

En 2007, le Conservatoire national des arts et métiers (CNAM) a créé une chaire de géomatique et l'a confiée à Laurent Polidori, Directeur de l'ESGT. Ce dernier a bien voulu confier à XYZ, pour le plus grand profit de ses lecteurs, le texte *in extenso* de sa leçon inaugurale présidée par Mme Anny Cazenave.

Les origines et les principes de la géomatique

■ Laurent POLIDORI

Et tout d'abord, qu'est-ce que la géomatique ?

C'est un terme récent, dans lequel une étymologie simpliste permet de retrouver la géographie et l'informatique, mais comme une vaste communauté scientifique et industrielle s'en est emparée d'une manière un peu désordonnée, je vais m'efforcer d'en proposer une définition. Je dirais que la géomatique est un ensemble de techniques géographiques, souvent anciennes et développées séparément, mais auxquelles une mise en œuvre numérique permet désormais de cohabiter dans un même environnement informatisé.

Et pour aller plus loin je vous propose un exposé en quatre parties. Je présenterai d'abord les origines et les principes de la géomatique, j'évoquerai ensuite ses axes de recherche puis ses usages. Enfin je tenterai de répondre à une question que vous vous posez tous : pourquoi le CNAM a-t-il ouvert une chaire de géomatique ?

Je commencerai donc par passer en revue les principales branches de la géomatique qui sont autant d'outils au service de la géographie, des branches qui ont pour tronc commun la géométrie.

Et pour justifier l'importance que je donne ici à la géométrie, je rappellerai que la géographie s'efforce notamment de déchiffrer ces écritures que la nature et la société ont tracées à la surface de la Terre (comme la frontière Etats-Unis Mexique ou la déforestation amazonienne parfaitement visibles sur des images de satellites), mais avant de pouvoir lire et comprendre ces écritures il a fallu doter la surface de la Terre d'une géométrie (qui permet de se repérer) et même d'une topologie (qui permet de définir entre les objets géographiques des relations comme l'inclusion ou l'adjacence). Le socle sur lequel la géomatique est construite, c'est donc la géométrie, et je crois que l'histoire de la géométrie permet de comprendre ce qu'est la géomatique aujourd'hui.

■ **Les géomètres grecs de l'Antiquité** (au-delà de ce qu'en ont retenu les collégiens d'aujourd'hui) ont établi ce qu'on pourrait appeler la géométrie du ciel, c'est-à-dire le canevas géométrique dans lequel s'est développée l'astronomie – une astronomie géocentrique à cette époque, qui impose une description extrêmement complexe du mouvement des astres mais qui se projette très simplement à la surface de la Terre avec le système des méridiens et des parallèles, apparu très tôt et que l'on retrouve dans la célèbre carte de Ptolémée. Il est difficile de ne pas citer Euclide dont le pouvoir d'abstraction a libéré en quelque sorte la géométrie du

support matériel qu'était la Terre (support matériel et d'ailleurs étymologique, puisque géométrie signifie "mesure de la Terre").

■ **A la Renaissance**, on assiste au mariage de la géométrie et de l'algèbre, sous l'impulsion de philosophes comme Oresme, évêque de Lisieux au XIV^e siècle, et bien sûr, Descartes. L'idée, qui nous paraît si simple aujourd'hui, est de remplacer un point par ses coordonnées, un objet par son équation et donc un raisonnement géométrique par un calcul. A partir de là, la géométrie va profiter de toutes les avancées de l'algèbre. En particulier les travaux de Newton sur la gravitation universelle et de Leibnitz sur le calcul infinitésimal vont contribuer à la naissance de la géométrie différentielle, qui permet de prédire la trajectoire d'un astre et plus généralement, de décrire toutes sortes de courbes et de surfaces dans l'espace.

■ Par son efficacité et sa richesse, la géométrie différentielle va ébranler les fondements de la géométrie d'Euclide, et susciter au **XIX^e siècle** le développement d'une géométrie non euclidienne, en particulier une géométrie sphérique qui permet que dans un triangle la somme des angles soit différente de 180°. Les détracteurs de cette nouvelle géométrie mettront du temps à reconnaître que loin de détruire l'ancienne géométrie, elle l'étend et l'englobe. *La géométrie non-euclidienne*, dit Bachelard, *est constituée en bordure de la géométrie euclidienne, et elle dessine du dehors, avec une lumineuse précision, les limites de l'ancienne pensée.* Cette nouvelle géométrie va favoriser le développement de la relativité qui a besoin de pouvoir courber l'espace, et

pour ce qui nous concerne plus directement, elle va permettre à la géodésie de construire des correspondances entre la surface de la Terre et la surface plane de la carte.

■ Au **XX^e siècle** on voit se développer une géométrie chaotique, dans laquelle la position d'un point est obtenue par tirage d'une variable aléatoire dont la loi de probabilité, ou le comportement statistique, est une caractéristique, une signature, de l'objet que l'on reconstitue avec ces points. La modélisation des paysages terrestres a donc utilisé des modèles théoriques comme le mouvement brownien ou les surfaces fractales pour rendre compte de la complexité de l'environnement naturel. Je citerai le cas de la côte bretonne qui a inspiré les travaux de Benoît Mandelbrot sur les fractales. Enfin, le développement de l'informatique va donner naissance à une géométrie numérique, avec des possibilités de programmation et de calcul formel, notamment pour résoudre des problèmes qui n'ont pas de solutions exactes mais des solutions itératives ; avec bien sûr de nouvelles possibilités graphiques ; et l'on a vu apparaître une géométrie discrète, dans laquelle les points sont remplacés par des pixels et qui sert de base à la réalité virtuelle – ou pour employer notre jargon, à la photogrammétrie numérique. C'est cette géométrie numérique qui a permis le développement des logiciels de dessin technique et de système d'information géographique.

Toutes ces avancées de la géométrie ont donc alimenté les unes après les autres la boîte à outils disponible aujourd'hui en géomatique.

Les progrès de la géométrie ont directement servi **la géodésie**, qui les a également suscités (rappelons que la géodésie étudie la forme de la Terre et les possibilités de s'y localiser). Je me méfie toujours de la facilité avec laquelle chaque science peut s'auto-proclamer mère de toutes les autres, mais il faut bien reconnaître que toutes les sciences géographiques, dont la géomatique est l'héritière, doivent beaucoup à l'astronomie, sans laquelle la géographie serait restée locale et descriptive, nous vivrions sur une terre plate, et nous n'aurions même pas pu nous donner rendez-vous ce soir puisque nous n'aurions pas de calendrier. C'est l'observation du ciel qui très tôt a permis de se localiser selon le principe que je résumerai ainsi : *"dis-moi ce que tu vois et je te dirai où tu es"*, d'abord par la mesure des latitudes maîtrisée dès l'Antiquité, puis des longitudes à partir du XVIII^e siècle. Et ce sont donc des astronomes qui ont dimensionné notre planète, depuis Eratosthène qui a procédé dans l'Égypte antique à la première détermination rigoureuse du rayon terrestre, jusqu'à La Condamine et Maupertuis, que l'Académie des Sciences a envoyés autour de 1740, respectivement au Pérou et en Laponie pour y constater que les rayons de courbure sont différents et confirmer ainsi l'aplatissement de la Terre aux pôles.

À la fin du XX^e siècle, diverses techniques ont été développées pour mesurer la Terre et ses déformations en utilisant des satellites artificiels. Je citerai en particulier :

- la télémétrie laser sur satellite qui exploite des mesures de distance entre des sources laser fixes et des satellites géodésiques ;

- un certain nombre de systèmes de localisation radio dont le plus connu est le GPS ;
- l'interférométrie radar qui consiste à envoyer des ondes radar depuis un satellite et à en traiter les échos pour mettre en évidence des déformations centimétriques de l'écorce terrestre, déformations dont l'amplitude apparaît sous la forme de franges d'interférences ;
- enfin l'altimétrie radar qui détermine la distance entre un satellite parfaitement positionné et la surface de l'océan dont on peut ainsi cartographier la hauteur, ce qui fournit une information précieuse sur le champ de pesanteur terrestre. En effet, l'océan étant fluide, sa surface épouse à peu près les ondulations du champ de pesanteur et matérialise ce qu'on appelle le géoïde, que l'on peut donc observer par des moyens purement géométriques – tandis que sur les terres émergées la détermination d'une hauteur au-dessus du niveau de la mer n'est qu'indirecte : les méthodes géométriques ne suffisent plus et il est plus difficile de se passer de méthodes gravimétriques telles que le niveau à bulle ou le fil à plomb.

Les satellites ont donc remplacé les étoiles mais le principe reste le même, et toutes ces techniques, seules ou combinées, permettent de déterminer avec une précision centimétrique voire millimétrique, des positions et des déformations géophysiques.

Pour relier entre elles des mesures faites en différents points, on a cependant toujours recours à **la topographie**, utilisée par ailleurs pour la description de territoires plus restreints, et qui consiste essentiellement à mesurer des angles et des distances – le problème étant que la mesure de distance est longtemps restée très rudimentaire et viable uniquement sur de courtes distances, tandis que la mesure d'angle progressait régulièrement à mesure que les instruments optiques progressaient. Avec l'invention de la triangulation, on remplace la mesure d'une très grande distance par un grand nombre de mesures angulaires dans une chaîne de triangles, une seule mesure de distance, le côté d'un des triangles, suffisant en principe pour mettre le tout à l'échelle. Lorsque Colbert crée l'Académie des Sciences en 1666, les triangulations vont permettre de rectifier les dimensions du royaume, d'envisager la mesure de l'aplatissement terrestre auquel je faisais allusion précédemment et bientôt de donner le coup d'envoi à la carte de Cassini. On voit donc cohabiter la topographie des arpenteurs, très localisée, souvent sollicitée pour les besoins du cadastre, et la topographie des grands chantiers qui va accompagner la géodésie jusqu'à l'arrivée des satellites.

Un progrès décisif surviendra à la fin du XX^e siècle avec, d'une part, le positionnement par GPS qui permet de localiser un point indépendamment de ses voisins, et d'autre part, les distancemètres électroniques, qui envoient un rayon laser vers un prisme et déterminent une distance à partir du temps de propagation aller-retour et des caractéristiques de l'atmosphère traversée. On verra finalement les mesures d'angle et de distance cohabiter au sein d'un même instrument qu'on appelle la station totale, et qui est un peu le standard actuel pour la topographie.

■ ■ ■ Il existe dans les caves de l'ESGT au Mans un banc d'étalonnage qui permet justement d'étalonner des distancemètres.

Le même principe peut être appliqué non plus à des miroirs, mais à des surfaces naturelles, et l'écho reçu dépend évidemment des caractéristiques de la surface observée. On utilise alors des scanners qui bombardent la surface observée de tirs laser et qui recueillent de grandes quantités d'échos, chaque écho donnant un point en 3 dimensions. Le nuage de points doit ensuite faire l'objet d'une modélisation, consistant à déterminer une surface qui passe à peu près par tous ces points et à laquelle on puisse donner une signification.

Cette technique peut être mise en œuvre au sol (pour lever des façades ou des intérieurs de bâtiments), ou à bord d'un avion ou d'un hélicoptère pour l'acquisition de modèles de terrain, et il faut signaler qu'à l'heure actuelle, c'est la seule technique qui permette de cartographier le sol à travers une épaisse couverture végétale.

Je dois à présent mentionner l'importance croissante qu'a prise la **photographie aérienne** depuis un siècle, aux côtés de la topographie traditionnelle. Le pionnier est Félix Tournachon, plus connu sous le nom de Nadar, qui dans les années 1860 monte en ballon pour photographier Paris, et qui a très bien compris, à en juger par les brevets qu'il a déposés, l'intérêt de la photographie aérienne pour des finalités tant civiles que militaires. En pratique, il faut attendre l'entre-deux-guerres pour que la photographie aérienne se développe, avec le développement de l'aviation et plus récemment du satellite.

Parallèlement, le développement de chambres photographiques dont on maîtrise la géométrie, va permettre la mise en œuvre de la photogrammétrie.

La photogrammétrie est une technique qui consiste à mesurer la surface observée à partir de clichés acquis en configuration stéréoscopique, en utilisant d'une part la vision stéréoscopique pour mettre en correspondance les deux images, et d'autre part une modélisation mathématique de la géométrie de prise de vue.

Le matériel utilisé pour ce qu'on appelle la restitution photogramétrique a connu trois générations. D'abord, les restituteurs analogiques, opérationnels depuis les années 1940, qui reconstituent la géométrie de prise de vue par des moyens optiques et mécaniques. Ensuite, les restituteurs analytiques, qui ont pris le relais avec le développement de l'informatique. Enfin, les restituteurs numériques qui tournent aujourd'hui sur PC.

Au-delà de la mesure du terrain, la photogrammétrie permet de redresser des photographies pour les rendre superposables à des cartes. En effet la photographie présente au départ des déformations qui font qu'elle n'a pas une échelle constante, d'une part à cause du relief, d'autre part à cause de l'inclinaison de l'axe de visée. La connaissance des paramètres de prise de vue, et du relief sous la forme d'un modèle numérique de terrain, permet ainsi de corriger ces déformations et d'obtenir une orthophoto, un produit qui a la radiométrie (ou si vous préférez la couleur) de l'image qui lui a

donné naissance, mais qui a la géométrie d'une carte. Je reviendrai sur les vertus de ce produit.

Dans la seconde moitié du XX^e siècle, on a vu se développer aux côtés de la photographie traditionnelle, une multitude de capteurs de **télé-détection**, embarqués sur avion ou satellite, qui permettent de déduire les propriétés d'un objet éloigné à partir de l'énergie électromagnétique qu'il émet ou qu'il réfléchit. La variété de ces capteurs peut être décrite en termes de longueur d'onde. Chaque type de surface a un certain comportement spectral, c'est-à-dire une aptitude à réfléchir ou émettre chaque longueur d'onde, et chaque capteur effectue des mesures dans certaines longueurs d'onde qui seront adaptées à l'étude de certains milieux et pas à d'autres, le but étant à chaque fois de donner une signification géographique au signal. Je cite rapidement les capteurs optiques qui ne font que généraliser la photographie traditionnelle en débordant notamment sur l'infrarouge pour être plus sensibles à la végétation, les capteurs thermiques qui sont sensibles à la température de la surface, enfin les capteurs radar très sensibles à la géométrie du terrain, ce qui les rend très intéressants pour la cartographie, en plus de leurs capacités dites "tout temps" car un radar peut fonctionner de jour comme de nuit et n'est quasiment pas affecté par les conditions météorologiques.

Parmi les capteurs de télé-détection, le géomaticien est évidemment sensible à l'intérêt de ceux qui organisent le signal reçu sous la forme d'une image en deux dimensions, de sorte qu'à la mesure physique qui peut aider à identifier la nature d'un objet, s'ajoute une information géométrique qui nous renseigne sur sa forme et sur ses dimensions. Le traitement d'images vient donc compléter la physique de la mesure.

L'analyse des images impose, comme pour la topographie, une étude des effets de l'atmosphère sur la propagation de la lumière, notamment la diffusion. On sait que la couleur du ciel est un indicateur de sa composition, comme nous le rappelle une multitude de dictons populaires. Quand on regarde la Terre depuis l'espace, donc de haut en bas, on ne voit pas la couleur du ciel mais la couleur de la terre est altérée par l'atmosphère et il convient donc d'étudier les phénomènes atmosphériques pour débarrasser la couleur de leur influence.

En ce qui concerne la résolution des images de satellites, c'est-à-dire le plus petit détail qu'on puisse séparer de son voisin, elle est longtemps restée cantonnée entre 10 et 30 m, mais depuis quelques années, des résolutions de l'ordre du mètre qui auparavant étaient réservées aux satellites militaires, ont fait leur apparition dans le domaine civil et les images acquises par satellites sont devenues comparables à celles acquises par avion. D'une image acquise par satellite avec une résolution métrique, il est très difficile de savoir si elle est acquise par satellite ou par avion, cela devient transparent pour l'utilisateur. Une seule différence subsiste quand même: la possibilité d'accéder au produit en un temps donné reste tributaire de contraintes orbitales.

Une autre branche importante de la géomatique est la **géo-statistique**. Développée au départ pour les besoins de la pros-

peption minière, c'est un peu l'art de décrire des phénomènes spatialement continus à partir de mesures ponctuelles. Elle permet de caractériser la variabilité de phénomènes géographiques au moyen d'indicateurs, qui distinguent un phénomène très régulier donc prévisible, d'un phénomène irrégulier donc imprévisible. On fait de la géostatistique comme on fait de la prose, et quand vous écoutez les informations, elle est sous-jacente quand on vous parle de la météo, des embouteillages ou du résultats des élections, et l'on essaie à chaque fois de donner une signification macroscopique à des variables géographiques qui sont localement extrêmement chaotiques. Pour revenir à la cartographie, la géostatistique fournit des critères pour adopter une stratégie d'échantillonnage, c'est-à-dire pour sélectionner le meilleur ensemble de points permettant de décrire une surface, ou inversement, pour reconstituer une surface continue à partir d'un semis de points, en obéissant d'une part à ces mesures ponctuelles dont on n'a pas le droit de trop s'écarter, et d'autre part à des règles générales qui gouvernent l'organisation spatiale du phénomène – et si je prends l'exemple du relief terrestre, ces règles nous disent notamment que les rivières descendent, ou que les pentes abruptes sont rares en raison de leur instabilité.

Enfin, parmi les branches de la géomatique, celle qui va le plus loin vers l'utilisateur, qui est un peu la partie émergée de l'iceberg, c'est le **système d'information géographique**. Un SIG est constitué, pour simplifier, d'une base de données géoréférencée, d'un langage qui interroge les données, et d'un certain nombre d'accessoires en particulier graphiques, qui ont repris les principes sémiologiques de la cartographie classique en termes de communication, avec bien sûr, infiniment plus de possibilités, notamment la possibilité, pour chaque utilisateur, d'imposer ses propres préférences. Dans cette base de données, on va voir cohabiter des données vecteur (faites de points, de lignes et de polygones), et des données raster (faites de pixels, qui peuvent être typiquement des photographies ou des cartes scannées), le tout étant superposable point à point, comme ce plan cadastral superposé à une orthophoto. Je précise que la notion de superposabilité n'a de sens que dans un monde analogique, c'est-à-dire sur le papier ou à l'écran, et que dans le monde numérique elle n'est que virtuelle. Je veux seulement pouvoir récupérer toutes les informations relatives à un même point, quelle que soit la manière dont elles sont stockées.

Cet outil a eu rapidement un immense succès auprès des gestionnaires du territoire notamment les collectivités. Il a donc joué un rôle très important dans un contexte de décentralisation. Cependant, la chronologie de son développement n'a pas été optimale, car les SIG ont été livrés à d'innombrables utilisateurs avant d'avoir atteint une totale simplicité d'usage, et l'on a vu des utilisateurs de ces systèmes être détournés vers des préoccupations informatiques qu'ils n'avaient pas soupçonnées, qui font qu'ils ont souvent géré leurs données au lieu de gérer leur territoire.

Enfin, je voulais relever un paradoxe : de toutes les techniques que j'ai citées, le SIG est la seule qui soit postérieure à la révo-



Superposition d'un plan cadastral et d'une orthophoto dans un SIG.

lution numérique, mais paradoxalement, elle semble avoir du mal à se débarrasser des principes de la cartographie papier. J'en citerai deux symptômes.

- Les SIG imposent souvent une conception statique du territoire, alors que les gestionnaires de l'environnement ont besoin de se projeter dans le futur pour évaluer l'impact à venir des changements qui s'opèrent aujourd'hui. La superposabilité des différentes couches d'information devrait être conçue non pas en 2 ou 3 dimensions, mais en 4 dimensions, si l'on veut pouvoir prédire des concomitances non seulement spatiales mais aussi temporelles.
- Deuxième symptôme : les SIG affectionnent les paysages structurés, dans lesquels les parcelles ont des limites discontinues et des contenus homogènes. C'est très commode pour la programmation qui manipule des objets, chaque parcelle étant en effet un objet avec des attributs et des relations topologiques avec ses voisins, mais c'est très mal adapté pour beaucoup de paysages naturels. On peut dire, là encore, que le SIG transpose sous forme numérique la conception géométrique qui a toujours prévalu dans les cartes papier.

Ayant survolé les principaux domaines techniques qui constituent ce qu'on appelle aujourd'hui la géomatique, je voudrais à ce stade ouvrir une parenthèse, et signaler une propriété extrêmement intéressante de la surface terrestre que la géomatique utilise toujours, au moins de manière implicite. C'est que la Terre, que l'on pourrait considérer comme un objet en 3D, est en réalité un objet en 2D1/2. Ce qui signifie qu'à toute

■ ■ ■ position horizontale de coordonnées (x,y) correspond une seule valeur de l'altitude z. La surface terrestre a donc cette vertu du bas-relief qui regardé de face ne présente aucune partie cachée. C'est vrai pour le relief naturel, à l'exception de rares surplombs. Le milieu urbain également fait exception, et l'on est bien content s'il pleut de pouvoir s'abriter sous un porche.

Cette propriété est due à la masse gigantesque de la Terre qui, à la différence des petits astéroïdes, attire toute chose vers son centre avec une force à laquelle les matériaux ne résistent pas longtemps. C'est donc la gravité qui confère à la Terre cette forme sphérique et n'a de cesse de l'entretenir, aidée en cela par les phénomènes d'érosion.

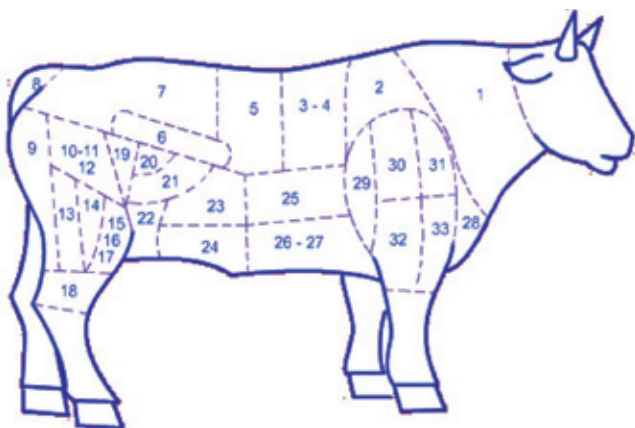
Cette propriété est très intéressante, car elle permet de séparer la troisième dimension, qui fait l'objet du nivellement, des deux premières. Et ce sont ces deux coordonnées dites géographiques (parmi lesquelles la rotation de la Terre permet en outre de distinguer spontanément une latitude et une longitude), que l'on a appris depuis plusieurs siècles à associer aux coordonnées planes de la carte, en les projetant sur une surface plane ou du moins que l'on pourra rendre plane sans déformation, ni déchirure.

Cette vertu de la Terre se retrouve dans d'autres objets, et de même que la Terre présente une symétrie sphérique, le bœuf, dont la carte est exposée chez votre boucher, présente une symétrie plane. Il a un avant et un arrière, et une forme convexe et symétrique qui permet, par une projection simple, de représenter la totalité de sa surface sur une feuille de papier en deux dimensions.

Je referme cette parenthèse pour évoquer à présent les thèmes qui font l'objet de recherches en géomatique.

La recherche en géomatique

Je rappelle qu'à la géographie qui vise à comprendre les phénomènes qui sont à l'œuvre à la surface de la Terre, la géomatique, que je viens de vous présenter sous un angle technique, rajoute un outillage qui est sans cesse perfectionné, faisant l'objet de recherches technologiques. La géomatique, même si elle est une facette de la géographie, relève donc de ce que la nomenclature en vigueur appelle les sciences pour l'ingé-



Exemple d'un objet en 2D 1/2 : le bœuf

nier. Mais alors, quel genre de recherche faisons-nous ? Il me semble que la question de la limite entre recherche technologique et fondamentale est un peu mystificatrice et pour tout dire néfaste. C'est cette question qui a valu à Galilée les ennuis que nous savons, car s'il avait le droit de faire de la recherche technologique en perfectionnant sa lunette, il n'était pas question de déchiffrer les intentions du Créateur. Pour la géomatique qui s'intéresse d'abord à l'outil je revendique donc, autant que de besoin, un droit d'incursion dans le champ de l'objet d'étude, car on peut difficilement mettre en œuvre une surveillance ou une modélisation d'un environnement que l'on est pas, déjà, en train d'étudier.

Cette vision schématique me permet de mentionner des pistes de recherche de trois types différents.

1. Des recherches sur l'outil, qui visent à tirer parti d'évolutions technologiques dans le domaine des satellites, de l'informatique, de l'optique, de l'électronique etc. par des ajustements incessants des méthodes géomatiques. Ces travaux sont souvent stimulés par la volonté d'automatiser des processus de mesure ou de cartographie, et ils peuvent donner lieu, typiquement, au développement d'instruments robotisés ou de logiciels de traitement.
2. Des travaux dans lesquels les méthodes géomatiques sont mises au service de programmes de recherche en sciences de la Terre ou de l'environnement, des programmes qui visent généralement à mettre en évidence des phénomènes géophysiques, biologiques ou sociaux. Dans ce cas le rôle de la géomatique est non seulement de fournir des données, mais de contribuer à l'élaboration de modèles mathématiques où cohabitent les influences de l'instrument et du milieu observé sur la mesure obtenue. La difficulté consiste alors à débarrasser le signal qu'on prétend décrypter, des traces que le système de mesure aurait pu y laisser.
3. Je voudrais insister sur les recherches qui se situent à l'interface et qui visent, en quelque sorte, à fluidifier cette boucle vertueuse par laquelle la connaissance de l'environnement et les performances des outils s'alimentent mutuellement.

Je voudrais en donner deux exemples.

Premier exemple : l'observation de grandeurs non observables. Cartographier le sol quand on ne voit que la canopée forestière ; cartographier le fond de la mer quand on ne voit que la surface ; cartographier la densité de population quand on ne voit que la densité des constructions ; c'est possible dans une certaine mesure grâce à une judicieuse collaboration entre télédétection et géostatistique, utilisant, d'une part, la mesure abondante d'une grandeur observable (en l'occurrence par télédétection), d'autre part un lien présumé entre les deux grandeurs, et enfin une connaissance partielle de la grandeur non observable sous la forme de quelques valeurs et d'un comportement théorique.

Deuxième exemple : un problème récurrent, transversal à toutes les branches de la géomatique, le problème du changement d'échelle. Quelle échelle d'observation choisir pour détecter un phénomène ? Quelle échelle d'affichage pour le



**A gauche un lotissement ou des maisons (cliché IGN)
A droite un portrait d'homme ou un panier de légumes
(peinture de Giuseppe Arcimboldo)**

rendre compréhensible ? Comment faire un zoom dans une image ? L'échelle d'observation a-t-elle un impact sur ce que l'on voit ? Lorsqu'on nous parle d'un changement global, n'est-ce pas la conclusion d'une série d'observations qui s'étalent sur plusieurs décennies avec des instruments sans cesse plus résolus ? Alors, comment savoir si ce changement d'échelle n'a pas influencé nos conclusions ?

Comment transférer d'une échelle à l'autre le sens de la carte ? C'est le problème classique de la généralisation cartographique qui vise à automatiser la réduction d'échelle d'une carte. On imagine parfois qu'on voit mieux en se rapprochant. Je crois plutôt qu'on ne voit pas la même chose. Dans cette photographie aérienne, vous voyez des maisons si vous êtes au premier rang, et un lotissement si vous êtes au dernier rang. De même que dans cette peinture d'Arcimboldo, ceux du dernier rang voient le portrait d'un homme, tandis qu'au premier rang, nous reconnaissons un panier de légumes. Vous voyez donc que l'on donne spontanément au paysage des noms qui dépendent de l'échelle, et que le problème du changement d'échelle est donc, également, un problème linguistique. La géographie classique, descriptive, dotée d'un riche vocabulaire, n'a pas trop de mal à naviguer d'une échelle à l'autre, et elle peut inspirer la cartographie qui doit, quant à elle, renouveler ses symboles à chaque changement d'échelle.

Je ferai une dernière observation sur la recherche en géomatique, c'est que cette discipline est un formidable moteur pour l'interdisciplinarité après laquelle courent tous les chercheurs. Lorsqu'on s'intéresse par exemple, à des phénomènes géophysiques comme des déformations annonciatrices de séismes ou d'éruptions volcaniques, ou l'élévation du niveau moyen des océans, il est clair qu'entre la mise en évidence de ces phénomènes, leur modélisation, leur cartographie, l'étude de leur impact socio-économique et leur communication à l'adresse du grand public, la géomatique va intervenir à toutes les étapes, faisant le lien entre la physique du globe et les sciences humaines.

Vous voyez donc à partir de ces quelques exemples que la géomatique est un domaine extrêmement fécond en matière

de recherche, mais qu'aucun développement technologique en la matière ne pourrait se passer des lumières de la géographie classique.
Voyons à présent quels sont les usages de la géomatique.

Les usages de la géomatique

Historiquement, les techniques géographiques sont en grande partie tournées vers des usages militaires, des levés de fortifications à la célèbre carte d'état major – et je rappelle que l'IGN n'est civil que depuis 1941 et que dans un certain nombre de pays la cartographie officielle incombe encore à la défense.

Je citerai d'autres usages traditionnels comme le cadastre, la cartographie géologique et minière, et l'aide à la navigation ou à la circulation routière. Dans tous ces domaines, on a vu cohabiter un usage professionnel et un usage grand public, comme nous le rappelle le cadastre que l'on trouve dans toutes les mairies, et la carte routière que l'on trouve dans toutes les boîtes à gants. Je rappelle par ailleurs que tous ces usages ont récemment connu le transfert de la cartographie papier vers des supports numériques. En particulier, le cadastre sera avant la fin de cette année accessible via internet à tout citoyen, ou plus exactement à tout internaute.

La photographie aérienne a sans doute contribué à diversifier les domaines d'utilisation de l'information géographique, puisqu'une même image nous montre le relief, l'eau, la végétation, les infrastructures et bien d'autres choses, et la géomatique avec toutes ses fonctions techniques que je citais tout à l'heure, et venue se mettre au service de l'agriculture, de l'urbanisme, de l'écologie, de la gestion des risques et de nombreux secteurs professionnels qu'il serait trop long d'énumérer.

Pour répondre à des besoins aussi variés on a vu se constituer des bases de données, qui sont à la fois des normes et des produits. La constitution et la gestion de telles bases de données incombe assez naturellement aux pouvoirs publics. En France, le gouvernement a confié à l'IGN la réalisation d'un certain nombre de bases de données qui héritent peu ou prou des contenus des cartes papier existantes. A une échelle plus locale ou dans des domaines plus spécifiques, on voit des collectivités, des gestionnaires de réseaux, des coopératives d'exploitants agricoles ou forestiers, constituer des bases de données géographiques qui n'ont aucune raison de suivre toutes les mêmes spécifications. Il existe alors une demande pour une aide à la maîtrise d'ouvrage, qui fait en quelque sorte l'interface entre des ressources techniques et les besoins d'un gestionnaire. C'est un peu un nouveau métier qui se développe.

Sur les usages je n'en dirai guère plus, si ce n'est pour signaler deux grandes tendances.

La première tendance est que la géomatique s'ouvre de plus en plus aux grandes questions d'environnement et de société, et vous trouverez rarement un sujet d'actualité où elle n'ait pas son mot à dire. Le Tour de France et le Paris-Dakar certes, mais aussi la grippe aviaire, les OGM, la crise du Darfour ou une

■ ■ ■ marée noire. La misère et la maladie ont des stratégies géographiques, des stratégies de champ de bataille, et la géomatique peut nous aider à les comprendre pour mieux les combattre, surtout si notre intention de les combattre est sincère. La seconde tendance est que la géomatique a récemment fait irruption dans la vie des citoyens, donnant lieu à un usage populaire de l'information géographique. Cela ne va pas sans quelques contraintes liées notamment à la protection de la vie privée, mais nous pouvons constater que l'information géographique se démocratise dans le sens plein de ce terme. N'oublions pas que la carte est classifiée dans les régimes totalitaires. Le levier de cette évolution est la géomatique en tant qu'outil, et sa conséquence est une meilleure connaissance du territoire par ses habitants.

Par exemple, la collaboration du GPS et du SIG permet aujourd'hui de guider les automobilistes avec une assez grande fiabilité et pour un prix modique. Par ailleurs, tout est prêt techniquement pour que tout citoyen ait accès à une information géographique de qualité raisonnable en tout point du globe – du moins une information statique et en lecture seule. Les obstacles éventuels à cette consultation générale sont d'ordre économique et juridique plutôt que technique, et les initiatives qui réussissent sont celles qui ont eu les moyens de dépasser ces obstacles. La première initiative de grande envergure, Google Earth, date d'il y a deux ans. D'autres initiatives ont suivi, comme le Géoportail de l'IGN.

Enfin, l'orthophoto qui tend à supplanter la carte traditionnelle pour des raisons économiques, puisque sa fabrication est moins coûteuse au km², présente également une vertu importante pour le grand public.

La carte, chargée de symboles, est conçue conformément à la perception qu'a le cartographe du territoire, tandis que l'orthophoto est compatible avec toutes les perceptions. Elle ne peut pas mentir, et cette absence de suspicion en fait un document très intéressant pour les déclarations agricoles, pour les enquêtes publiques ou toute autre confrontation entre le citoyen et l'administration portant sur l'environnement.

C'est la seule couche d'information dans une base de données géographiques, qui puisse être lue par une personne dépourvue de toute culture technique, par une personne analphabète, par un enfant. Les Indiens d'Amazonie, qui ne reconnaissent pas les limites administratives figurant sur la cartographie officielle, retrouvent dans les images de satellites les limites naturelles qu'ils connaissent, et certains envisagent d'utiliser ces données pour défendre leurs droits territoriaux. L'orthophoto est donc un moteur majeur de la démocratisation de l'information géographique.

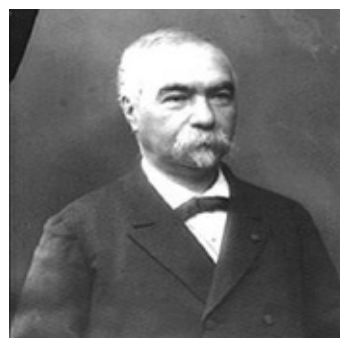
Enfin, dernière question : pourquoi une chaire de géomatique au CNAM ?

la géomatique au CNAM

Il se trouve que malgré son intitulé contemporain, cette chaire plonge ses racines très profondément dans l'histoire du Conservatoire.

On constate d'abord, au vu de ce que je viens d'exposer, que les sciences géographiques prennent naturellement leur place parmi les arts dont l'abbé Grégoire prétend éclairer la nation lorsqu'il crée le Conservatoire en 1794. Cette période est l'aboutissement du siècle des Lumières au cours duquel on a déterminé la forme aplatie de la Terre et appris à mesurer les longitudes, quelques années avant la création du cadastre napoléonien dont nous célébrons en cette fin 2007 le bicentenaire. C'est aussi en cette période révolutionnaire que les astronomes Delambre et Méchain transportent leurs instruments le long du méridien de Paris entre Dunkerque et Barcelone pour un projet éminemment humaniste qui consiste à définir une unité de longueur universelle, le mètre, comme une fraction du méridien terrestre. C'est une justification que je construis avec 200 ans de retard, mais elle n'aura de cesse de se confirmer.

Dans les années 1850 un officier de l'armée française, Aimé Laussedat, a l'idée d'utiliser des photographies de paysages non seulement pour observer le terrain mais aussi pour le mesurer. Il met ainsi au point une technique qui s'appellera plus tard la photogrammétrie.



Aimé Laussedat (1819-1907)

Laussedat est professeur au CNAM en 1873, titulaire de la chaire de géométrie appliquée aux arts où il est souvent question de topographie, et celui que l'on peut considérer comme l'inventeur de la photogrammétrie sera même directeur du Conservatoire de 1881 à 1900. Il disparaît en 1907 sans avoir connu la photogrammétrie aérienne qui va se développer entre les deux guerres, et dans les années 1930 c'est à nouveau un directeur du CNAM qui va jouer un rôle majeur dans le développement de ces techniques et dans leur transfert de la recherche vers l'industrie, Louis Ragey. Passionné par les sciences géographiques, il participe lui-même à tous les congrès de photogrammétrie dont il rend compte au Conseil de Perfectionnement, et en 1937, il crée une chaire de photogrammétrie et recrute l'hydrographe Henri Roussilhe.

Pour équiper un atelier de photogrammétrie, Roussilhe va demander des sommes colossales que le Conservatoire n'aura pas les moyens de lui offrir. Je rappelle pour rassurer la direction du CNAM que la géomatique utilise aujourd'hui des PC. Roussilhe arrive néanmoins à s'équiper grâce des soutiens extérieurs, notamment le Ministère de l'Air et la profession des géomètres-experts qui n'est pas encore un Ordre. Et justement, c'est encore Louis Ragey qui sera en 1946 l'artisan de la création de l'Ordre des Géomètres-Experts, une reconnaissance que la profession réclame depuis un siècle.

Il existe alors un diplôme de géomètre-expert depuis 1929, mais la profession a besoin d'augmenter la cadence de la formation. Le CNAM crée d'abord un Institut de Topométrie en



Le premier Conseil Supérieur de l'OGÉ en 1946 (au premier plan à gauche, Louis Ragey, directeur du CNAM, commissaire du gouvernement auprès de l'Ordre).

1939, avec des cours du soir pour les parisiens et des cours par correspondance pour les provinciaux, mais cet institut est loin de couvrir les besoins de la profession. A la fin de la guerre, le Comité Central Interministériel des Travaux Géographiques, qui est chargé de normaliser les travaux géographiques entrepris par les services publics (c'est donc l'ancêtre du CNIG) reconnaît d'une part le manque de géomètres face aux besoins de la reconstruction et de l'agriculture, et d'autre part la nécessité d'utiliser des méthodes plus précises et plus rapides. C'est une allusion claire à la photogrammétrie, et c'est donc à Louis Ragey, directeur du CNAM, qu'est confiée en 1946 la mission de créer l'ESGT, qui reste aujourd'hui encore la principale voie d'accès à la profession de géomètre-expert.

L'Ordre des Géomètres-Experts et l'ESGT sont donc nés la même année, et du même père.

En 1940 le général Louis Hurault parvient en quelques mois à dissoudre le Service Géographique de l'Armée, et à créer l'IGN dont il sera le premier directeur. Les statuts de l'IGN qui sont signés en avril 1941 mettent en place l'École Nationale des Sciences Géographiques (ENSG). Dès sa création en 1946, l'ESGT pourra bénéficier de l'équipement technique de l'ENSG, et soixante plus tard, les deux écoles envisagent une collaboration plus rapprochée encore.

Après la guerre, la chaire de photogrammétrie, laissée vacante par Roussilhe malade, accueille un nouveau professeur titulaire, Georges Poivilliers, inventeur d'instruments qui seront utilisés dans le monde entier pendant un demi-siècle, Poivilliers qui sera membre puis président de l'Académie des Sciences. C'est donc dans un contexte intellectuel extrêmement propice que l'Institut de Topométrie puis l'ESGT sont créés.

Aujourd'hui, la chaire de géomatique qui vient d'être créée et qui est domiciliée dans les locaux de l'ESGT au Mans, vient prendre sa place dans cette histoire. Depuis l'époque de

Poivilliers, on a vu entrer en scène le satellite et l'ordinateur. Plus récemment, le GPS, la photographie numérique et une informatique légère et bon marché viennent bousculer la manière de travailler et la structuration du marché de l'emploi. Compte tenu de ses missions et de ses relations avec les milieux professionnels, le CNAM se doit, au travers de sa chaire de géomatique, d'évaluer ces impacts et de proposer des formations adaptées, tenant compte à la fois des besoins immédiats des professionnels et des grands enjeux écologiques et sociaux des prochaines années. L'ESGT se consacrant à la formation d'ingénieurs, la chaire de géomatique se consacra à d'autres diplômes, dans le domaine de la géomatique appliquée notamment à l'aménagement foncier.

Malgré une implantation provinciale, un rapprochement avec l'IGN est en train de se réaliser par le biais des formations d'ingénieur. Un autre rapprochement devra être entretenu, avec la géographie enseignée à l'université, souvent peu outillée mais sans laquelle la géomatique se limiterait à la sécheresse d'une série de mesures.

Quel est l'avenir de la géomatique ? Comme vous, je l'ignore. Je propose modestement de poursuivre l'œuvre de mes prédécesseurs en inculquant aux futurs géomètres les fondements théoriques qui leur permettront de faire face aux mutations technologiques à venir, en faisant fructifier l'héritage historique que je viens d'évoquer succinctement, et en rappelant aux apprentis que la technique ne résout pas tout, et qu'en matière d'aménagement du territoire, le meilleur choix peut aussi être inspiré par le respect de la nature et la convivialité entre les hommes. On peut ainsi espérer que ces géomètres qui auront dessiné de nouveaux paysages sauront, le moment venu, poser leurs outils, comme le sculpteur légendaire Pygmalion avait posé ses outils pour se délecter de son œuvre. ●

Remerciements

Je voudrais tout d'abord exprimer ma reconnaissance à la direction du Conservatoire National des Arts et Métiers et aux membres de son Conseil de Perfectionnement, pour le témoignage de confiance qu'il m'ont apporté en me confiant la direction de cette nouvelle chaire de géomatique et de l'École Supérieure des Géomètres et Topographes qui lui est désormais associée. Je remercie également Madame Anny Cazenave, qui m'apporte un parrainage précieux et dont les travaux de recherche sur les applications géophysiques des technologies spatiales, servent un peu de point de mire à la jeune équipe que j'ai maintenant la charge d'animer.

Contacts

Laurent POLIDORI

Professeur Titulaire de la Chaire de Géomatique du CNAM

Directeur de l'ESGT

laurent.polidori@esgt.cnam.fr