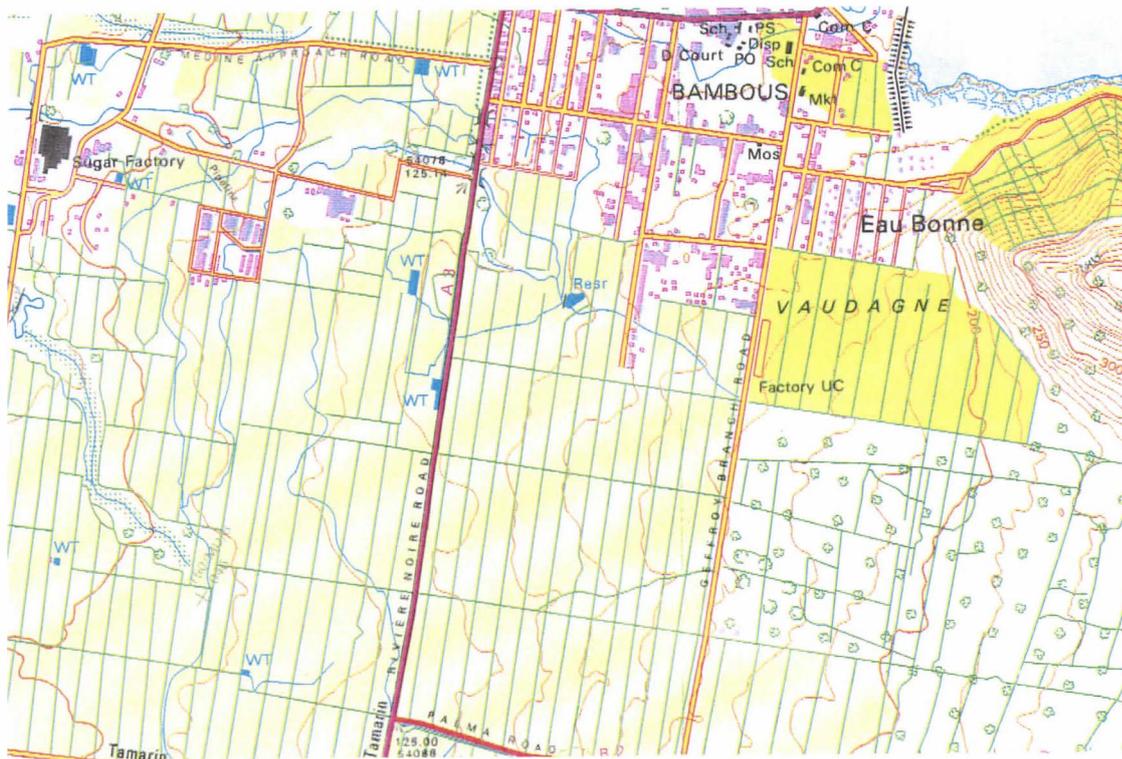


Département des Cultures Annuelles



Formation "Aménagements agricoles"

**La carte, mode d'emploi
Notes de cours**

**C. GOUNEL
1995**

Formation "Aménagements agricoles"

LA CARTE, MODE D'EMPLOI
NOTES DE COURS

LA CARTE, MODE D'EMPLOI

SOMMAIRE

Originalité de la carte	
Qui fait des cartes et pour qui ?	1 à 4
Levé et Relevé	5
Echelle	6
Repérages	8
Mettre à plat	9
Généraliser ou modéliser	11
La communication cartographique	13
Les habits de la carte	15
La carte topographique	17
Carte par satellites	19
La Cartomatique	20
Avant la carte	23

La carte est une image, et un document. Qu'est-ce qui fait son originalité ?

D'autres images, d'autres documents permettent de représenter un territoire, ou même une distribution spatiale⁶.

Un texte, une description littéraire, produisent déjà une image : mais, si précis soient-ils, il leur est difficile de mettre en ordre les objets — les lieux — les uns par rapport aux autres, et de respecter les distances et les proportions... Il faut beaucoup *d'imagination*, et des images en mémoire, pour se représenter une réalité géographique d'après un texte : « ah, ce n'est pas ainsi que je le voyais », dit-on quand on peut enfin comparer l'objet de la description à sa représentation littéraire.

Un tableau statistique, classé selon les lieux (pays, villes, départements etc.) peut « parler » assez clairement à ceux qui ont l'habitude des nombres : on y voit assez bien les plus grandes et les plus petites valeurs, on sent, et parfois on apprécie avec exactitude, des différences. Telle administration française, publiant des cartes sur l'emploi, a même jugé indispensable de les doubler de tableaux qui n'ajoutent aucune précision, se contentent de reprendre les classes de la légende, mais que certains, peut-être, lisent mieux qu'une carte, *du moins pour chercher une information de détail* : aucun tableau, en effet, ne permet d'avoir une véritable *vue d'ensemble*, ce que permet la carte, qui pourtant offre aussi le détail. « Voir » des différences sur le territoire national à la seule lecture d'un tableau de valeurs par départements ou provinces classés dans un ordre quelconque, par exemple alphabétique, implique un entraînement tout à fait exceptionnel ; autant dessiner tout de suite la carte...

La photographie, au contraire, accède à la vue d'ensemble, et elle est immédiate : reproduction directe de la réalité visible, elle n'est pas « manipulée ».

Très « travaillée » par un artiste, elle peut sans doute transfigurer la réalité, mais non changer complètement les formes. Elle peut montrer des aspects difficiles à traduire sur une carte. Mais elle est brute, et muette. La « faire parler » suppose un long apprentissage, une connaissance approfondie des paysages et de la signification de leurs signes : le paysage est tissé de signes, mais les reconnaître et les interpréter ne va pas de soi. En outre, la photo est limitée à des espaces restreints. Enfin, elle ne montre que des apparences, et ne dit rien sur « l'invisible » (croyances, comportements, revenus).

C'est la photo aérienne, surtout verticale, ou la photo par satellite, qui se rapproche le plus de la carte. Mais elle doit être interprétée, ce qui est toute une affaire, sinon une science. D'ailleurs, la plupart des documents de télédétection, maintenant, résultent de mesures directes beaucoup plus que de prises de vues : ce sont très exactement des cartes, traduisant sur une feuille de papier des séries de mesures prises à distance pour des unités de terrain successives et égales (les pixels) et traitées de façon plus ou moins élaborée.

Par rapport à un tableau de nombres ou à une photographie, la carte implique une intervention beaucoup plus directe de l'opérateur, et aussi beaucoup d'arbitraire. En un sens, c'est donc un document moins fiable — à supposer naturellement que les nombres du tableau soient fiables ; mais la carte qu'on en tirera ne sera jamais plus fiable que le tableau originel. Comme l'est, d'ailleurs, la description littéraire. Carte et texte supposent tous deux que les données du tableau soient re-présentées, avec quelques risques dans la traduction.

Par ailleurs, la carte est un document *qui ne se suffit jamais*. On ne peut imaginer une carte *sans un minimum de texte* : sinon, comment saurait-on de quoi elle « parle » ? Elle porte une liste de *signes conventionnels*, traduits en clair dans une *légende* : étymologiquement, « ce qu'on lit ». La carte qui « parle toute seule » n'existe que par raccourci : il faut aider le dessin à s'exprimer.

C'est la rançon de l'effort de communication qu'elle représente : plus facile à lire qu'une photographie, plus précise qu'un texte et plus expressive qu'un tableau, elle apporte une information traitée et sélectionnée, *mise à portée* du lecteur, avec les biais que sont susceptibles d'introduire les traitements et les choix, bref la *traduction* cartographique d'une réalité.

Tous ces documents sont complémentaires. La carte joue un rôle particulier, encore largement sous-estimé et sous-employé. Des disciplines entières, comme l'histoire, ou l'économie, s'en servent encore avec circonspection, maladresse et même réticence. Elles connaissent mal l'outil. Mais c'est aussi que ces sciences sous-estiment la dimension spatiale ou territoriale des phénomènes qu'elles étudient. Dans le rendu de la dimension spatiale, la carte est indispensable.

* *Distribution* : répartition des valeurs d'une variable entre des personnes, des classes, des lieux. Dans ce dernier cas on parle de *distribution spatiale* : c'est le sens où nous l'entendrons ici, même sans adjectif.

Qui fait des cartes, et pour qui ?

Dans leur déjà longue histoire, la plupart des cartes ont des fonctions très utiles, qui justifient des coûts parfois élevés. Mais elles proviennent de filières différentes, qui se sont constituées peu à peu, et qui restent assez autonomes l'une par rapport à l'autre. Les formes mêmes, les façons de cartographier, gardent la trace de ces origines et de ces fonctions distinctes.

1. Les premières ont sans doute servi à cheminer, à voyager ; les peuples mélanésiens disposent encore de quelques représentations en bambou pour esquisser des itinéraires... Explorateurs, commerçants, puis touristes en furent ou en sont les principaux utilisateurs. Les armateurs en commandaient, les navigateurs en levaient, Christophe Colomb en dessinait, en vendait, y rêvait et s'en servit. Leurs héritières sont les cartes routières et touristiques actuelles.

2. Très vite il a fallu allouer ou attribuer des terres, définir propriétés et usages : l'acte de délimiter appela celui d'arpenter le terrain, puis de transcrire en réduction ces limites sur le papier pour « faire loi ». C'est le travail par excellence des géomètres et c'est l'origine de tous les plans cadastraux, dans la rigueur et la précision de leur dessin.

3. La gestion des territoires va avec leur appropriation. Il faut les « contrôler », en français les dominer pour les organiser. Ici, administrateurs et militaires se rencontrent, dans leur besoin d'inventorier ce qui s'étale et se fixe à la surface du pays. L'héritière, après de nombreuses esquisses et quelques avatars, en est la carte topographique, récemment enrichie par les observations aériennes, puis extra-atmosphériques de la télédétection.

4. La carte topographique a elle-même été indispensable à une quatrième fonction, qui toutefois suppose des levés particuliers : construire, équiper. Travail d'architectes et d'ingénieurs, également précis et minutieux, avec en plus une dimension esthétique qui a ses traces dans la facture de nombreux plans d'urbanisme ou plans de circulation, et qui a donné lieu à d'autres façons de concevoir la carte.

Ces quatre besoins fondamentaux ont développé l'art, puis la science de la mesure sur le terrain, tant en plan qu'en élévation (relief) : en naquirent la topométrie*, la géodésie**, puis la photogrammétrie***, appuyées récemment par la télédétection par satellites.

5. Parallèlement, mais avec des buts moins directement utilisables, s'est développée la connaissance géographique. Celle-ci a eu besoin de cartes pour s'exprimer. Elle a localisé ses découvertes, les a mises en rapport les unes avec les autres. Travail d'universitaires plus que d'ingénieurs, elle s'est souvent satisfaite de levés moins précis, de contours approximatifs. Elle a cherché au contraire à préciser et à mesurer les activités humaines : c'est avec l'aide des comptages, puis de la statistique devenue administration et enfin science, qu'elle a, déjà au XVII^e siècle (voire au XI^e en Grande-Bretagne !), et surtout au XIX^e siècle, dressé des cartes différentes, que l'on appelle parfois *cartogrammes*, et qui, décrivant une *distribution* sur l'espace terrestre, se consacrent à un thème dominant ou unique, et sont plutôt appelées *cartes thématiques*. Peu à peu, d'autres disciplines s'en servent : sciences naturelles « écologiques », archéologie, histoire, économie, politologie...

Leur développement est devenu explosif, à mesure que progressaient la statistique et les moyens de calcul. Du coup leur usage déborde largement celui de la simple connaissance, de l'information, ou même de l'analyse scientifique, qui s'en nourrit : il intéresse désormais très vivement les entreprises, les administrations, les armées, qui, ainsi, savent mieux à qui et à quoi elles ont affaire en ces lieux. Les études de marché, les enquêtes d'opinion, les analyses statistiques s'intéressent à tout ce que montrent les cartes en matière de population, de niveau de vie et de revenus, de professions, de comportements et de croyances, d'équipements, de consommations.

C'est un nouveau temps de la carte, qui ne nie d'ailleurs nullement les précédents mais qui les prolonge et les complète. Les techniques nouvelles profitent à toutes ces formes de la carte, et les renouvellent. Mais elles donnent aux cartogrammes une tout autre dimension, celle de la gestion et de l'aide à l'action quotidienne et à la prospective ; or, ces cartes-là, vous pouvez souvent les réaliser vous-mêmes, ou les faire faire à votre guise ; les autres, non.

* *Topométrie* : pratique des mesures, angles et altitudes sur le terrain.

** *Géodésie* : science de la forme et des dimensions de la Terre.

*** *Photogrammétrie* : mesure et restitution des formes terrestres (et même d'objets quelconques) à partir de photographies.

Levé et relevé

A la base de toute carte se trouvent un *levé* de terrain et un *relevé* des objets à représenter. Ce qui implique deux séries de décisions, et les moyens de les appliquer.

Le levé situe des points repères les uns par rapport aux autres. Plus les points sont nombreux, plus il est précis. La technique fondamentale consiste à choisir deux repères dont la distance linéaire, mesurée avec exactitude, devient la base du levé : deux angles mesurés aux deux extrémités définissent parfaitement tout autre point ; l'orientation de la base se calcule. Trois points forment un triangle de base, dont chaque côté devient à rapport, nécessaire et constant, est *l'échelle*.

C'est selon cette trame qu'on *relève* les objets remarquables : un pont, un arbre, une maison ; que l'on dessine, avec plus ou moins d'exactitude, les ville, voire des carreaux d'un quadrillage pré-établi.

Naturellement, dans la plupart des cas, on travaille sur des *fonds de cartes* tout prêts, dont on a oublié l'origine et les conditions de réalisation : un fond communal, départemental, ou même national ; il a bien fallu au préalable faire le travail de levé, ainsi que ces relevés qui *renseignent* la carte — et son lecteur.

Levé et relevé correspondent donc au *fond de carte* et aux *données* qu'on y représente.

Le maillage de base n'apparaît pas sur les cartes : seules les cartes topographiques conservent les *points géodésiques* remarquables et les repères de triangulation, matérialisés sur le terrain par des balises, des bornes ou des constructions durables (un clocher). Il peut s'effacer jusqu'à ne laisser que quelques repères ponctuels ou linéaires : les contours du pays, même sommaires, avec parfois la position de quelques villes, suffisent

son tour base d'un autre, et ainsi de suite. La *trigonométrie* a commencé de la sorte au temps de Ptolémée, et la *triangulation* d'un territoire consiste depuis la Renaissance à le doter d'un réseau de points fixes et repérables, définissant une série de triangles, par rapport auxquels tout peut se placer.

La carte est construite sur cette trame : il suffit que les distances sur la carte soient toujours dans le même rapport que sur le terrain. Tout boy-scout ou tout explorateur peut ainsi faire son levé. Le report des points et triangles sur la carte implique de choisir un rapport de réduction du terrain à la carte. Ce *linéaments* (chemins, cours d'eau, clôtures...).

C'est à l'intérieur d'unités définies sur le terrain que l'on fait les autres relevés, observations ou comptages : dans les limites d'une commune, ou d'un îlot en dans bien des cas. Quelques linéaments — les plus pratiqués sont les cours d'eau, en raison d'une vieille tradition de découpage du territoire par bassins fluviaux qui dominait encore à la fin du XIX^e siècle — aident à se repérer. Dans les cartes statistiques, on conserve souvent les limites de circonscriptions. Il arrive donc au fond de carte d'être très dévêtu.

Sur une carte, en principe, toutes les *distances* physiques entre les points sont respectées, à l'échelle choisie. En fait, plusieurs sources de perturbation interviennent :

— le relief : la carte ne pourrait pas être levée et dessinée si l'on prenait les distances vraies entre points, surtout en pays accidenté ; on calcule les distances entre les *projections* des points sur *l'ellipsoïde de référence* (en gros, le globe correspondant au niveau d'altitude zéro, ou niveau moyen des mers).

— l'échelle : pour des petites surfaces, cet ellipsoïde est assimilable à un plan

L'échelle est l'un des attributs fondamentaux de la carte, et des plus délicats à manier. Il faut toujours se souvenir qu'une carte est une *réduction* d'un territoire. L'échelle est le rapport de réduction entre une longueur mesurée sur la carte et la mesure réelle correspondante sur le terrain. Elle est toujours indiquée sous la forme d'une fraction, avec l'unité (1) en numérateur, et un nombre en dénominateur, qui représente son multiple sur le terrain*. Si la longueur sur le terrain est 100 000 fois plus grande que sur la carte, p.ex. 10 km pour 1 cm, on écrira $1/100\ 000$ ou « au cent-millième »**.

La gamme des échelles est très étendue : sans même parler des plans de maisons ($1/100$ ou plus) les cartes habituelles vont du millième (plan cadastral) au... milliardième (le Monde sur 4 cm à l'équateur). Les cartes topographiques de base vont en général du $1/25\ 000$ au $1/250\ 000$; déjà, à ces échelles, certaines déformations et exagérations sont indispensables : une route de 1 mm de large au $1/250\ 000$ correspondrait à une bande de terrain de 250 m ! Un village de 500 m de long ne peut guère garder sa forme à cette échelle, et se représente par un symbole abstrait (un cercle). La plupart des cartes d'atlas vont du $1/2\ 000\ 000$ pour les cartes précises et détaillées au $1/20\ 000\ 000$ ou moins pour les continents entiers ; les villes y sont fort grossies puisque dans ce cas 1 mm fait déjà 20 km, pour ne pas parler des rivières et des routes : 5 km de large pour un très fin trait d'un quart de millimètre !

Les cartes statistiques sont généralement à des échelles petites. Une carte de France au $1/2\ 500\ 000$ est déjà encombrante (40 cm de côté) : on peut y voir — de justesse — toutes les communes (1 mm = 2500 m) ; la France au cinq millionième entre dans le format habituel d'une feuille de papier (A4) et l'on peut y distinguer tous les cantons ; le vingt millionième (la France sur 5 cm de côté) suffit pour les départements. Au cent millionième on voit encore les états des Etats-Unis ou du Brésil, et au $1/250\ 000\ 000$ les Etats du Monde, sauf certains micro-Etats.

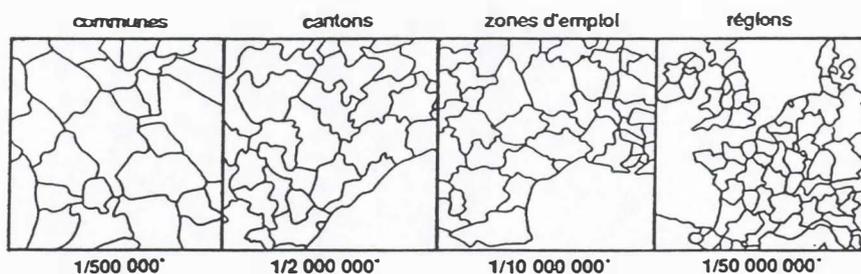
On apprend vite à évaluer les distances sur une carte, avec un peu d'attention, et surtout si l'échelle est *dessinée* (échelle graphique). En fait, la vraie difficulté vient de ce qu'on a l'habitude de compulsier en vrac des cartes d'échelles très différentes, avec des biais toujours identiques : les pays lointains sont représentés « en petit » (à petite échelle), les pays proches sont vus plus grands ; et nombre de projections rétrécissent indûment les régions équatoriales par rapport aux régions subpolaires. Réalisez-vous bien que Bornéo, une île toujours « en petit » sur les cartes, est aussi grande que la France, que celle-ci entretrait largement dans la Colombie, 14 fois dans l'Australie et 40 fois dans l'URSS ? La seule Guyane, ce confetti des atlas, irait à peu près de Paris à Strasbourg et de Metz à Lyon...

Il va de soi que sur une carte donnée l'échelle doit rester constante : on ne saurait admettre qu'un morceau « ne soit pas à l'échelle ». Et pourtant on l'admet dans deux cas : a) sur certaines projections où est représenté le Monde entier et où l'échelle n'est donnée que pour l'équateur ; b) quand on veut grossir un détail : mais alors on rédige en plus un *carton*, qui est en fait une autre carte, et qu'on dote de sa propre échelle.

Dans des cartes déformées (anamorphoses, cartes « mentales »,

on substitue une autre échelle à celle des distances métriques : mais il y a bien une échelle, qui est le rapport entre l'unité de *surface* sur la carte (1 mm^2) et la quantité représentée (p. ex. 10 000 habitants), ou une échelle de *temps*, voire de coût ou de préférence.

En général, les échelles sont arrondies ; mais les Britanniques, et quelques autres, ont parfois des échelles étranges (un pouce par mille, soit environ $1/66\ 000$), qui ne facilitent pas les calculs...



Mettre dans le même cadre

Selon l'échelle, on change aussi l'« optique », et le niveau d'information.

* L'échelle étant une fraction, elle est d'autant plus petite que le dénominateur est gros : une carte à *grande échelle* est donc une carte dont le dénominateur est relativement petit (p.ex. 25 000) et qui représente, à format égal, un territoire peu étendu. Les cartes du Monde sont des cartes à *petite échelle*. C'est contraire à certaines expressions du sens commun, mais le sens commun a tort sur ce point, et certains dictionnaires même s'y trompent.

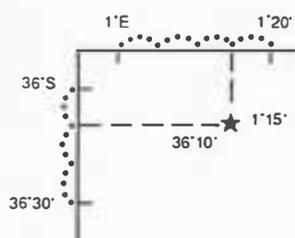
** On n'*écrit* donc pas $1/100\,000^e$ ou $1/100\,000^{cmc}$; on peut écrire 1 :100 000.

Repérages

Se situer sur une carte est un exercice inévitable, qui demande coup d'œil et entraînement, et la maîtrise de quelques réflexes fort simples.

Premier objectif : trouver un lieu nommé sur une carte.

Ou bien la carte a un index ; c'est en principe le privilège des cartes d'atlas et des plans de villes. L'index fournit, dans les meilleurs cas, les coordonnées géographiques (et le folio de la page) ; on les recherche en suivant les repères des deux bords de la carte, et en calculant à peu près à quelle distance on doit se



Calculer les coordonnées d'un point

placer entre les deux valeurs indiquées les plus voisines : il n'y a qu'un seul point possible, qu'on trouve directement. Ou bien l'index renvoie à une case d'un carroyage de fond de la carte, comme à la bataille navale ; mais il faut alors explorer toute la surface du carreau, ce qui peut être long et irritant.

Ou la carte n'a pas d'index (c'est le cas normal pour les cartes topographiques, routières ou thématiques) : alors il vaut mieux avoir une idée de la position approximative du lieu, sur telle rivière, entre telle et telle ville connue, repérable et écrite en gros, si l'on ne veut pas s'astreindre à balayer toute la carte du regard — au hasard ou carreau par carreau, en prospecteur patient...

Deuxième objectif : se situer dans l'espace.

Se situer sur une carte routière ou topographique, suivre un itinéraire avec la carte en position « normale » (le nord en haut) ou orientée dans le sens du déplacement — ce qui suppose qu'on la réoriente à chaque virage et qu'on déchiffre les noms en travers ou à l'envers le cas échéant — est un exercice bien connu de nombreux automobilistes, et a fortiori de tout randonneur, scout ou « rallyeman ». On ne le maîtrise qu'avec de la pratique ; en portant attention à l'orientation (c'est un sens dont peut-être nous sommes inégalement doués, mais qui se développe avec quelque effort : renoncer en décrétant « je n'ai pas le sens de l'orientation » est plutôt trace de nonchalance, ou de désintérêt, que vérité établie...) ; et surtout en se représentant les formes qui figurent sur la carte : une fourche, un carrefour, un pont, un lacet, un virage à droite — avec ce village, ce sommet ou ce bois sur ma gauche là-devant.

C'est bien par la reconnaissance des formes qu'on peut situer les choses sur une carte thématique, qui le plus souvent est « muette ». On n'a pas toujours un calque de repérage sous la main, ni même un atlas à comparer à vue. Il faut avoir mémorisé quelques repères et quelques formes.

Mettre à plat

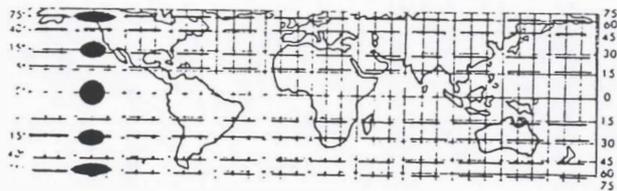
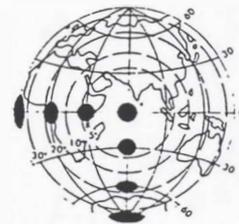
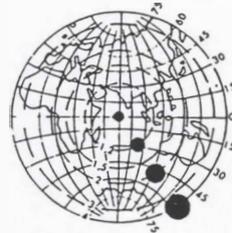
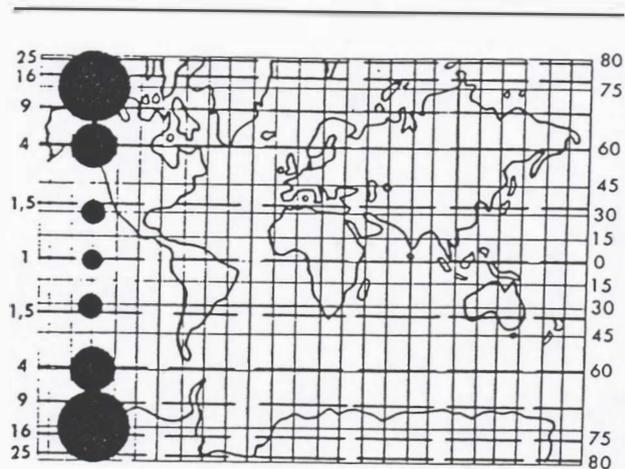
De toutes, la principale gageure de la carte est sans doute de mettre à plat un monde sphérique. *Aucune* solution pleinement satisfaisante n'a été et ne pourra être trouvée à ce problème...

On nomme *projection* le canevas des méridiens et des parallèles qui sous-tend toute carte : c'est qu'en effet la solution la plus ancienne et la plus simple a consisté à *projeter* l'image du globe sur une feuille, ou à faire comme si. Mais de nos jours il existe nombre de « projections » qui ne le sont qu'au sens mathématique abstrait du mot, et résultent de calculs complexes ou d'artifices (le globe transformé en polyèdre et déployé chez Fuller).

Les solutions de base ont consisté à imaginer que le globe se projette sur un plan, ou sur une feuille de papier qui l'enveloppe, qui serait roulée en cylindre (projection cylindrique), voire en cornet de frites (projection conique), et qu'on déroulerait ensuite. Dans ces cas, le sommet de la projection (le projecteur en quelque sorte) peut être à l'infini, ou au centre de la Terre, ou à sa surface, ou ailleurs encore.

Dans la projection cylindrique classique, les parallèles sont des droites, et sont bien parallèles entre elles, mais les méridiens sont aussi des droites parallèles, qui coupent les précédentes à angle droit. Toutes les distances entre parallèles varient : elles s'écrasent vers l'équateur et se dilatent jusqu'à l'infini dans la Mercator, qui suppose le projecteur au centre de la Terre ; c'est l'inverse pour celle qui projette à partir de l'axe des pôles. Mais l'axe du cylindre n'est pas toujours celui des pôles, et toutes les positions sont permises dans les projections obliques, de même que les plans, cônes et cylindres peuvent être sécants aussi bien que tangents... L'imagination n'a pas de borne, surtout depuis qu'on peut transformer à volonté les paramè-

Des traités entiers ont été consacrés aux projections.



A quel point les projections déforment

Les « ellipses de Tissot » (en noir) mesurent les déformations : on prend une surface circulaire au centre de la carte et l'on regarde ce qu'elle deviendrait ailleurs. En haut, la célèbre Mercator et ses immenses régions polaires ; comparable par les déformations, au centre gauche, la stéréographique méridienne ; toutes les deux sont « conformes ». En bas, la cylindrique équivalente de Lambert et, au centre à droite, l'azimutale équivalente de Lambert. Tiré de R. Cuénil, *Cartographie générale*, Eyrolles.

1. Certaines projections conservent les proportions des surfaces (projections *équivalentes*), mais elles déforment parfois les contours, au moins sur les bords de la carte. Elles devraient s'imposer dans la plupart des cas, et pour toutes les cartes à base statistique (il est loin d'en être ainsi !) sous peine d'erreurs graves, puisque les surfaces, même déformées, sont respectées.

2. D'autres conservent les angles et trahissent les surfaces (projections *conformes*) : méridiens et parallèles s'y coupent toujours à angle droit. Elles sont indispensables pour la navigation aérienne ou maritime et pour guider les missiles ; leur seul intérêt en cartographie thématique est dans la représentation des flux, courants et relations.

3. Beaucoup de projections modernes, qui cherchent des solutions de compromis, ne sont ni équivalentes ni conformes ; en général plus respectueuses des silhouettes des pays, océans et continents que les précédentes, elles additionnent cependant leurs inconvénients, il est vrai un peu réduits (cartes dites anaphylactiques).

En vérité, le problème se pose peu pour les régions tropicales, et pour les grandes échelles, voire pour des cartes statistiques à échelle déjà petite (la France entière sur 20 cm) ; il devient préoccupant pour des cartes du Monde, ou de grands Etats loin de l'équateur, comme l'URSS. Les images même de certains pays et continents varient beaucoup selon la projection adoptée et selon l'origine choisie (le centre de la carte) puisque les déformations sont surtout importantes sur les bords. Il est même des projections à la mode qui sont indéfendables par les excès de leurs déformations (Peters).

Selon l'angle de vue choisi, le Monde prend des allures très différentes ; certains auteurs d'atlas ont tiré quelque effet de ce phénomène. Non sans artifice, car le Monde « vu de... » n'est pas vraiment *vu* du centre de l'image, et celle-ci relève de la fiction poétique : d'abord parce qu'on voit *devant* soi et non *autour* de soi ; ensuite parce que dans la plupart des pays on s'est habitué à voir les cartes et le Monde avec le nord en haut, même si l'on se trouve dans l'hémisphère Sud...

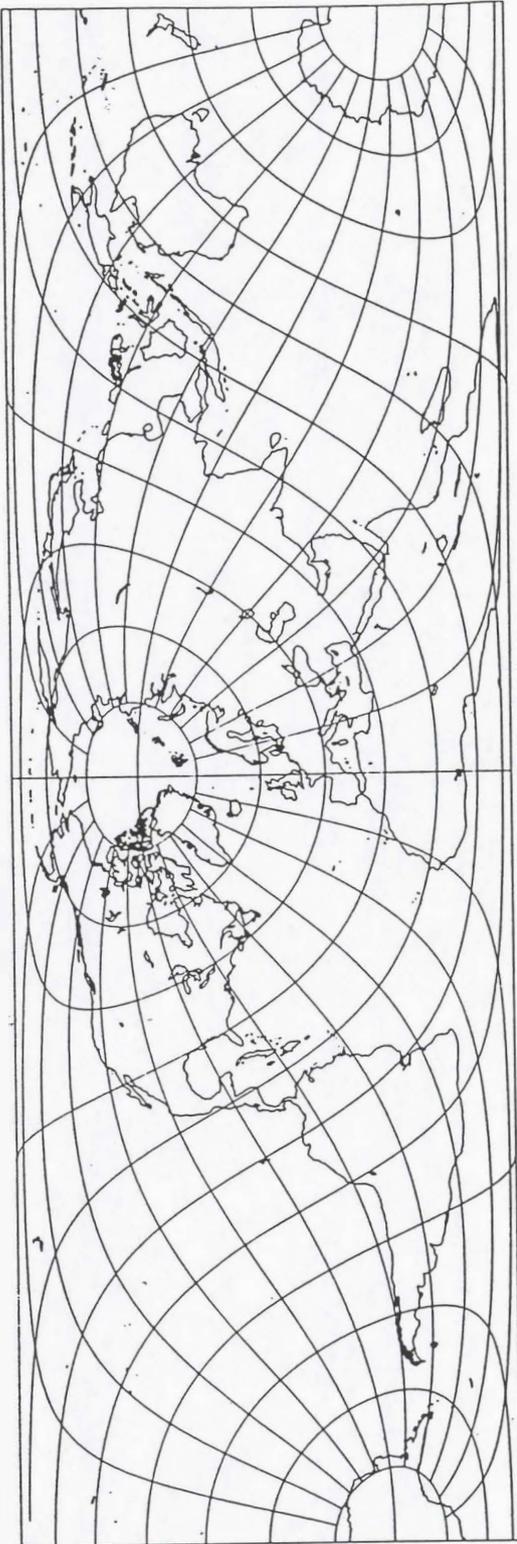
L'un des grands problèmes est celui du méridien central : l'URSS peut prendre des allures inhabituelles, et pourtant tout aussi légitimes, selon qu'on la centre sur Moscou ou sur Tachkent. On accuse souvent les planisphères d'« euro-péocentrisme » ; mais choisir comme méridien origine celui de Chicago fera parler d'américanocentrisme, et choisir celui d'Hawaï fera surtout apparaître le vide du Pacifique... D'ailleurs le méridien de Greenwich est universellement adopté comme méridien origine, et l'Afrique aussi y est « au centre » !

Un autre grand problème est celui de la représentation des océans, ou des relations transocéaniques. Certaines projections éclatées (Goode) ne conviennent que si l'on fait abstraction des océans (ou des continents, si elles ont été conçues pour représenter surtout les océans...). Les projections centrées sur le méridien origine sous-estiment le Pacifique.

Seules les projections *polaires* et certaines obliques donnent une meilleure idée des rapports entre océans et continents, et des distances circumterrestres à l'équateur ; mais elles ne valent que pour une partie du globe.

Savants dessins

Une projection oblique cylindrique équivalente proposée par J.P. Snyder (*Annals Assoc. Americ. Geographers* 1985 n°3).



Enfin, dans la plupart des planisphères, notons que l'échelle n'est pas constante : elle est donnée pour l'équateur, et augmente généralement avec la latitude.

La solution en matière de projection, surtout pour les cartes du Monde ou de grandes parties du Monde, consiste à *savoir changer les regards*, c'est-à-dire varier les points de vue et les projections. Il faut regarder le globe « sous tous les angles ». Certaines questions de relations et de stratégies ne se comprennent qu'en se plaçant au-dessus du pôle nord, d'autres à l'azimut d'une ville donnée. Il faut se méfier constamment des atlas généraux, qui exagèrent l'étendue des pays de haute latitude, et de leurs planisphères, qui sacrifient les proportions au respect d'une forme convenue. S'il ne s'agit que de *situer*, cela est acceptable. S'il s'agit de comparer, il faut que les rapports de surfaces soient respectés.

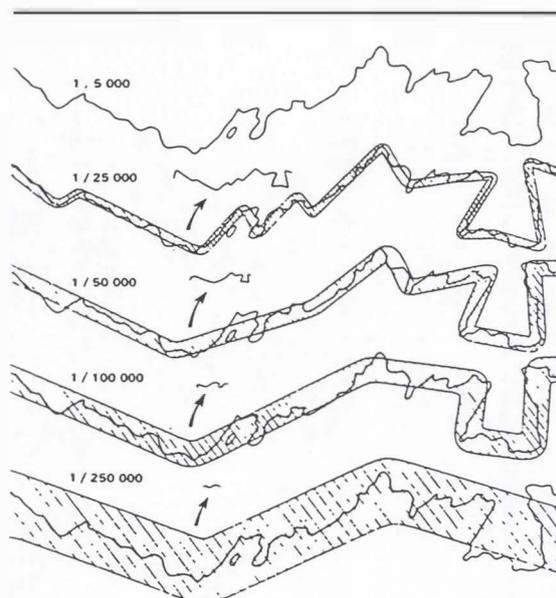
Généraliser ou modéliser

Toute représentation cartographique suppose un compromis entre la précision et la lisibilité, et donc des sacrifices. Un trait, même très fin, occupe de la place : au 1/10 000 000 (la France sur 10 cm de haut), un trait vraiment très fin, d'un dixième de millimètre, représente déjà 1 km sur le terrain : impossible de représenter exactement des indentations, des replis, des presqu'îles ou des îles qui n'auraient pas plusieurs kilomètres de développement.

L'acte de simplifier un contour pour pouvoir dessiner une carte se nomme la généralisation. Par définition, elle conserve la forme d'ensemble, et sacrifie un nombre de détails qui varie selon l'échelle et l'effet recherché. Moins on « généralise », plus on est proche du réel, mais c'est plus coûteux : en temps de dessin manuel, et plus encore par ordinateur, car le nombre de calculs à faire est alors fonction du nombre de vecteurs, donc de virages qu'on fait faire au tracé

Pour des cartes topographiques, on a le souci d'être aussi précis que possible, et donc de généraliser peu. Pour des cartes thématiques, on a intérêt à généraliser assez. Le fond de carte des communes de France établi par l'IGN pour la cartographie automatique est fortement généralisé, et parfaitement efficace.

Dans tous les cas, le contour final passe « au mieux » parmi les indentations qu'il gomme, mais ne saurait s'écarter de la ligne d'ensemble : on ne déforme pas la silhouette, et la Grande-Bretagne continue à ressembler à la Grande-Bretagne. Généraliser n'est pas caricaturer, remplacer une forme identifiable par une vague patatoïde, ou trembler artificiellement un trait (surtout sur la côte landaise !) pour « faire vrai »...

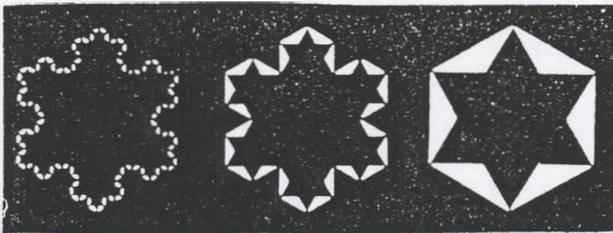


Comment on généralise

La bande hachurée représente le nouveau tracé de la côte, en prenant une échelle de plus en plus petite — ou une plume de plus en plus grosse. Tiré de R. Cuénin, *Cartographie générale*, Eyrolles.

Il est en effet extrêmement important de conserver les silhouettes, à la fois pour mémoriser les figures du Monde (Etats, continents, départements etc.) et pour pouvoir analyser les distributions ; nous verrons plus loin tout ce qui s'ensuit. Les travaux sur les fractales nous aident à comprendre le mécanisme de la généralisation. On pourrait en résumer l'intention en disant que l'on suit *les contours réels* de la carte mais avec *un rayon de courbure donné*, compatible avec l'échelle de la carte et donc fonction de l'épaisseur que le trait de plume aurait dans la réalité : par exemple en utilisant un compas à pas constant et choisi à dessein. Dans la pratique c'est une question d'entraînement et de jugement ; du moins les accidents sont-ils émoussés et non exagérés, aucune sinuosité ne peut être plus grande, à son échelle, que dans la réalité.

Certaines techniques, et certains goûts esthétiques, poussent à la géométrisation des contours. Des programmes d'ordinateur travaillent sur des grilles, et ignorent les obliques : mais la convention peut être acceptable, et la silhouette reconnaissable. Des cartes en anamorphoses remplacent les Etats par des carrés ou des rectangles, dont la surface est plus facile à calculer, mais à la limite ce ne sont plus des cartes. Dans la cartographie influencée par les architectes et certains ingénieurs, on tend souvent à rechercher des graphismes abstraits : les réseaux deviennent des graphes, et les courbes irrégulières des droites parfaites. Ce n'est déjà plus de la généralisation, mais de la schématisation.



Généralisation et fractales

La théorie des fractales présentée par B. Mandelbrot permet aussi de démontrer le mécanisme de la généralisation : de gauche à droite, on passe d'un flocon complexe à un hexagone, en changeant le « pas ».

Schématiser n'est nullement méprisable : tout dépend du but assigné à la carte ; montrer l'essentiel et résumer une carte, comme on résume un texte, ont leur fonction, et leurs exigences.

Ces pratiques peuvent être improvisées « de chic », ou au contraire très étudiées. Elles relèvent alors d'un autre souci, fondamentalement différent de la généralisation, qui est la modélisation. Modéliser un territoire n'est pas le représenter : c'est se donner le maximum de régularité et le minimum de contingence locale pour tester des hypothèses et mettre en évidence des lois, des tendances, des mécanismes généraux. On ne part pas du réel, même très schématisé, pour

l'« épurer » peu à peu : on part du théorique, pour déduire des configurations, qu'on confronte ensuite au réel. Si l'on a une surface à représenter, on en choisit donc une expression « neutre », à valeur théorique : un cercle, un carré, à la rigueur un hexagone, toutes figures non orientées. Ces choix mêmes ne sont pas quelconques : le cercle suppose qu'aucune direction n'est privilégiée et que la périphérie est partout à même distance du centre, alors qu'un carré, à cet égard, a quatre « angles morts » ; un rectangle allongé supposerait déjà une hypothèse forte sur la structure de l'espace, avec une direction privilégiée ; et ainsi de suite. Nous verrons à quel point ces méthodes sont précieuses en cartographie.

Il est donc deux voies raisonnables, avec deux usages différents : simplifier les tracés de détail en conservant rigoureusement la forme d'ensemble — aucune sinuosité ne peut avoir une ampleur relative supérieure à la réalité, mais seulement inférieure — ; partir de modèles géométriques ayant un sens en topologie. Les solutions intermédiaires, avec simplifications brutales et caricatures, ne peuvent servir au mieux que de moments pédagogiques provisoires — juste un crayonnage. Ce sont des croquis, non des cartes.

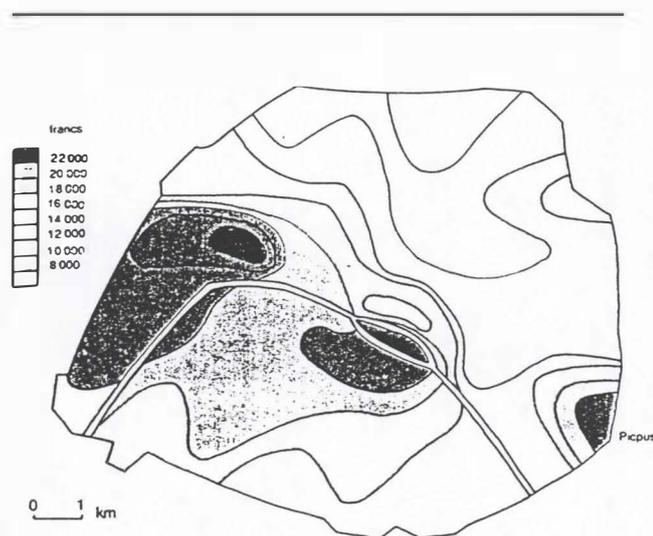
La communication cartographique

La fonction « recherche » et la fonction « communication » ne sont pas toujours perçues comme séparées. Il faut pourtant prendre toute la mesure de cette différence d'objectifs : les travaux de recherche nous valent souvent des grimoires, qui demandent de longs déchiffrements ; des cartes bavardes, ou absconses. On sait que ce n'est nullement propre à la carte ; on ne sait pas toujours que cela atteint aussi la carte, même quand elle est superbe d'apparence.

Une carte, c'est fait pour être regardé. Il faut bien qu'elle attire, qu'elle séduise, et qu'ensuite, ou simultanément, elle informe.

Pour séduire, elle dispose d'un atout majeur par rapport au texte : la puissance de l'image. Affichez la France avec une grande tache, même noire, sur tout le Midi, ou sur l'Est, cela déjà attire l'œil, suscite la curiosité : qu'est-ce que c'est ? Même la carte catalogue peut être très belle : la carte géologique de la France au millionième s'affiche dans plus d'un bureau. Un inventaire peut être beau et plaire, les catalogues de vente par correspondance sont là pour le montrer, qui sont souvent feuilletés pour eux-mêmes. Seuls quelques mathématiciens impénitents peuvent trouver un tableau de nombres plus attrayant qu'une carte...

Le beau, sans doute, ne se décrète pas ; il est affaire de rapport entre un objet, et donc son concepteur, et un spectateur ; les raisons n'en sont pas toujours claires, et les recettes non plus. En cartographie, le beau passe d'abord, semble-t-il, par la netteté ; par l'harmonie des couleurs juxtaposées ; par le sen-



La carte qu'on n'a pas vue

Un grand hebdomadaire a publié une évaluation des prix des appartements par quartiers de Paris. Il aurait pu en faire dresser la carte : elle parle toute seule. On le fait pour lui, en choisissant ici le prix moyen de l'appartement rénové de niveau correct et de plus de quatre pièces. Données prises dans *Le Nouvel Observateur* du 20 septembre 1986.

timent qu'on « voit » quelque chose : probablement la forme ne se sépare-t-elle pas vraiment du fond, puisqu'on y cherche *du sens*. C'est la confusion surtout qui enlaidit.

La clé de la lecture et de la lisibilité de la carte est dans les contrastes et les gradations de distributions, donc de formes, qu'elle fait apparaître. Ce sont *les formes* qui doivent être mises en valeur, qu'on vise à imprimer dans la mémoire du lecteur, et à lui faire rapprocher d'autres formes connues. Plus les formes sont simples, plus elles ont des chances d'être perçues, et retenues.

L'usage des écrans de télévision et même d'ordinateur va encore réduire l'éventail des possibilités, en raison de la brièveté du regard. On ne saisit pas au vol une carte sur écran comme on la contemple sur le papier. On la reçoit d'un coup, « en pleine figure » : cela va contribuer à changer la forme. Or je soutiens que même ceci est un progrès : d'abord, cela diffuse massivement la carte, et les idées qu'elle véhicule ; et cela contraint à voir l'essentiel, sans se perdre immédiatement dans les détails. L'écran, finalement, apprend à bien lire une carte, c'est-à-dire à privilégier la forme d'ensemble. Le piquant de l'affaire veut qu'il n'y ait présentement à peu près aucune carte digne de ce nom sur les écrans de télévision ; mais la lacune est provisoire, et le potentiel est réel.

Sur papier ou sur écran, de toutes les façons une carte faite pour communiquer, pour délivrer un message, doit fournir peu de données à la fois, et nettes. Bien entendu, cela dépend du destinataire du message : ce peut être un professionnel, et non un citoyen quelconque. Mais l'on s'aperçoit vite que même des géographes exercés, des chercheurs compétents et des administrateurs de haut niveau ont du mal à comprendre certaines cartes issues de recherches, savantes ou non, par le moyen desquelles leurs auteurs ont pourtant voulu démontrer quelque chose. Et que peu de ces lecteurs privilégiés ont réellement le temps de chercher à comprendre. La recherche produit de nombreuses combinaisons, superpositions, nuances en cartes ; mais ces cartes-là ne sont pas des « produits finis » : ce sont les brouillons de la recherche, des biens intermédiaires en quelque sorte, qui n'ont de valeur, et momentanée, que pour leur auteur.

Le tri des données, les sacrifices nécessaires, peuvent être déchirants pour l'auteur. Surtout, ils encourrent irrésistiblement le reproche de subjectivité. La *confiance* qu'on accorde à la carte varie beaucoup selon les lecteurs : pour les uns, « c'est sur la carte, donc c'est vrai » ; d'autres, qui « en ont trop vu », se méfient.

En général, une carte très détaillée donne davantage confiance, même si elle est rigoureusement fautive. Une carte simplifiée inquiète, appelle des preuves, même si elle est très juste. On est parfois amené à garder en réserve, ou à publier, la carte détaillée et son expression résumée, la première servant de « preuve », comme l'historien publie ses archives, dans des « bas » de page qui parfois tiennent toute la page. On peut aussi « habiller » une carte détaillée avec des cernes, des plages de couleur de fond, qui « soulignent » ce qu'il faut voir, comme on souligne un texte. Il est vrai qu'on peut aussi truquer des cartes : mais ni plus ni moins qu'un texte ou une autre image.

Reste que la confiance se mérite, et qu'un « marché » finit par s'établir. Après quelques flagrants délits de truquage, d'erreurs et d'approximations grossières, voire de propagandes éhontées, on sait bien *qui* joue avec des cartes biseautéées, et qui a des cartes honnêtes.

Les habits de la carte

Toute carte a, ou devrait avoir, une dizaine d'éléments indispensables, de vêtements sans lesquels elle ne saurait se montrer — elle en serait illisible.

1. *Un titre* : bref, net, « technique » ou « séducteur » selon les besoins (les adversaires respectifs diraient « ennuyeux » ou « racoleur »), mais toujours clair.

2. *Un cadre* : c'est affaire de clarté et d'esthétique. Très travaillés et enluminés sur les cartes anciennes, avec moultures, feuillages et allégories comme Vermeer s'est plu à les montrer, ils tendent aujourd'hui à se faire discrets, se réduisant à un simple trait fin. Voire à disparaître, chaque pays devenant île. La vraie question est plutôt de savoir si l'on remplit le cadre tout entier ou si l'on se limite au territoire présenté : la première solution est plutôt meilleure, car elle donne des informations sur l'environnement du territoire ; elle est souvent impraticable, faute de données, et les cartes statistiques par ordinateur l'évitent systématiquement.

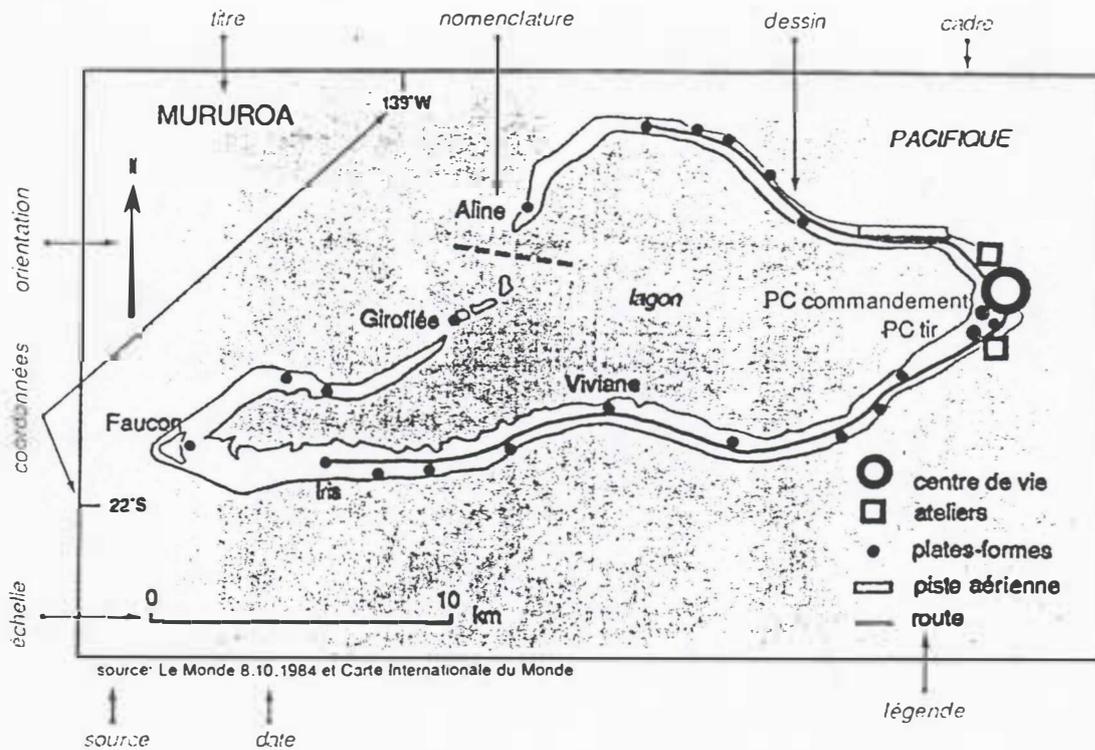
3. *Une légende* : ce dictionnaire des signes utilisés est exhaustif — sauf évidences, comme les frontières des pays ou les villes repères — ; aussi bref que possible ; classé selon des principes clairs (62) ; les unités de mesure sont définies (habitants/km², milliers de tonnes...) et leur échelle est précisée. On place la légende dans un angle vide de la carte, ou à l'extérieur : au long d'un côté, au-dessous, rarement au-dessus. Par manque de place, ou pour faciliter la traduction en langues étrangères, on numérote parfois les symboles en explicitant leurs contenus hors de la carte ; cela impose un effort supplémentaire au lecteur, qui n'apprécie pas toujours.

4. *L'échelle* : indispensable, elle permet d'évaluer les distances, et les dimensions des territoires. On n'en donne la valeur numérique (fraction) que si la carte ne doit être ni réduite ni agrandie ; il est donc indiqué de la dessiner, sans fioritures superflues (échelle graphique). On ne saurait s'en dispenser que pour des figures très connues (la France en France) ; mieux vaut s'habituer à la voir, la placer et s'en servir.

5. *L'orientation* : sauf évidences (votre pays avec le Nord en haut), on la donne aussi, sans plus de fantaisies ; en tous cas, si le Nord n'est pas exactement « en haut » : pour s'y retrouver, pour conserver les silhouettes, et parce que la situation par rapport au soleil, aux vents ou aux chers voisins peut n'être pas indifférente au sujet. La présence de coordonnées sur la carte en dispense, naturellement.

6. *Les coordonnées* : des amorces de coordonnées sur les bords de la carte sont utiles pour bien situer des territoires lointains, ou mal connus ; d'ailleurs, la latitude à elle seule donne déjà des idées d'ambiance. Sur les cartes du Monde, on fait figurer quelques méridiens et parallèles afin d'apprécier les déformations liées à la projection choisie. Deux latitudes peuvent dispenser d'échelle, sachant qu'un degré vaut sur le terrain environ 111 km (et un grade 100 km), une minute un peu moins de 2 km.

7. *La source* : pour les cartes statistiques au moins, on précise l'origine de l'information, qui éclaire sur sa validité, sa marge de confiance, et qui permet de vérifier si nécessaire.



8. *La date* : le monde change, et la date de l'information est capitale : on ne l'omet jamais sur une carte statistique ; elle figure toujours sur les cartes topographiques.

9. *La nomenclature* : certaines cartes sont faites pour la nomenclature, et portent le plus possible de noms de lieux ; certaines les grossissent (les cartes murales scolaires), d'autres sont vides au contraire, notamment celles qui ont des figures connues (Etats des Etats-Unis, départements français, régions italiennes etc.) ; les cartes statistiques par ordinateur s'en dispensent souvent : trop de problèmes d'écriture. Il est pourtant bien utile d'aider à *situer*, et de porter quelques noms de lieux, voire une initiale ou un numéro de département même discrètement écrits. Tout dépend de l'usage de la carte. Si c'est la *liste* qui compte, il faut certes nommer ; une carte d'inventaire thématique devrait au moins nommer tous les lieux repérés et portant un signe distinctif. Si c'est la *forme* qui compte, la nomenclature est inutile, sauf pour quelques repères éventuels. Si c'est le *repérage* qui est recherché, on nomme les points clés, les lieux stratégiques.

Le dixième élément... est le contenu de la carte lui-même. Il est parfois complété par un *carton* : soit à petite échelle pour situer l'espace décrit, soit au contraire à grande échelle pour éclairer un détail. Le carton est bien séparé du reste, et muni de sa propre échelle. Les cartes anciennes portaient souvent aussi des *cartouches* : pour des dédicaces joliment enluminées, des listes etc.

La carte topographique

La carte topographique est considérée comme la carte *de base*, car c'est elle qui rassemble et place avec précision les informations fondamentales sur les lieux, les frontières et les limites administratives, les voies de communication et les habitations, les repères géodésiques. Elle fixe les *toponymes*, ou noms de lieux. Elle a ainsi un intérêt juridique.

La carte topographique porte en général :

— le relief, représenté jadis par des hachures, de nos jours par des courbes de niveau, liant les points de même altitude, plus ou moins serrées selon la vigueur des pentes, et rehaussées éventuellement par un estompage ; ces *isohypses* sont en noir, brun ou rouge ; des *points cotés* les complètent dans les intervalles.

— l'hydrographie, en bleu, précise le tracé des rivières et des rivages, avec des conventions particulières pour les rivages maritimes (niveau moyen, limites des basses et hautes eaux).

— les chemins et routes, généralement en noir, classés selon leur importance, ainsi que les canaux, voies ferrées, lignes à haute tension - mais non les conduites souterraines.

— les lieux habités, plus ou moins détaillés selon l'échelle.

— des éléments sur l'occupation des sols, ceux qui font obstacle ou abri : forêts, vergers et vignes p.ex.

— des repères : moulins, châteaux d'eau, arbres isolés.

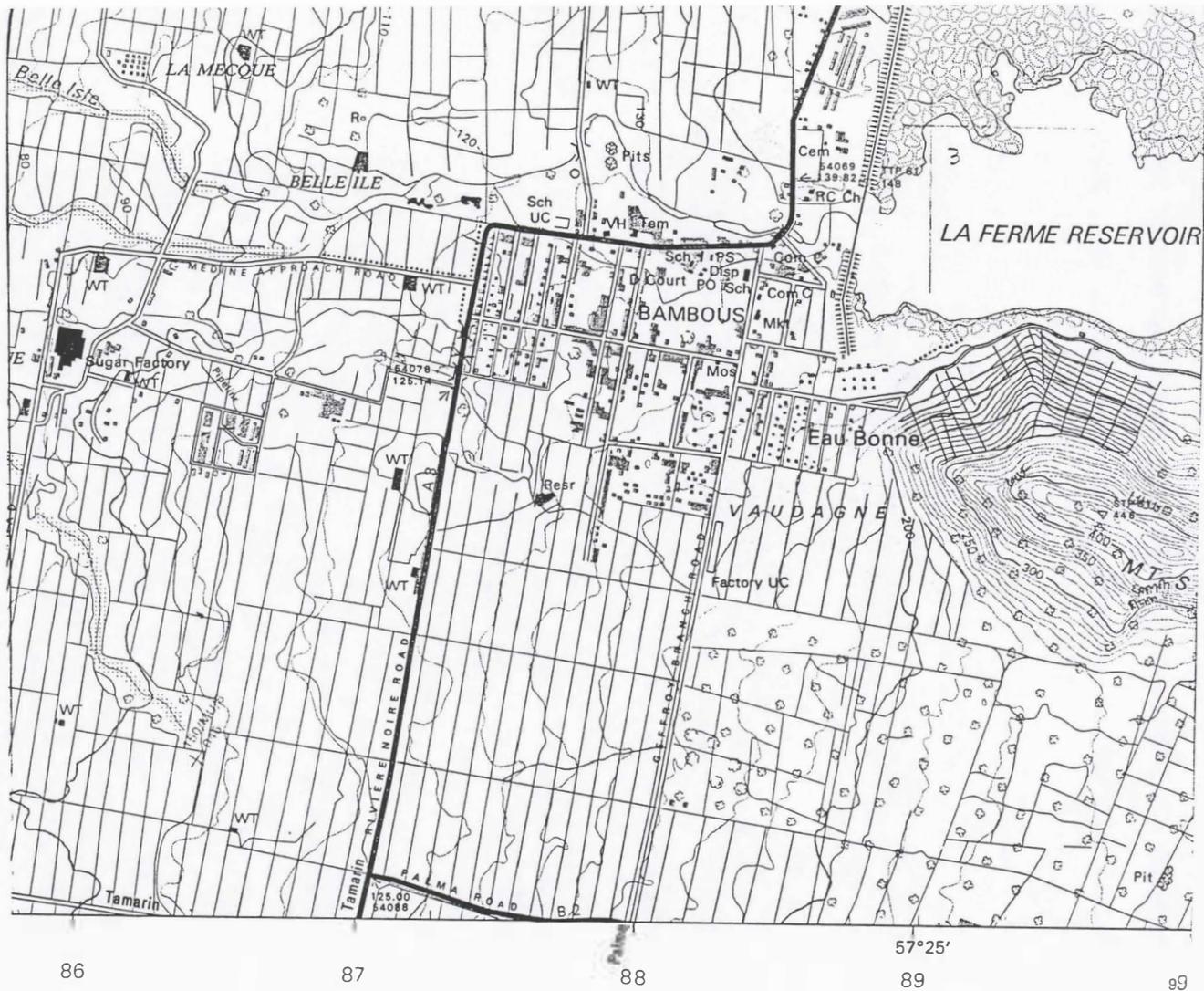
— tout ou partie des clôtures, selon l'échelle.

— les dénominations, toponymes et hydronymes, y compris des noms d'espaces plus ou moins clairement définis (lieux-dits, quartiers de champs ou de prés).

Ces cartes sont dessinées à des fins militaires en premier lieu : d'où la mise en valeur de ce qui fait obstacle, abri ou repère. Il va de soi qu'elles sont très utiles à la gestion quotidienne des territoires : « ponts et chaussées », « eaux et forêts », municipalités et gendarmeries s'en servent couramment.

Hors des professionnels spécialisés (militaires, ingénieurs, administrateurs et élus), elles servent surtout à *se déplacer*, au moins pour des trajets lents (à pied, à cheval, à bicyclette). Elles *situent* aussi commodément un lieu, une propriété, une maison dans son environnement. Sur le terrain, on oriente la carte à la boussole, ou en repérant autour de soi quelques points remarquables : avec un peu d'expérience, on identifie les voisins sur la carte, les accès, on se représente le relief alentour.

Elles servent aussi d'instruments pour l'apprentissage de la géographie : l'examen attentif des formes du relief met sur la voie de rapprochements avec des modèles classiques, et donc d'interprétations sur leur origine ; l'analyse des relations entre l'habitat, les clôtures, la toponymie, les bois, les cours d'eau, les pentes donnent des bribes d'information, et mettent sur la piste de quelques hypothèses explicatives. On imagine le paysage réel, qu'elle traduit : sans les couleurs, ni le parcellaire, mais avec des noms. Or on sait que le paysage est tissé de signes, et l'on joue à chercher leur sens, à définir le système des signifiés.



Mais on exagère beaucoup les possibilités de la carte topographique, qui ne se suffit jamais à elle-même, ne donne en fait que des informations ponctuelles sur le paysage réel et à peu près rien, ou rien du tout, sur les populations, leurs activités, leurs compositions et leurs comportements, et ne permet finalement que d'effleurer des rapprochements partiels et superficiels : cet exercice souvent amusant et tonique se caricature volontiers en exercice d'école au mauvais sens du mot, ravageant lycées et facultés. Précieux outil quand on en use sagement, il devient instrument de torture quand on en abuse.

La légende de la carte topographique est une sorte de dictionnaire, assez limité en fait quoique déjà complexe — 50 à 100 « mots » peut-être. On a intérêt à la connaître par coeur pour un pays

donné. Tout citoyen devrait pouvoir se servir d'une carte topographique — l'IGN vend ses cartes détaillées en librairie (1/25 000 « série bleue », 1/50 000 « série verte », 1/100 000 « série rouge »).

Il existe des formes particulières de la carte topographique : les cartes marines par exemple, très minutieuses sur tous les accidents côtiers, les profondeurs, les écueils, ainsi que les amers ou repères, phares et balises.

Le canevas des cotes d'altitude et des courbes de niveau sert à établir les *modèles numériques de terrain*, qui permettent des représentations du relief en trois dimensions — l'échelle des altitudes étant plus ou moins exagérée selon les lieux et les besoins — ainsi que de très nombreux calculs

Cartes par satellites

On ne saurait décrire l'univers des cartes sans faire un sort particulier aux cartes « par satellites », c'est-à-dire issues du traitement des données qu'ils recueillent. En tant que cartes, elles n'ont théoriquement rien d'original : les satellites fournissent certaines données sur des lieux, et ensuite on en dresse la carte. Pourtant, la nature des données et l'ingéniosité des chercheurs ont fait apparaître des cartes entièrement nouvelles.

Certaines sont peu différentes d'une photographie, mais saisissantes : l'Europe occidentale illuminée, la nuit, dévoile ses « hauts lieux » et ses campagnes obscures. Des satellites prennent d'ailleurs des photos : mais ce ne sont pas des cartes. Il faut les transformer en cartes, en analysant les formes et les teintes ; on sait le faire depuis que, d'avion ou de ballon, on a pu prendre des photos aériennes : nombre de cartes d'utilisation du sol, d'analyse du parcellaire en sont issues — la stéréophotogrammétrie permettant l'analyse et la cartographie directe du relief.

Le vrai avantage des satellites est, par les mesures qu'ils font (radiations solaires réfléchies ou radiations terrestres, selon les différentes longueurs d'onde), de fournir un fichier d'informations exhaustif pour l'espace visé et pour les parties du spectre mesurées, et qui peut être l'objet de traitements mathématiques très complexes. Chaque *pixel* émet des signaux, dont on cartographie les résultats. Tous les pixels ayant même « signature » spectrale apparaissent avec la même couleur, choisie par l'analyste : exactement comme dans une typologie factorielle — c'en est d'ailleurs une.

Il reste à identifier au sol à quoi correspond cet ensemble de mesures, ce « message » du pixel : un champ de blé mûr, des toits en pente enneigés de maisons chauffées, une fondrière ou un lac profond : c'est la « vérification de terrain », qui donne une « vérité de terrain ». On a ainsi pu cartographier des phénomènes invisibles ou peu faciles à mesurer (des degrés d'humidité des sols, de turbidité des eaux, des pollutions, des déperditions de température), et cartographier rapidement des espaces inaccessibles ; chacun sait que les Etats-Unis connaissent ainsi plusieurs semaines à l'avance l'état des récoltes probables de céréales en Union soviétique grâce aux observations des satellites, et qu'on détecte facilement les champs de pavot ou de coca en Amérique latine et ailleurs.

Les cartes issues de satellites sont donc originales par le sujet, et par leur manière d'exhaustivité. Elles le sont aussi par la forme : elles nous ont habitués aux « fausses couleurs », soit depuis longtemps déjà par celles des photographies particulières (infrarouge), soit par la liberté de choix dans la gamme des couleurs, puisque rien n'empêche de décider que l'humide sera en rouge et la forêt en jaune. Les auteurs s'efforcent souvent de coller au paysage réel, et de prendre quelques conventions d'usage, mais ils préfèrent en toute occasion la lisibilité des résultats : en cela ils sont sages, même si l'apparence des choses est quelque peu surréaliste. Leurs produits ressemblent beaucoup aux splendides représentations de la biologie médicale, et pour d'excellentes raisons : elles sont fondées sur des mesures de même nature, et emploient des matériels et des logiciels semblables.

La cartomatique

L'informatique a changé bien des choses en cartographie. Pas tout, pourtant, et surtout pas les règles de base. Au stade présent, elle n'a peut-être même pas encore suffisamment changé l'allure de la carte ; elle a, en tout cas, bien moins changé ses formes qu'elle n'a transformé les conditions de sa production et étendu ses capacités : l'imagination graphique est en retard sur la technique.

On n'en est plus aux balbutiements, quand la carte « automatique » était noire, triste, mal hachurée, que ses formes étaient péniblement acquises en superposant les lettres et les signes du clavier : alors la carte « par ordinateur » était effectivement laide. Maintenant elle peut atteindre une perfection technique qu'aucun cartographe « manuel » ne pouvait approcher. Mais cela ne va pas sans poser quelques questions.

C'est la totalité du processus de production qui est touchée par le développement de l'informatique cartographique : depuis le recueil des données (dont une partie croissante vient maintenant des satellites) jusqu'à l'impression des cartes (sélection des couleurs et photogravure, écriture et positionnement des noms) en passant par la topométrie, l'estompage, le traitement statistique. Des organismes spécialisés, comme les Instituts Géographiques nationaux, en ont été bouleversés.

Paradoxalement, les médias ne s'en sont guère aperçus encore. Les entreprises ne semblent pas non plus s'en être beaucoup soucies. Les écoles et les lycées sont très en retard sur les possibilités réelles, sauf dans certains pays comme la Grande-Bretagne. Les administrations et les centres de recherche se trouvent à des degrés très inégaux de

transformation : certains sont déjà allés fort loin.

Les trois apports fondamentaux de l'informatique appliquée à la carte* résident dans la rapidité d'exécution, la sûreté du trait et la diffusion de la création.

Rapidité d'exécution

Comme pour toute opération de calcul, ce que produit un ordinateur en cartographie pourrait théoriquement être fait sans machine : question de temps et de patience. S'il ne s'agit que de dessiner une carte de taux pour 22 régions françaises, point n'est besoin de cartomatique : on y perdrait même du temps.

En revanche, dans la pratique, une foule de calculs, et les cartes qui les expriment, seraient infiniment trop longs « à la main », et sont donc exclus. On a fait des représentations « en relief » avant l'ordinateur, et même des anamorphoses : c'était déjà assez fastidieux. On a fait des calculs de corrélation et des cartes de résidus avant l'ordinateur : il y fallait déjà une bonne machine à calculer électronique. On ne pourrait raisonnablement pas faire des cartes de tendance ou de potentiel, ou une carte de France par communes, sans le secours de l'informatique, et certainement pas des cartes issues de la télédétection par satellite, qui travaillent sur des dizaines de milliers de pixels. Désormais on peut traiter de très grandes séries d'informations, on peut les soumettre à de fort complexes algorithmes de calcul, de corrélations multiples, d'ajustements — tout le monde du « traitement des données » — et l'on peut associer à la carte des formes d'expression nouvelles. Tout cela n'est possible que grâce à ce changement radical d'échelle dans la rapidité des opérations.

Sûreté du trait

Pour être cartographe il fallait au moins savoir dessiner, et tracer un trait régulier ; quels qu'aient été les progrès des matériels, il fallait encore savoir tenir une plume, ou un stylet. Il le faut d'ailleurs toujours, car le recours à l'ordinateur n'est ni possible, ni nécessaire, ni même souhaitable dans un certain nombre de cas. Du moins existe-t-il désormais des logiciels qui viennent au secours des piètres dessinateurs et qui, non seulement produisent proprement des cartes complexes, mais encore aident au dessin.

Ces logiciels d'assistance graphique engendrent cercles, ellipses ou simples droites, placent des trames très régulières de pointillés, de hachures, de quadrillés ou de poncifs : il suffit de pointer le bon figuré dans les marges de l'écran ou de la tablette, sur le « menu » offert. Certains même peuvent généraliser une courbe hésitante, en effacer les sinuosités inutiles : c'est commode quand on n'a pas la main sûre et qu'on doit affronter le tracé d'une route. La plupart des bureaux d'études sont équipés de tablettes graphiques assurant des tracés impeccables. En revanche, l'itinéraire d'une « souris » ou d'un crayon optique de micro-ordinateur familial reste assez approximatif. Du moins le résultat peut-il être propre, et faire disparaître des publications, scientifiques ou non, d'infâmes brouillons qui les déshonorent : l'ordinateur restituant un minimum de respect de soi-même et du lecteur, ce n'est pas une si mince acquisition...

Diffusion

Une conséquence en est que la production de la carte a cessé d'être le monopole du cartographe : elle se généralise, ou se popularise, en ce sens que quiconque, désormais, peut obtenir une carte présentable, sur des données soumises à des calculs simples ou complexes.

Naturellement, cela doit tout de même s'apprendre quelque peu. Le résultat dépend de la profondeur de l'apprentissage, et du respect des règles élémentaires

La cartomatique ne supprime ni l'effort ni la rigueur : quelle activité créatrice n'en exige pas ? Mais elle peut laisser croire à la facilité, et que n'importe quoi est une carte. Le problème tient à ce qu'il n'y a pas de véritable sanction : proposez un texte bourré de barbarismes, de fautes d'orthographe, de mots inconnus, d'incohérences et de lettres d'alphabet inventées, personne ne le lira et aucun éditeur ne le publiera, sauf peut-être comme fiction poétique ; proposez une carte aussi fautive, et beaucoup ne s'apercevront même pas qu'elle est charabia, trouvant normal de perdre du temps à la déchiffrer. C'est qu'elle ne relève pas du langage naturel, et que l'éducation de base indispensable n'a jamais été dispensée.

Un paquet d'avantages

Ces trois intérêts majeurs de la cartomatique sont immédiatement perceptibles. Il est utile d'entrer un peu plus dans la technique de production des cartes pour bien les évaluer. Ce que l'informatique permet couvre en réalité un champ considérable. En suivant toute la chaîne de la production, on peut ainsi résumer l'essentiel (en partie d'après Dangermond) :

1. Les données sont rassemblées dans un format extrêmement compact : une bande magnétique, une disquette.
2. Elles sont extraites très vite — songez au temps qu'il faudrait pour les « retrouver » dans d'immenses fichiers ou d'épais registres.
3. Leur stockage et leur extraction se faisant avec le minimum d'espace et dans le minimum de temps, les coûts correspondants (hors investissement !) sont minimisés.
4. On dispose de nombreux outils pour des manipulations : possibilité de faire des mesures sur les cartes, de comparer des cartes, de traiter les données, de dessiner, de transformer les représentations...
5. Le choix des figurés est rapide, et facile à modifier.
6. On peut soumettre la carte à des essais successifs (proportions, couleurs, trames), jusqu'à satisfaction, ce qui autorise de véritables expérimentations.
7. Les parties graphiques et non-graphiques (titre, légende, nomenclature) sont manipulées en relation directe avec le traitement des données.
8. Les calculs d'évolution (entre données comparables à deux ou plusieurs dates) sont quasi instantanés.
9. Beaucoup de calculs, très rapides, devraient autrement être abandonnés ; ainsi que les recherches qu'eux seuls peuvent nourrir.

10. La mise à jour est considérablement facilitée : il suffit de substituer la nouvelle série statistique à l'ancienne ou, sur des cartes d'inventaire, de modifier les signes des seuls lieux qui ont changé : les cartes topographiques elles-mêmes sont maintenant mises à jour « automatiquement » avec le minimum de frais (modifications de routes, de blocs forestiers, d'espaces bâtis).

11. On peut disposer en un même lieu et en « temps réel », voire avec une seule personne (vous-même) d'une chaîne continue de production, de la collecte des données à la carte, à l'analyse spatiale et à la décision.

Contreparties

Evidemment, ces avantages fondamentaux impliquent des contreparties.

Il faut que les données soient « entrées » en machine de telle façon que l'ordinateur puisse les « lire ». Leur saisie, nécessairement très stricte, suppose logiciel et format adaptés, et un apprentissage, ou le secours d'un claviste compétent. Cela représente un coût non négligeable, il est vrai atténué par le fait que les données seront désormais stockées et toujours prêtes à retraitement.

Il faut une formation qualifiée, rien que pour la *maintenance* des matériels et des logiciels — ou le recours aux sociétés de services.

La forme des cartes n'est pas totalement libre. Elle subit des contraintes selon le matériel et les logiciels employés. Certains ne permettent que des cartes à très faible *définition* (peu de points sur l'écran), sauf à disposer de matériels complémentaires (traçeurs ou imprimantes suppléant l'écran).

Avant la carte

Pour pouvoir faire une carte, il faut du matériel et des logiciels — les outils — et il faut des informations — la matière brute. Ces informations sont de deux sortes : le fond de carte, les données ; c'est-à-dire le levé et le relevé. Toute l'information est en effet ramenée à une sorte de matrice (i,j) où pour chaque lieu (unité spatiale, ou « observation ») en ligne (i) on connaît des valeurs des variables (ou « attributs ») en colonne (j) .

Chaque lieu correspond à un point, un segment de droite (vecteur) défini par ses points extrêmes, ou un polygone, défini par la position des points d'inflexion de ses contours. Tout le *fond de carte (levé)* se ramène donc à un système de points, munis de leurs coordonnées (x,y) , dont la position dans le plan est parfaitement connue, en fonction du système de coordonnées choisi.

A chaque lieu (point, vecteur ou polygone) ainsi désigné, et généralement codé pour simplifier les opérations, sera donc affectée la *série de valeurs (relevé)* qui le caractérisent, dans l'ensemble des variables. Il peut y en avoir des centaines, voire des milliers, pour une commune ou un pays. Dans la pratique, il faut souvent diviser la matrice, qui peut être géante, en autant de sous-fichiers qu'il est nécessaire.

Le fond de carte

Dans le monde spécialisé des cartes de base, les bouleversements apportés par l'informatique sont à la fois immenses, et nuls : l'apparence est intacte, mais toutes les conditions de production sont transformées, et les possibilités de faire des cartes nouvelles, à partir des simples données de base que sont les cotes d'altitude, sont spectaculaires. Il s'agit cepen-

dant d'un univers particulier de professionnels, dont on admire les résultats sans avoir la possibilité de les imiter.

En revanche, la réalisation de cartes thématiques pose, aux chercheurs comme aux gestionnaires ou aux amateurs, un problème de fond : le fond de carte, précisément. On ne peut faire de la cartomatique que si l'on a déjà entré le fond de carte dans la « mémoire » de l'ordinateur : c'est l'une des *deux* opérations de saisie des informations. On réservera le terme de *données* aux valeurs localisées des variables, mais il est évident que les informations qui servent à dresser le fond de carte mériteraient également ce titre.

Il est rare que le fond de carte existe tout prêt. Il faut donc en général l'« entrer » en machine, c'est-à-dire le créer. On a besoin du dessin des polygones qui servent d'unités statistiques (par exemple les départements), et de l'emplacement de leur centre (pour les figurés ponctuels) ; parfois aussi d'autres points (par exemple les emplacements des ports si l'on compte faire des cartes sur des statistiques portuaires, ou des stations climatiques), et d'autres lignes (rivières, voies de communication...).

Tout point est désigné par ses coordonnées : soit deux informations pour un point, quatre pour un vecteur, beaucoup plus pour un polygone. En fait, on parvient aisément à se contenter d'*une seule* dans chaque cas, si un code a été mis au point et enregistré dans la mémoire de l'ordinateur pour chaque polygone (code numérique des communes, à 5 chiffres pour la France ; numéro des cases d'un carroyage ; numéro arbitraire de polygones ou de vecteurs indépendants dans un maillage connu, administratif ou non).

Il existe en gros deux types de procédures de saisie du fond : le mode *vectorel* et le mode à *balayage*.

Dans le premier cas, le plus répandu actuellement et le seul vraiment accessible hors installations lourdes, on utilise une table à numériser (à « digitaliser » en français) qui, à partir d'un cadre qu'on se fixe, transmet directement à l'ordinateur les coordonnées de tout lieu qu'on pointe sur la table, grâce aux informations provenant d'un quadrillage serré de conducteurs électriques, qui forme son armature, et qui est mis sous tension par le crayon spécial qu'on utilise.

On part donc d'un fond de carte déjà dessiné — en fait préparé tout exprès ; on choisit de commencer par un point quelconque, par exemple un angle sur une côte, ou l'intersection de deux limites de circonscriptions, et l'on pointe successivement tous les points remarquables, ceux qui guident les tracés, c'est-à-dire d'abord tous les nœuds du réseau (intersections de limites) puis tous les points d'inflexion des lignes, et l'on identifie un à un les polygones par leurs nœuds. Ultérieurement, on enregistre chaque centre de polygone (à l'emplacement réel du chef-lieu, ou en le déplaçant un peu de crainte qu'ensuite la figure qui serait centrée sur lui ne corresponde mal au polygone qu'il gère). Les polygones ne sont pas simplement l'image des circonscriptions statistiques : ils peuvent figurer les contours de n'importe quelle tache, de n'importe quelle aire homogène : un espace bâti, un marais, un bois, l'étendue des sols calcaires ou l'extension de telle tribu.

Tous les points, lignes et polygones qui seront désignés ensuite pour recevoir des figurés sont donc codés. L'ordinateur mémorise point à point toutes les coordonnées utiles, et les codes correspondants. La quantité de travail nécessaire dépend ainsi du degré de généralisation des contours : les lignes courbes ou trop sinueuses sont à éviter, puisqu'elles sont faites d'une multitude de minuscules segments, et comportent un nombre de points d'inflexion intolérable. La généralisation est un compromis entre l'esthétique de la carte, une certaine fidélité à l'image du réel, et l'économie des moyens. Certains, qui privilégient l'économie à l'excès, font des cartes brutales, laides, qui ne conservent même pas les silhouettes : c'est une question de mesure...

Quelques systèmes sont assez contraints, et manquent de finesse : la carte apparaît calée sur un carroyage sous-jacent, dont le pas (la résolution) dépend au moins en partie des possibilités de l'ordinateur (ou du logiciel), et plus encore de celles des périphériques (écran ou imprimante). Il en est d'ailleurs toujours ainsi ; mais, quand la résolution des appareils est excellente, la trame de fond se fait oublier. A l'inverse on peut être surpris quand la côte des Landes prend le profil d'un escalier ; ce peut être bien moins désagréable à l'œil qu'une généralisation mal faite.

Le mode à balayage nécessite des appareillages plus lourds, mais il est beaucoup plus rapide, puisqu'il est entièrement automatique : un faisceau optique enregistre ligne horizontale après ligne horizontale, et note 1 s'il intersecte une ligne ou un point, 0 s'il ne rencontre rien. L'ordinateur repère les coordonnées de tous les 1. En fait, il lui faut reconnaître aussi les vecteurs et les polygones, et il retranscrit en vecteurs les segments de droites qui délimitent ceux-ci. N'importe quelle forme peut être enregistrée par balayage, et devient une série de points — leur taille est aussi petite que la résolution du système le permet.

Saisie des données

L'automatisation de la gestion des données, tant celles qui définissent le levé (fond de carte) que celles du relevé (valeurs localisées), suppose l'emploi d'un système de gestion de fichiers et une série d'opérations de saisie. La saisie des données proprement dites, celles du relevé, ne se fait en général ni de la même façon ni en même temps que celle du fond de carte.*

L'ordinateur ne souffre ni approximation ni désordre : les opérations de saisie ne peuvent être que strictes. Avec ou sans ordinateur, on devrait toujours être très rigoureux. Sans, on l'est parfois un peu moins ; à tort sans doute, mais on peut interpréter et corriger chemin faisant. Avec, il n'est pas de faux-fuyant. Si l'on a enregistré par erreur 90 000 ouvriers dans la commune 78 646 (Versailles) au lieu de les mettre dans la 75 056 (Paris), l'ordinateur ne corrigera pas spontanément — et l'on n'aura plus qu'à recommencer la carte après rectification ; si l'on s'en est aperçu...

Les opérations de validation des données, qui supposent une relecture attentive de leur enregistrement, sont donc vitales, quoique fastidieuses.

Toute donnée cartographiable est définie en fait par trois groupes de paramètres :

- le *lieu* : il est repéré sur le fond de carte ;
- une *mesure* propre à la variable en un lieu, soit cardinale (une valeur de la variable, absolue ou relative), soit ordinaire (un classement), soit booléenne (0 ou 1, absence ou présence d'une qualité donnée) ;
- une *date*, qui peut être inscrite une fois pour toutes dans le tableau, mais qui n'en existe pas moins.

Pour une date t donnée, ou pour une évolution entre t_0 et t_1 , toute carte est la transposition d'une matrice de n observations (lieux) par p attributs (valeurs des variables). Très souvent il n'y a d'ailleurs qu'une seule variable ; deux dans les corrélations simples ; plusieurs, mais rarement beaucoup, dans les corrélations multiples et les classifications qui leur sont associées : la carte ne met en général en œuvre qu'un très petit extrait du tableau des données disponibles, mais pour l'ensemble des lieux.

La saisie de l'information peut être déjà faite sur bande magnétique ou sur disquette : il suffit alors de transposer ce fichier magnétique dans le format requis — ce qui pose parfois des problèmes fort délicats. Lorsque les données sont seulement manuscrites ou imprimées, mais non enregistrées selon les règles, il faut les faire entrer en machine une à une selon des tableaux préformés : soit par une maison spécialisée, soit par ses propres moyens, ce qui s'apprend. L'enregistrement magnétique direct par lecture optique n'est pas encore vraiment au point ; il pose un difficile problème de reconnaissance automatique des formes, celles des chiffres et des lettres en l'occurrence.

SARL LA GOUTTE D'ENCRE
34 000 Montpellier - France
Tél : 67.65.30.96