le thème des SIG aux colloques ECGT. Source Unwin (1999)	457
Figure 5-2. Nombre de citations de différents mots-clés dans les Répertoires des géographes	458
Figure 5-3. Les mots clés «Cartographie automatique» et «SIG» dans les Répertoires des géographes.....	459
Figure 5-4. Nombre d'articles dans des revues de géographie portant le mot clé SIG.....	460
Figure 5-5. Thèses de géographie soutenues mentionnant le mot SIG	462
Figure 5-6. Nombre d'articles SIG par grands domaines disciplinaires.....	463
Figure 5-7. Nombre d'articles SIG par grands domaines de la géographie	464
Figure 5-8. Nombre d'articles SIG par grande finalité.....	465
Figure 5-9. Nombre d'articles par point de vue adopté sur les SIG	465
Figure 5-10. Nombre d'articles par grandes fonctions SIG.....	466

Liste des sigles et abréviations

BMDP	BioMeDical computer Program
CAD	Computer Assisted Cartography
CASSINI	Coordination pour l'Analyse Spatiale et les Systèmes d'INformation géographiques Intelligents
Catmog	Concepts and Techniques in Modern Geography
CGAO	Cartographie et Géographie Assistée par Ordinateur
DEA	Diplôme d'Études Approfondies
DESS	Diplôme d'Études Supérieures Spécialisées
DU	Diplôme d'Université
ECQTG	European Colloquium in Quantitative and Theoretical Geography
ERTS	Earth Resources Technology Satellite
GIP RECLUS	Groupe d'Intérêt Public Réseau d'Etude des Changements dans les Localisations et les Unités Spatiales
GIS	Geographical Information System
IGN	Institut Géographique National
INRP	Institut National de la Recherche Pédagogique
IBM	International Business Machine
CGIS	Canada Geographic Information System

SYMAP	Synagraphic MAPping System
ERTS	Earth Resources Technology Satellite
CURA	The Center for Urban and Regional Affairs
ESRI	Environmental System Research Institute
MAP	Map Analysis package
ORSTOM	Office de la Recherche Scientifique et Technique Outremer (IRD)
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
SGBD	Système de Gestion de Base de Données
RGL	Revue de Géographie de Lyon
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique

