



HAL
open science

Chapitre 5. Représenter la troisième dimension

Jean-Luc Arnaud

► **To cite this version:**

Jean-Luc Arnaud. Chapitre 5. Représenter la troisième dimension. Jean-Luc Arnaud. La carte de France – Histoire et techniques, Parenthèses, pp.62-82, 2022, 978-2-86364-330-3. halshs-03687844

HAL Id: halshs-03687844

<https://shs.hal.science/halshs-03687844v1>

Submitted on 26 Oct 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License



Chapitre 5. Représenter la troisième dimension

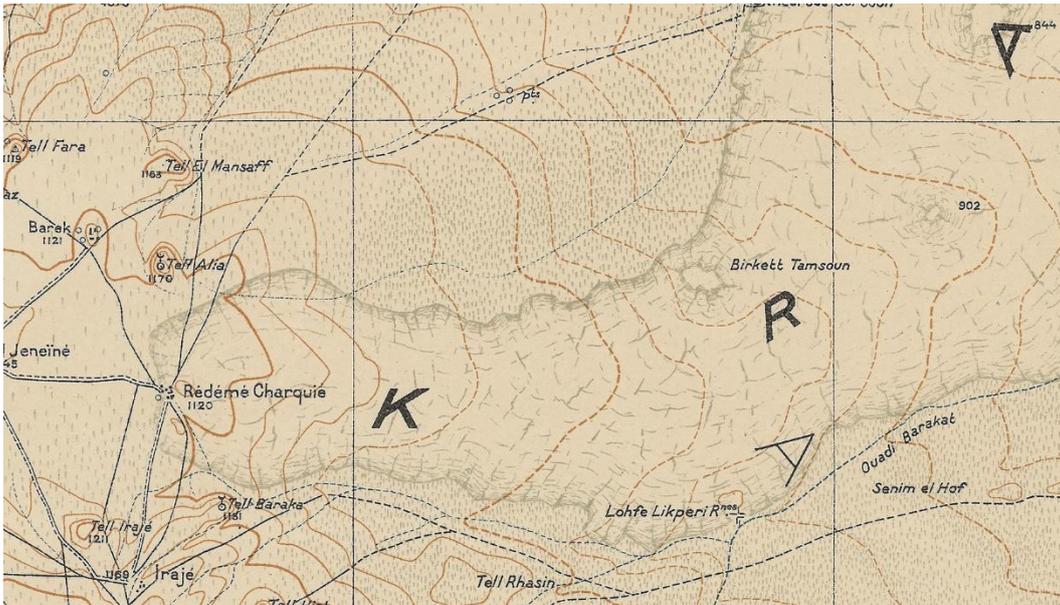
Jean-Luc Arnaud, « Représenter le troisième dimension », chapitre 5 de *La carte de France, histoire et techniques*, Marseille, Parenthèses, 2022, p. 62-82.

La plus grande part des documents cartographiques est imprimée sur des feuilles de papier ; à ce titre, ils sont résolument plats. Or, la réalité terrestre est très différente, elle ne comporte pratiquement pas de surface plane. Ainsi, les documents cartographiques figurent, à plat, des lieux dotés d'une troisième dimension qui se partage entre deux composantes. A petite échelle, la forme générale de la terre est une sphère (ou presque) alors qu'à plus grande échelle, l'altitude de sa surface (exprimée en distance à une sphère de référence) varie de quelques milliers de mètres entre les fosses sous-marines et les sommets des montagnes. Ces deux composantes ne se laissent pas facilement réduire à la platitude du papier imprimé. Ce n'est pas un hasard si, en marge de la production cartographique plane, on trouve aussi de nombreuses représentations en volume. Depuis les globes à petite échelle jusqu'aux plans-reliefs les plus détaillés, cette catégorie d'objet se décline à tous les niveaux de généralisation envisageables. En fonction de leur échelle de réduction, ils figurent soit la sphéricité de la terre, soit le relief, soit, plus rarement, ces deux aspects en même temps.

On a examiné les questions relatives à la forme de la terre et aux opérations de projection qui permettent d'en construire des figurations planes. Pour sa part, le relief intéresse un grand nombre d'utilisateurs dans la mesure où il détermine l'écoulement des eaux, les possibilités de déplacement, d'exploitation du sol... Au moins depuis le XIV^e siècle, les cartographes tentent de figurer le relief sur les cartes¹. Les modes de représentation envisageables sont multiples – vues perspectives, ombrage différentiel, courbes de niveau...². De manière générale, ces différents modes sont classés par ordre chronologique et les historiens identifient plusieurs époques. Ce classement, proposé pour la première fois au milieu des années 1870 par le chef d'escadron Rouby, repose sur un paradigme

¹. *L'expression cartographique du relief – Exposition cartographique internationale*, Paris, Bibliothèque Nationale, 1961.

². Voir les multiples exemples reproduits dans Aliprandi, Laura et Giorgio, *Les grandes Alpes dans la cartographie, 1482-1885*, Paris, Libris, 2005, tome 1, p. 342.



Trois modes de figuration sur le même document

Pour une carte de Syrie centrale du début des années trente, le rédacteur a figuré le relief à l'aide de trois codes graphiques différents en fonction des données dont il disposait. Les courbes de niveau en traits pleins correspondent aux zones les mieux documentées, les courbes tracées en tiretés sont « figuratives », elles sont complétées par des hachures imprimées en gris qui représentent les grandes lignes du modelé. – *Carte du Levant au 1:100 000*, extrait de la feuille *Soueida*, Beyrouth, Bureau topographique des troupes françaises du Levant, 1931.

évolutionniste. Il distingue cinq périodes successives qui présentent chacune une évolution positive – plus de précision, plus de détails – par rapport à la précédente³. Les choses ne sont cependant pas aussi simples car le choix du mode de figuration du relief sur une carte est déterminé par au moins quatre facteurs.

1. La connaissance du relief à représenter peut être variable. Entre la position géographique des massifs montagneux et le détail du modelé du terrain au demi-mètre près, le spectre du niveau de connaissance envisageable est particulièrement large. Ce niveau détermine en partie la figuration. Ainsi, certains auteurs estiment que les hachures de la carte d'état-major constituent le mode de représentation le plus cohérent avec le niveau des données alors disponibles⁴. Pour la production plus récente, lorsque les militaires français effectuent les premiers levés de reconnaissance dans la steppe syrienne au milieu des années vingt, les informations recueillies dans certaines régions sont assez sommaires et surtout très disparates. Elles constituent cependant une information trop importante pour être délaissée. Dans ce contexte, le modelé du terrain est figuré sur les cartes par des hachures – moyen classé comme primitif suivant la nomenclature proposée par Rouby⁵.

³. Rouby, Edouard-Emmanuel, *La Cartographie au dépôt de la Guerre. Notice historique et descriptive sur les publications du dépôt de la Guerre*, Paris, J. Dumaine. 1876.

⁴. *A contrario*, l'emploi des hachures pour rendre compte des données disponibles au milieu des années cinquante pour la France ferait perdre de nombreux détails. Alinhac, Georges, *Rédaction cartographique. Premier fascicule. Eléments de base et technique générale*, Paris, Ecole nationale des sciences géographiques. 1954, p. 15.

⁵. Par ailleurs l'usage des hachures s'est poursuivi jusqu'à ce que la carte d'état-major et ses dérivés soient entièrement remplacés par la carte à l'échelle 1:50 000, c'est-à-dire en 1980. A la fin de la Seconde Guerre

2. Certaines techniques de figuration sont plus récentes que d'autres. Ainsi, alors que les massifs montagneux sont indiqués par des taches sombres dès la première moitié du XIV^e siècle⁶, les représentations sous forme de pains de sucre apparaissent un siècle plus tard. On en trouve des exemples dans les cartes manuscrites des îles grecques de C. Buondelmuonti rédigées vers 1420⁷. Pour leur part, les courbes de niveau sont bien plus tardives, elles sont élaborées par des hydrographes au milieu du XVIII^e siècle pour délimiter les différentes zones navigables en fonction du tirant d'eau des bateaux. Ces courbes étaient tracées sur la base de sondages effectués au fil à plomb, point par point⁸. Leur utilisation en cartographie terrestre date de la fin du XVIII^e siècle mais elle est alors réservée aux documents à grande échelle. Plus récemment, les modèles numériques de terrain ont vu le jour grâce à la puissance de calcul des ordinateurs et au développement de la photographie aérienne.

3. Le mode de représentation du relief est aussi étroitement lié aux techniques de reproduction disponibles. La possibilité d'imprimer des grands formats en couleurs à partir du milieu du XIX^e siècle est décisive. Un demi-siècle plus tard, le tramage des planches, qui permet de décomposer des aplats ou des dégradés en points de tailles variables, offre aussi de nouvelles possibilités. Elles sont exploitées dès le début du XX^e siècle avec les premières feuilles de la nouvelle carte de France au 1:50 000 [F1906]⁹.

4. Enfin, le choix du mode de représentation du relief sur un document cartographique dépend de l'objectif qui lui est assigné. A cet égard, l'exposition consacrée à l'expression cartographique du relief organisée à Paris en 1961, à la faveur de la première assemblée générale de l'association cartographique internationale, présentait l'intérêt d'un classement par thème. A côté des productions topographiques, les organisateurs ont aussi exposé des exemples de figuration du relief dans des cartes thématiques destinées à des publics pour lesquels la troisième dimension du terrain ne constitue pas l'objet principal de la carte¹⁰. Ainsi par exemple, on a longtemps considéré que les images de montagnes vues en perspective constituent une forme primitive de figuration. Cependant, si on en trouve les premiers exemples dès le XVI^e siècle, si ce mode de projection est rejeté de manière unanime par les acteurs de la cartographie scientifique dès la fin du XVIII^e siècle, de nombreuses cartes touristiques contemporaines, les plans de pistes de ski en particulier, en offrent d'excellents exemples, très efficaces compte tenu de leur objectif.

Mondiale, les méthodes de tracé des hachures sont encore suffisamment d'actualité pour donner lieu à une note interne de l'IGN dans laquelle l'auteur traite des difficultés à mettre en œuvre les multiples recommandations et expose le processus de gravure des hachures sur les plaques de cuivre. Maurel, A., *Notes pour servir à l'étude et à l'exécution du nivellement sur la carte de France au 80.000^e*, Paris, Institut géographique national, 1944.

⁶. *L'expression cartographique du relief...*, op. cit., p. 54.

⁷. Buondelmonti, Cristoforo, *Liber Insularum Archipelagi*, multiples versions manuscrites, vers 1420.

⁸. Un arpenteur hollandais – Cruquius – en serait l'inventeur. En France, la première utilisation de courbes de niveau serait due à Birache, dans une carte de La Manche datée de 1737, avant une mise au point par Du Carla en 1771. Dainville, François de, « De la profondeur à l'altitude. Des origines marines de l'expression cartographique du relief terrestre par cotes et courbes de niveau », dans : M. Mollat (dir.), *Le Navire et l'économie maritime*, Paris, Ecole pratique des hautes Etudes, 1958, p. 195-213.

⁹. *Rapport pour 1901*, p. 21.

¹⁰. Il s'agissait de cartes aéronautiques, touristiques, scolaires et de différents atlas thématiques. *L'expression cartographique du relief...*, op. cit., p. 42-49.

Quadrature du cercle

De manière plus générale, la figuration du relief sur une carte n'a pas plus de solution satisfaisante que la quadrature du cercle. Depuis au moins deux siècles, les rédacteurs s'évertuent à rechercher des expressions du relief qui rendent compte des différences d'altitude suivant la même intensité que les vues paysagères. Or, ces vues sont tout d'abord horizontales, c'est la principale raison pour laquelle elles figurent les hauteurs avec autant de vérocité. Au contraire, les cartes sont par définition des projections verticales, le terrain est observé d'en haut, c'est-à-dire depuis un point de vue qui est *a priori* le plus mauvais pour distinguer les aspérités d'un terrain. Cette particularité des points de vue élevés a été vérifiée dès la fin du XVIII^e siècle avec les premiers vols en montgolfière. Alors qu'on en attendait des moyens d'améliorer la figuration du terrain sur les cartes, les aéroliers découvrent que le relief est aplati par l'altitude à un point tel qu'il est impensable de se repérer sans le secours d'une carte¹¹. Dans ce contexte, essayer de figurer le relief avec une carte, c'est un peu comme tenter de représenter un plan dans une vue panoramique. Cependant, malgré le retour d'expérience des voyageurs en ballons, malgré les difficultés rencontrées, les cartographes n'ont pas cessé, depuis le début du XIX^e siècle, de rechercher de nouvelles techniques et de les améliorer. L'exposition de 1961, à laquelle ont participé une cinquantaine d'établissements de seize pays différents, en témoigne.

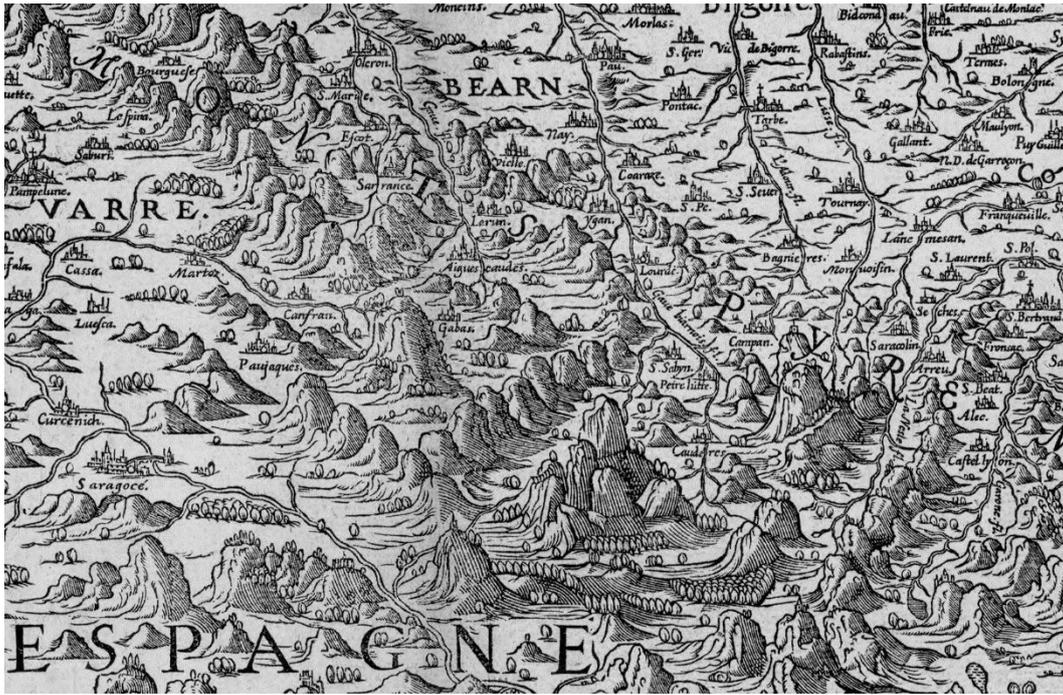
Les modes de figuration du relief se déclinent en deux catégories principales. On distingue les représentations « à voir », qui donnent une impression générale des mouvements du terrain, et les représentations « à lire » qui livrent des informations chiffrées. Cette distinction – voir / lire – correspond à celle proposée par Jacques Bertin pour classer les cartes thématiques¹². Elle s'inscrit dans ses travaux consacrés au codage cartographique des données. Or, au-delà des aspects techniques relatifs à la collecte et à l'organisation de ces données, la plus grande part des débats, qui pendant plus d'un siècle ont porté sur la représentation du relief, ont cherché à résoudre des questions d'encodage pour produire des cartes « à voir » sans en condamner les aspects « à lire ». Autrement dit, une part importante du travail des cartographes a été consacrée à la recherche d'expressions graphiques qui, sans négliger les aspects figuratifs du terrain, permettent aussi de consigner les données chiffrées. La distinction entre ces deux catégories ressortit à l'usage envisagé pour les documents bien plus qu'à une périodisation. Ainsi, la carte de France à l'échelle 1:100 000 la plus récente publiée par l'IGN¹³ comporte une figuration du relief par estompage et suivant un éclairage oblique pas très différente de la représentation des montagnes de Corse à la même échelle dans la carte relevée par J.-J. Tranchot à la fin du XVIII^e siècle et publiée par le Dépôt de la guerre au milieu des années 1820 [F1824].

Ces exemples confirment que le paradigme évolutionniste est peu opératoire pour rendre compte des multiples modes de figuration du relief. Il l'est d'autant moins que, jusqu'à une période récente, la documentation disponible quant au relief était très lacunaire. En France, c'est seulement depuis le milieu des années soixante-dix, avec l'achèvement de la première campagne de restitution des photographies aériennes, que l'on dispose d'une connaissance détaillée – pour une cartographie au 1:20 000 – et homogène du relief sur

¹¹. Thebaud-Sorger, Marie, « La terre vue du ciel ? Les apports contradictoires de l'aérostation aux savoirs géographiques fin XVIII^e – début XIX^e siècle », in J.-M. Besse, H. Blais et I. Surun (dir.), *Naissance de la géographie moderne (1760-1860)*, Lyon, ENS Editions, 2010, p. 133-141.

¹². Bertin, Jacques, *Sémiologie graphique, les diagrammes, les réseaux, les cartes* [1967], Paris, Ecole des hautes études en sciences sociales, 2005.

¹³. Série *Touristique et découvertes Top 100*, Paris, IGN [F1954].



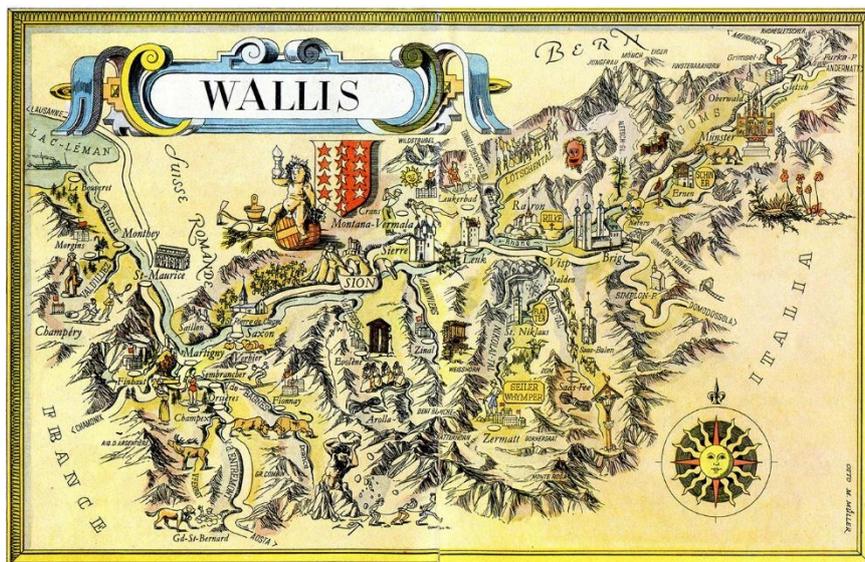
Un semis irrégulier de monticules dessinés en perspective

En 1615, la chaîne des Pyrénées est représentée par un ensemble de monticules dessinés en perspective et disposés en semis irrégulier. – La Guillotière, *Charte de la France*, Paris, Jean Le Clerc, 1615. Extrait de la feuille Sud-Ouest.

l'ensemble du territoire national. L'introduction des photos aériennes a été décisive et si son exploitation systématique a débuté au milieu des années trente, la connaissance du relief français s'est construite dans la longue durée. Ainsi, la carte de La Guillotière publiée en 1615¹⁴ indique les Pyrénées par un ensemble de monticules dessinés en perspective. A part quelques vallées autour desquelles ces monticules sont alignés, la plus grande part est un semis irrégulier et non hiérarchisé. Il indique la position et l'étendue de la zone montagneuse mais ne rend pas compte de l'organisation du massif en une chaîne continue entre les rives de la Méditerranée et celles de l'océan.

Ce mode de figuration évolue peu au cours du XVII^e siècle dans la mesure où la connaissance des massifs montagneux ne fait pas d'important progrès pendant cette période. Cependant, à partir du milieu de ce siècle, les travaux de Torricelli sur la pression atmosphérique (1643) et de Pascal sur la variation de cette pression en fonction de l'élévation (1648), permettent d'effectuer les premières mesures d'altitude en montagne. Elles sont alors limitées à des points remarquables dont la position précise importe peu. Autrement dit, ce sont des évaluations unidimensionnelles qui ne sont pas à même de rendre compte du relief, c'est-à-dire des mouvements d'une étendue de terrain. Pour effectuer les mesures nécessaires à la description de ces mouvements, les points doivent être relevés dans les trois dimensions de l'espace et il faut disposer d'un instrument plus précis que le baromètre : la table de nivellement ou *chorobate*. Son principe est connu depuis la plus haute antiquité, mais il est amélioré – avec l'adjonction d'une lunette à réticule – par l'abbé Jean Picard vers 1670. Cet appareillage permet d'obtenir une précision supérieure au

¹⁴. Guillotière, François de la, *Charte de la France*, Paris, Jean Le Clerc, 1615.



Des images figuratives pour un large public

Les guides de voyage et les plans touristiques, qui s'adressent à un large public, utilisent le plus souvent des images figuratives. – « Wallis », extrait de Ogrizek D. et Rufenacht, J.G., *La Suisse*, Paris, Odé, 1947, sans pagination [coll. particulière].

centimètre par kilomètre¹⁵. Cette amélioration est concomitante du début d'une évolution du statut de la cartographie ; une partie de la production se distingue par son caractère de plus en plus technique et scientifique. Cette évolution est alors soutenue par deux voies différentes. D'une part, les travaux de l'académie Royale des sciences – fondée en 1666 – en matière de géodésie contribuent à redessiner le périmètre du territoire national et à la décision du roi de soutenir les travaux relatifs à la première triangulation du pays¹⁶. D'autre part, les travaux d'aménagement du territoire s'intéressent de plus près qu'auparavant aux formes du terrain. Il s'agit soit de constructions militaires, le réseau des forteresses de Vauban en particulier¹⁷, soit d'installations hydrauliques telles que l'approvisionnement en eaux de Versailles ou encore l'ouverture du canal du Midi. Ces travaux donnent lieu à des relevés altimétriques précis mais ils sont alors cantonnés à des périmètres restreints.

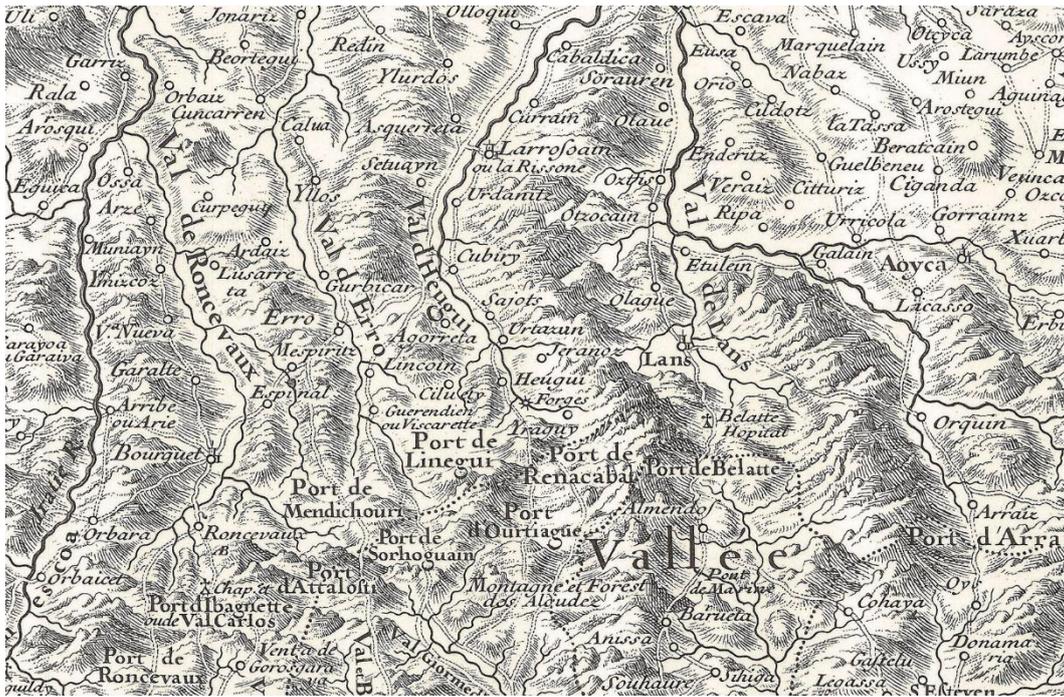
Entre arts et sciences

A partir de la fin du XVII^e siècle, la figuration des montagnes en perspective constitue une incohérence avec le caractère technique – contre les aspects artistiques – dont on dote alors certaines productions cartographiques. D'une image symbolique, dont la fonction est d'abord emblématique, la carte devient un moyen d'organisation du savoir et un instrument de gestion exploité par des spécialistes. A ce titre, le décalage entre les

¹⁵. Kasser, Michel, « Picard et le renouvellement de l'art du nivellement à la fin du XVII^e siècle », in G. Picolet (éd.), *J. Picard et les débuts de l'astronomie de précision au XVII^e siècle*, Paris, Editions du CNRS, 1987, p. 265-273.

¹⁶. En 1682, les résultats des travaux de l'astronome La Hire apportent de notables corrections aux limites du royaume par rapport à la carte établie par Nicolas Sanson quelques décennies plus tôt. Louis XIV en conclut que « Ces messieurs de l'Académie avec leurs chers travaux (...) m'ont pris plus de territoire que tous mes ennemis réunis ! » mais il poursuit son soutien au nouveau directeur de l'observatoire de Paris, Cassini I.

¹⁷. Pichard, Georges, « Représentation et compréhension du terrain chez les ingénieurs du Génie au XVIII^e siècle ». *Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie*, 3e série (tome 12), 1998, p. 2.



Une représentation structurée par le réseau hydrographique

En 1730, cette carte des Pyrénées est tout d'abord une représentation du réseau hydrographique, le dessin des montagnes est générique, il remplit les vides interstitiels entre les vallées et ne figure aucune indication de hiérarchie ni d'altitude relative. – Roussel, *Carte générale des Monts Pyrénées et Partie des Royaumes de France et d'Espagne*, Paris, 1730, extrait de la feuille n° 8 (le nord est placé en bas de la carte).

figurations en perspective et les principes fondamentaux de la cartographie n'est plus acceptable. Selon G. Pichard, on assiste alors à une rupture épistémologique entre l'art pictural auquel se livrent les topographes du XVII^e siècle, même s'ils remontent la ligne d'horizon, voire la suppriment pour les plus audacieux, et les travaux des militaires – du corps du Génie en particulier –, qui sont le plus souvent tenus secrets¹⁸. A partir de ce moment-là, la production cartographique amorce un partage entre deux voies. D'un côté, on continue de produire des images figuratives¹⁹, de l'autre, la cartographie scientifique s'autonomise pour devenir l'apanage des spécialistes.

Ce partage signe l'abandon de la perspective pour la cartographie scientifique. En effet, les figurations en perspective présentent la particularité de varier en fonction du point de vue adopté par l'auteur. Ainsi, la même région, représentée à partir des mêmes données, suivant des points de vue différents pour la construction de la perspective, donne lieu à autant de documents différents dont les parties cachées (le dos des montagnes) et celles qui sont mises en exergue (les faces), sont à chaque fois différentes. Pour sa part, la carte résulte d'une projection verticale. Suivant ce mode de projection, au contraire des projections obliques à l'origine des vues à vol d'oiseau, l'auteur ne peut pas intervenir sur la position de point d'observation (placé par convention à l'infini).

En ce sens l'abandon des vues perspectives constitue une étape importante vers l'anonymisation de la production et, de fait, vers un partage des travaux de cartographie

¹⁸ . *Idid.*, p. 3.

¹⁹ . Les cartes produites dans les années cinquante par Jacques Liozu pour illustrer des ouvrages de vulgarisation (collection *Le monde en couleurs*, chez Oé à Paris), et l'intérêt que cette production continue de susciter auprès du public, témoigne de la longévité du mode de figuration réaliste.



Cassini. Ebauche du modelé du terrain

Relief des environs de Gap suivant la carte de Cassini ; le sol semble avoir été creusé à la gouge par l'érosion. – Carte de France de Cassini, extrait de la feuille 152, publiée en 1779.

entre des opérateurs multiples et interchangeable. Par ailleurs, à partir de la fin du XVIII^e siècle, les vues à vol d'oiseau ne sont plus nécessaires puisque les utilisateurs des documents disposent de connaissances suffisantes pour interpréter une figuration conventionnelle non réaliste. Ainsi, les vues en perspective des montagnes sont-elles progressivement abandonnées. Pour sa part, Cassini utilise la vue en perspective d'un petit mamelon pour figurer les rochers. Mais, au même titre que sa figuration des zones arborées à partir d'un arbre vu en élévation ou encore de la représentation des moulins à vent avec une tour croisée par des ailes, le mamelon en perspective doit être interprété comme un signe conventionnel. C'est seulement à partir du début du XIX^e siècle, avec la commission topographique et militaire de 1802, que les signes conventionnels sont expurgés de la perspective et des autres formes d'expressions réalistes²⁰.

La transformation s'opère doucement au cours du XVIII^e siècle. Ainsi, par exemple, la carte des Pyrénées publiée par Roussel en 1730²¹ ne témoigne pas d'une forte amélioration des connaissances en matière de modelé du terrain par rapport à la carte de La Guillotière. Cette représentation résulte tout d'abord d'une exploration des vallées qui, une fois tracées sur la carte, ont permis de placer les vues en perspective des chaînes de montagne. Mais ce document est tout d'abord une carte du réseau hydrographique, le dessin des montagnes est générique, il remplit les vides interstitiels entre les vallées et ne figure aucune indication de hiérarchie ni même d'altitude relative. En ce sens, ce dessin n'est pas très différent des semis de petites maisons qui remplissaient les enceintes des villes dans les vues à vol d'oiseau dressées au cours de la même période. Autrement dit, ce remplissage

²⁰ . Palsky, Gilles, « Le projet de standardisation de la cartographie militaire en France au XIX^e siècle », *Historia da Cartografia Militar (Séculos XVIII-XX)*, Viana do Castelo, Câmara Municipal, 2005, p. 47-69.

²¹ . Roussel, *Carte générale des monts Pyrénées et partie des royaumes de France et d'Espagne*, [Paris, Dépôt des fortifications], 1730.

ne correspond pas tant à une vue en perspective – dont la construction nécessite des données abondantes – qu'à la répétition systématique – mais adaptée aux chantournements des rivières – d'un motif de base composé par la représentation d'un monticule en perspective²².

Un demi-siècle plus tard, Cassini ne procède pas autrement, s'il dispose de quelques mesures barométriques, les informations qui permettraient de figurer le modelé du terrain sont alors inexistantes. Il s'en explique et indique que « pour la topographie qui offre la description détaillée et scrupuleuse [...] de la conformation du terrain et du contour exact des vallées, des montagnes, des coteaux [...] c'est une partie de la géographie tellement étendue, si minutieuse, si longue et si coûteuse dans l'exécution, qu'elle ne peut être entreprise dans une carte générale [...] On n'a jamais prétendu en faire un accessoire à la carte générale de la France. Pour la rendre plus agréable, on y a joint, pour ainsi dire, une esquisse, une ébauche de topographie »²³. A ce moment-là, les mesures d'altimétrie sont ponctuelles et leurs résultats n'ont pas pour objectif de documenter les formes des montagnes. Au contraire, on multiplie les mesures des plus hauts sommets pour rassembler les résultats dans des tableaux comparatifs. Un des premiers du genre, publié par François Pasumot en 1783, confronte les altitudes de 76 sommets situés en Amérique, en France et dans les Alpes. Suivant cet ouvrage, Le Mont-Blanc, dont l'altitude a été déterminée en 1775 à 2451 toises, soit 4779 mètres, domine l'Europe mais il est dépassé par quelques sommets américains²⁴.

Mesurer l'altitude

En France, la première opération de nivellement régional de grande ampleur date du milieu des années 1740. On la doit au maréchal de camp Pierre Bourcet, chargé de dresser une carte du comté de Nice [F1758]. Cette carte a pour objectif d'aider à la conduite d'opérations militaires dans le cadre de la guerre de succession d'Autriche. Il s'agit de déplacer des troupes et du matériel, de définir les lieux de cantonnement ou encore d'évaluer le champ d'action des batteries... Une telle organisation ne s'intéresse pas tant à l'altitude de points isolés qu'au modelé du terrain. Or, le passage des informations altimétriques ponctuelles à la connaissance planimétrique des mouvements d'un terrain ne va pas de soi. Bourcet fait dresser des minutes détaillées suivant un rapport de réduction de six pouces pour une toise (1:14 400). Cette échelle, permet aux officiers du Génie de tracer avec précision les lignes structurantes du terrain – crêtes et thalwegs – et, sur cette base, de figurer les détails de ses formes. On est alors très loin des travaux de l'Académie et de ceux des Cassini. A partir du milieu du XVIII^e siècle, le savoir-faire des militaires est conforté par la création de l'école royale du génie de Mézières (transférée à Metz au début du XIX^e siècle)²⁵.

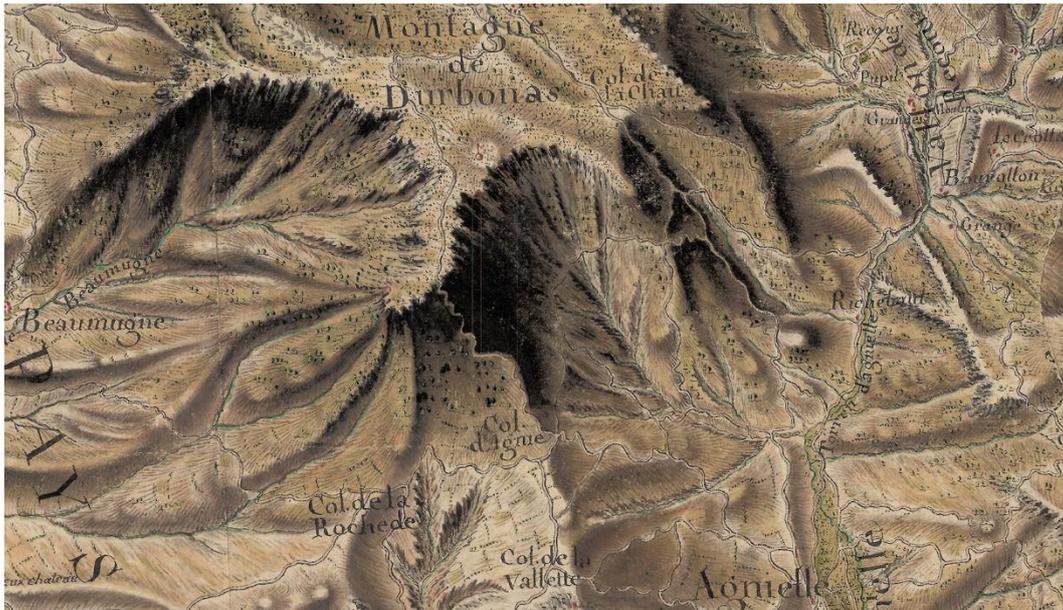
La seconde moitié du XVIII^e siècle est aussi marquée par un relevé de la Corse particulièrement détaillé. Dans le cadre du mandat administratif confié à la France par la république de Gênes, il s'agit du relevé cadastral de l'ensemble de l'île dressé à la fin des

²² . Le même mode de construction est exploité par exemple pour figurer les forêts dans la carte de Guyenne dressée pendant les années 1760 [F1756_02]. Dans ce cas, le motif de base est un arbre représenté aussi en perspective.

²³ Cité par Eleb-Bailly, Anne, « La 3^{ème} dimension, l'altitude », in *Cartes et figures de la terre*, Paris, Centre Georges Pompidou, 1980, p. 335.

²⁴ . Bailly, Jean-Christophe, Besse, Jean-Marc, Palsky, Gilles, *Le monde sur une feuille. Les tableaux comparatifs de montagnes et de fleuves dans les atlas du XIX^e siècle*, Lyon, Fage éditions, 2014, p. 10.

²⁵ . Cette école a été fondée en 1748, un an après celle des Ponts et Chaussées. Pichard, Georges, *op. cit.*, p. 5.



Premiers relevés détaillés du modelé du terrain

Les officiers du Génie qui travaillent sous la direction de Pierre Bourcet vers 1745 à la préparation d'une carte du Dauphiné effectuent un relevé assez détaillé des altitudes et des mouvements du terrain pour en rendre compte à l'échelle de six pouces pour une toise – 1:14 400. – Extrait de la minute manuscrite n° 25 qui figure les environs de Saint-Julien-en-Beauchêne, à quelques kilomètres à l'ouest de Gap.

années 1780 [F1824] pour produire un outil de gestion du territoire. Le résultat de cette opération est composé de 37 rouleaux de cartes à l'échelle 1:10 800 et d'un ensemble de cahiers de description de chaque commune de l'île. Il est tout d'abord remarquable que l'ensemble de l'île soit nivelé depuis le niveau de la mer. Il était alors d'usage soit de partir d'un point particulier placé sur un édifice, soit de définir les altitudes de manière négative sur la base d'un plan virtuel établi au-dessus du plus haut sommet de la région à relever²⁶. Le nivellement de la Corse est dressé en deux phases. Tout d'abord, les opérateurs relèvent un réseau de points de premier ordre en même temps qu'ils effectuent la triangulation générale de l'île. Il s'agit d'un nivellement géodésique calculé à partir de la mesure des angles verticaux et des distances entre chaque sommet des triangles. Pas moins de 55 points répartis de manière régulière sur l'île ont été nivelés de cette manière. A partir de ces points, les topographes chargés des relevés de détail déterminent les autres altitudes nécessaires à la préparation de la carte. En raison d'un litige qui oppose les héritiers de ces relevés à l'administration, le Dépôt de la guerre en récupère les manuscrits en 1810 seulement. Il en prépare alors la réduction pour en tirer une carte gravée à l'échelle 1:100 000.

La production cartographique du Dépôt de la guerre est encadrée par les recommandations de la commission topographique et militaire de 1802. Elles définissent les échelles de réduction, les signes conventionnels, les modes de figuration des eaux, de la montagne et des terrains en fonction de leur nature. Après de multiples hésitations et

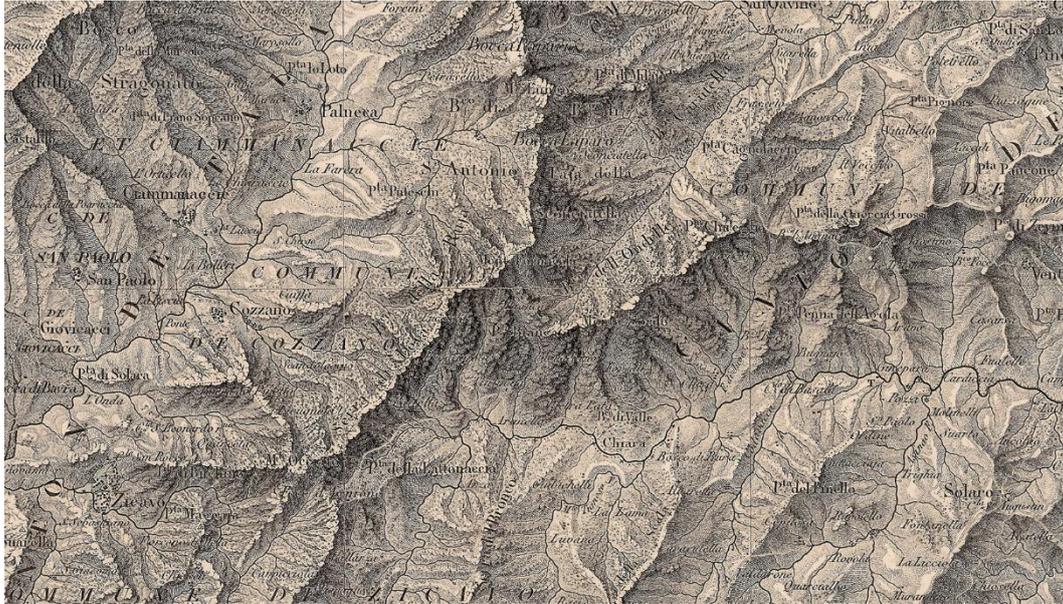
²⁶. C'est en 1802 que la commission topographique et militaire recommande d'indiquer les altitudes depuis le niveau de la mer. Cependant, l'expression des altitudes en coordonnées négatives depuis un plan imaginaire situé au-dessus du point le plus élevé est utilisée par le service du Génie pendant plusieurs décennies encore. Coulomb, Alain, *Le marégraphe de Marseille. De la détermination de l'origine des altitudes au suivi des changements climatiques : 130 ans d'observation du niveau de la mer*, Paris, Presses des Ponts, 2014, p. 20-21.



Une gravure soignée mais des données lacunaires

Sur la carte des environs de Versailles publiée au tout début du XIX^e siècle, les vallées de l'Yvette et de ses affluents semblent avoir été creusées comme des canyons dans une plaine. – *Carte topographique des environs de Versailles*, 1:28 800, Paris, Dépôt de la Guerre, 1807, extrait de la feuille *Chevreuse*.

l'examen de plusieurs exemples, la commission avait décidé que le relief serait figuré par des hachures, plutôt que par des courbes de niveau, et, pour donner du volume à la représentation, les zones ombrées seraient déterminées suivant un éclairage oblique, plutôt que vertical, orienté nord-ouest – sud-est. Plusieurs cartes ont été gravées sur cette base au cours des vingt premières années du XIX^e siècle mais il s'agissait de relevés anciens, trop lacunaires – en ce qui concerne le relief en particulier – pour qu'il soit possible d'appliquer sans hiatus les règles fixées par la commission. Par exemple, la carte des environs de Versailles, publiée en 1807 à l'échelle 1:28 800, figure le relief par un entrelacs de hachures graduées en fonction des pentes et donne des dégradés assez fluides. Cette facture témoigne d'un progrès important par rapport à la carte de Cassini. Mais on est encore loin d'une figuration globale du relief. Au contraire, il est partout ponctuel de telle manière que la région considérée ressemble à une vaste étendue plate sur laquelle certaines zones sont en relief et d'autres en creux. Par exemple, la vallée de l'Yvette semble avoir été creusée à la manière d'un canyon dans une plaine. Par ailleurs, on ne trouve pas trace de la moindre éminence dans Paris intra-muros et dans ses environs proches alors que la butte Montmartre culmine à une centaine de mètres au-dessus du niveau de la Seine. De toute évidence, les relevés de cette carte – effectués au cours des années 1760-1770 – ne comportaient pas les indications nécessaires à la mise en œuvre des règles fixées par la commission de 1802. Au contraire, la carte de Corse, dont le canevas général et les relevés particuliers présentent une qualité exceptionnelle, constitue alors une opportunité sans précédent pour appliquer et tester les principes adoptés en 1802. La carte est publiée en huit feuilles en 1824 sous la direction du colonel Jacotin. Le résultat est d'autant plus remarquable que l'orientation générale du relief de la Corse se prête bien à l'angle d'éclairage retenu. Les recommandations de la commission ne font cependant pas l'unanimité. Les officiers du Génie (Dépôt des fortifications) préfèrent utiliser un éclairage zénithal pour définir les



Des relevés assez détaillés pour permettre de figurer tous les accidents du terrain

Un des premiers exemples de figuration du relief tracé à partir de relevés détaillés. Le résultat est d'autant plus remarquable que l'orientation générale du relief de la Corse se prête bien à l'angle de l'éclairage retenu. – *Carte topographique de l'île de Corse...*, 1:100 000, Paris, Dépôt de la guerre, 1824, extrait de la feuille n° 8.

zones ombrées. En 1817, pour soutenir cette préférence, le directeur de l'école du génie – général Berge – prétend que depuis quinze ans les recommandations de la commission de 1802 sont mal interprétées²⁷.

Le cauchemar de la carte d'état-major

Au début du XIX^e siècle, la préparation de la carte d'état-major inaugure de nouvelles pratiques. Alors que le relevé de la Corse fait figure d'exception, le nivellement géodésique et le relevé du modelé du terrain deviennent des pratiques standards. Ainsi, en même temps qu'ils dressent les premières chaînes de l'armature de la carte d'état-major, les ingénieurs géographes procèdent à un nivellement géodésique des sommets de chaque triangle. La Corse est une île suffisamment peu étendue pour que l'uniformité du niveau de la mer ne soit pas mise en cause. Au contraire, la question se pose pour les différentes côtes de France. Quelques années plus tôt, le nivellement de l'isthme de Suez, effectué à la faveur de la campagne d'Égypte, avait donné un décalage d'environ dix mètres entre la mer Rouge et la mer Méditerranée²⁸. Pour la France, c'est bien entendu entre cette mer et l'océan que les attentes sont les plus fortes. Ainsi, les ingénieurs géographes apportent-ils un soin

²⁷. Berge s'appuie sur le fait que la commission de 1802 a interdit la figuration des ombres portées. Mais plutôt que de les omettre purement et simplement en distinguant ombre propre et ombre portée, il prétend que cette interdiction conduit à faire varier l'angle d'éclairage du relief en fonction de l'importance des pentes et de la hauteur des montagnes. Considérant que cette interprétation donnerait lieu à un traitement inégal des différentes parties du territoire, il déduit que l'éclairage zénithal est le seul qui soit applicable de manière homogène. Débat relaté par Berthaut, Henri-Marie Auguste, *La carte de France, 1750-1898, étude historique*, Paris, Service géographique de l'armée, 1898, tome 1, p. 201-203.

²⁸. Il s'agit de fait d'une erreur corrigée par Bourdalouë à l'issue d'une nouvelle campagne de relevé au cours des années 1820. Coulomb, Alain, *op. cit.*, p. 23.

particulier à la triangulation de la chaîne des Pyrénées. Le procédé est loin d'être parfait. Cependant, malgré des résultats dont l'erreur peut atteindre quelques mètres, ce relevé montre que les deux mers ont la même altitude et il autorise l'utilisation de plusieurs points de départ – Brest, Dunkerque, Noirmoutier, le Planier, Aigues Morte... – pour effectuer le nivellement géodésique de l'hexagone²⁹. Chaque feuille de la carte d'état-major devait compter entre 150 et 200 déterminations géodésiques. Soit un total, 7 à 8 000 points pour l'ensemble du territoire. Les topographes devaient ensuite définir 30 000 autres points, soit une moyenne de 25 par lieue carrée – ou encore un par kilomètre carré. Ce nombre est alors estimé suffisant pour encadrer les relevés topographiques détaillés³⁰. Dès 1818, la première instruction adressée aux officiers chargés de ces relevés stipule qu'à partir des points cotés, ils doivent figurer le modelé du terrain par des courbes de niveau équidistantes de dix mètres³¹. Dressés à l'échelle 1:10 000, ils sont très détaillés ; il est alors prévu de graver la carte à l'échelle 1:50 000. Mais les responsables du Dépôt de la guerre réalisent rapidement qu'ils n'ont pas la capacité de produire une carte de l'ensemble du territoire national à cette échelle. Dans ce contexte, ils adoptent une publication au 1:80 000 sur la base de minutes dressées au 1:20 000 ou bien au 1:40 000. A la suite de cette décision, une nouvelle instruction rappelle aux officiers qu'ils disposent de trois moyens pour figurer le modelé des terrains – les courbes de niveau, les points cotés et les lignes de plus grande pente –, elle préconise d'abandonner le premier au profit des deux autres³². Cette instruction a pour effet de simplifier le travail, le résultat obtenu est moins détaillé qu'auparavant.

Au milieu des années 1820, l'échelle de la version gravée est fixée au 1:80 000 ; par contre, la manière dont on va représenter le relief n'est pas encore déterminée. Les hésitations à cet égard retardent l'achèvement de la gravure de plusieurs feuilles. On l'a examiné, les pratiques sont plurielles, par ailleurs, les données à la disposition des dessinateurs sont bien plus détaillées qu'en 1802. Ainsi, en 1826, le contexte est assez nouveau pour que le ministre de la Guerre convoque une commission chargée d'étudier la figuration du modelé du terrain. Après de multiples hésitations et plusieurs essais, la commission est à nouveau réunie deux ans plus tard pour arrêter une décision³³.

A ce moment-là, les cartes sont gravées en taille-douce et au trait. On utilise le burin, la pointe sèche et l'eau forte mais pas la technique de l'aquatinte – qui permet de produire des aplats – sans doute parce qu'elle n'autorise pas un nombre de tirages suffisant. Les valeurs de gris qui figurent le modelé du terrain sont donc produites en faisant varier la largeur et l'écartement des hachures. Cette technique de gravure est alors utilisée depuis plus d'un siècle mais elle n'est soumise à aucune règle qui établirait une relation entre la forme du terrain à représenter et la valeur des gris. Héritier direct des figurations primitives qui marquaient les chaînes de montagne par une couleur foncée, l'usage des graveurs était d'indiquer les zones de pente par un gris plus soutenu que les zones de plaine.

Les avis des membres de la commission de 1826 sont assez divergents. Le commandant Lapie est le moins exigeant, il suggère d'adopter une représentation figurative sans règle particulière. Au contraire, le général du Génie Hubert Rohault de Fleury se prononce en faveur des courbes de niveau – cette pratique est alors la plus répandue dans la production cartographique du Dépôt des fortifications chargé des cartes à grande échelle.

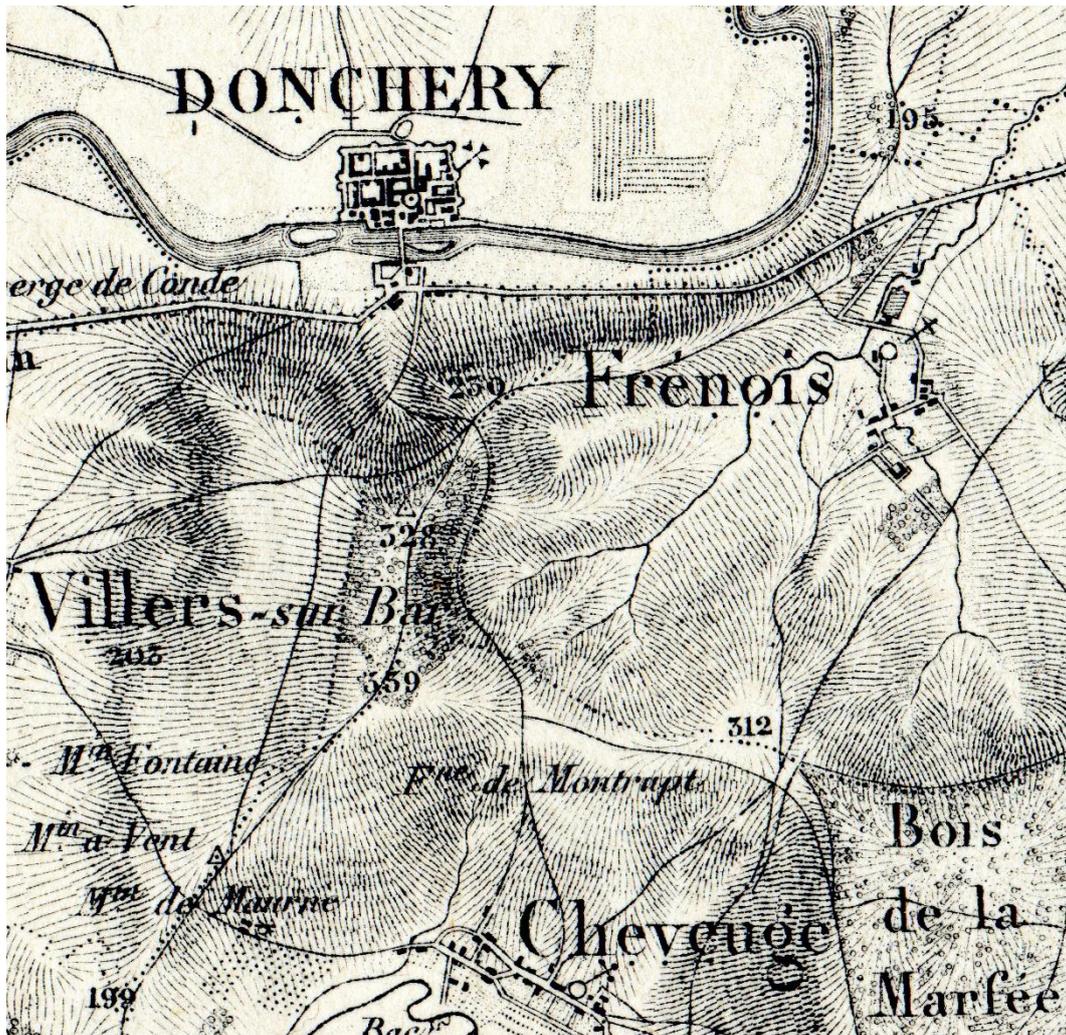
²⁹ . *Ibid.*

³⁰ . *Mémorial*, série 2, tome v, p. 24.

³¹ . Instruction de 1823 citée par Berthaut, Henri-Marie-Auguste, *op. cit.*, tome 1, p. 295-296.

³² . *Ibid.*, tome 1, p. 300.

³³ . Voir les résumés des discussions et délibérations de cette commission dans le *Mémorial*, série 2, tome v, p. 458-485.



Premières hachures normalisées

Sur la carte d'état-major, le modelé du terrain est figuré par des hachures perpendiculaires aux courbes de niveau et espacées du quart de l'intervalle entre chaque courbe. Elles sont d'autant plus larges que la pente du terrain est plus forte. – Extrait de « Spécimen de la nouvelle carte de France... », dans *Mémorial*, série 2, tome v, 1827-1828.

Ces deux propositions extrêmes sont rejetées au profit d'une représentation en hachures qui, tout en restant figurative, est construite sur une méthode mathématique permettant de rendre compte des données chiffrées chères au corps du Génie. En ce sens, le général Desprez propose de multiplier les courbes de niveau intermédiaires de manière à couvrir toute la surface des régions en pente et à produire des effets de gris correspondant à la déclivité du terrain. Le colonel Bonne préfère les hachures tracées dans le sens de la pente. Il obtient gain de cause à l'issue de longues discussions et il soumet à la commission une gamme de gris – un diapason – dont chaque valeur est déterminée par la pente du terrain et son orientation. Malgré l'intérêt de sa proposition, elle est rejetée au motif qu'elle est trop difficile à mettre en œuvre. La commission décide alors d'abandonner le principe de l'éclairage oblique en faveur depuis 1802. Cette forme d'éclairage ne pose pas seulement le problème de sa mise en œuvre, elle présente aussi l'inconvénient de traiter le territoire – donc les citoyens – de manière inégale. L'éclairage oblique met en exergue certaines parties et en laisse d'autres dans l'ombre. Ainsi, en abandonnant ce mode d'éclairage, au profit de l'éclairage zénithal, la commission procède en quelque sorte à la transposition du premier

article de la déclaration des droits de l'homme pour le traitement cartographique du territoire national. Il s'inscrit aussi en rupture avec les tenants d'une topographie figurée en perspective telle qu'elle est soutenue par l'Académie des Arts³⁴.

Après de longues discussions, la commission adopte le principe mathématique suivant lequel les hachures sont dessinées perpendiculairement aux courbes de niveau et espacées du quart de l'intervalle entre chaque courbe. Pour figurer les courbes de niveau sans les tracer, les hachures sont interrompues et/ou décalées au passage de chaque courbe pour la laisser se détacher en blanc. Enfin, les hachures sont d'autant plus larges que la pente du terrain est plus forte³⁵. Ces décisions ont donné lieu à de longs débats, ils montrent que le statut de la carte topographique n'est pas dépourvu d'ambiguïtés. Les multiples propositions de Bonne, non sans contradictions, en témoignent.

En 1828, il suggère de définir l'équidistance entre les courbes de niveau en fonction de l'échelle de chaque carte. Selon lui, ce principe « fournirait à l'œil, avec un peu d'habitude, un moyen approximatif de juger, par la considération des lignes de niveau, de la nature des pentes du terrain ». Cette proposition tend à faire de la carte un document qui ne se donne pas à lire d'emblée mais au contraire un ensemble de codes dont le déchiffrement nécessite un apprentissage. Même si elle est finalement rejetée au titre des difficultés relatives à sa mise en œuvre, cette proposition suscite un vif intérêt. Ainsi, les membres de la commission s'inscrivent-ils de manière explicite en rupture avec les pratiques d'ancien régime. Ils mettent au service de la carte toutes leurs capacités d'abstraction et de modélisation. Par exemple, le débat sur la figuration du relief et la question des changements de pente témoigne de leur capacité à mobiliser des modèles abstraits et les concepts de la géométrie descriptive pour résoudre les problèmes les plus concrets posés par la configuration des terrains³⁶. Dans ce contexte, le choix des hachures pour figurer le relief apparaît comme une disposition d'arrière-garde.

Bonne en est pourtant un fervent défenseur ; il estime que les courbes ne sont pas suffisantes pour exprimer le relief du terrain et suggère de ne pas oublier « qu'une carte topographique doit être une espèce de tableau ». Il ajoute que « le sujet est déjà par lui-même assez aride ; ne lui enlevons pas le peu d'agrément dont il est susceptible ». Toujours pour soutenir le principe des hachures, il compare la carte à une estampe dont les gris « font parfaitement juger des formes qu'on a voulu représenter »³⁷. Enfin, il prône l'adoption d'un « langage qui parle mieux aux yeux » que les courbes de niveau. L'incohérence entre cette argumentation et la proposition d'uniformiser l'équidistance des courbes exprime les incertitudes de la commission pour définir le statut de la carte – entre objet d'érudition et de prestige destiné à un large public d'amateurs et outil d'intervention réservé à l'usage de professionnels. Alors qu'ils proposent d'encoder les informations ponctuelles, au risque de compliquer leur déchiffrement, ils ne sont pas prêts à renoncer à l'aspect global des documents ni aux hachures malgré le coût de leur mise en œuvre et, on s'en rendra compte quelques années plus tard, les difficultés qu'elles opposent à la lecture des autres

³⁴ . Louis-Nicolas de Lespinasse, officier d'artillerie, qui fait une carrière de dessinateur et de peintre en topographie, publie en 1801 un traité de figuration des reconnaissances militaires dans lequel il soutient le point de vue de l'académie des Arts. En ce sens, il prône l'imitation de la nature contre les vues zénithales dont il admet l'usage seulement pour les ouvrages construits. Lespinasse, Louis-Nicolas de, *Traité du lavis des plans, appliqué principalement aux reconnaissances militaires*, Paris, Maginel, 1801.

³⁵ . *Mémorial*, série 2, tome V, p. 481.

³⁶ . En ce sens, les interventions de François Arago, qui a été professeur de géométrie analytique à l'école polytechnique, sont remarquables. *Ibid.*, p. 467 sq.

³⁷ . *Ibid.*, tome 1, p. 462.

informations dans les régions de montagne. En fait, les débats témoignent des difficultés rencontrées par les membres de la commission pour conduire à son terme la rupture épistémologique en œuvre. Le point de vue porté par l'Académie des Arts ne semble pas encore être tout à fait écarté. La publication du résultat des délibérations est accompagnée par plusieurs planches de modèles à suivre pour la rédaction des minutes manuscrites d'une part et pour la version gravée de la carte d'autre part.

Entre théorie et mise en œuvre

Le débat n'est pas pour autant clos. Il concerne la manière de rédiger les relevés et leur publication. Les instructions destinées aux officiers chargés du travail de terrain se succèdent sans continuité. Après celles de 1818 et de 1823, les résultats des travaux de la commission de 1826 donnent lieu à une nouvelle instruction pour les relevés à l'échelle 1:20 000. Elle annule en quelque sorte la précédente et demande de revenir à des courbes équidistantes de cinq mètres – contre dix en 1818. Pour leur part, les lignes de plus grande pente – les normales – sont réservées à la représentation des ruptures de pente telle que les falaises ou les berges. Enfin, pour « mieux faire sentir à l'œil la liaison des mouvements du terrain », le texte recommande d'utiliser des teintes lavées au pinceau et il précise que des modèles doivent être communiqués aux opérateurs³⁸. Cette instruction est complétée en 1828. Deux ans plus tard, on demande aux officiers de mieux marquer les changements d'orientation des pentes suivant un diapason de gris produits par des hachures. Le lavis aurait été abandonné³⁹ ! Les nouvelles instructions et les notes complémentaires se succèdent ensuite en 1838, 1843-1844, 1850 et 1851. Ce dernier document est le plus complet, il décrit en détail les opérations dont les officiers d'état-major ont la charge, depuis la compilation des plans de base fournis par le service du cadastre jusqu'à la mise au net effectuée à Paris pendant l'hiver. En ce qui concerne le relief, les hachures doivent suivre un nouveau diapason « établi d'après les plus beaux dessins de la carte de France ». Ce diapason retient le principe général – plus la pente est forte plus la teinte produite par les hachures doit être foncée – mais, construit sur la base du sentiment plutôt que de la mesure, il est aux antipodes des principes qui animaient la commission de 1826. Enfin, suivant cette instruction, le nombre des points dont l'altitude est effectivement mesurée est inférieur à un par kilomètre-carré⁴⁰.

Plus de trente ans auront été nécessaires pour mettre en place un processus complet. Au moment où il est établi, la carte est presque entièrement relevée. Pour leur part, les manuscrits de terrain témoignent d'importantes variations quant aux modes de figuration du relief⁴¹. Si elles trouvent sans doute une partie de leur origine dans les instructions successives, elles montrent aussi que chaque officier disposait d'un savoir-faire et d'habitudes personnelles, en ce qui concerne l'expression du relief en particulier. En fonction des opérateurs et du terrain, on trouve toutes les techniques de figuration et de nombreux exemples composites.

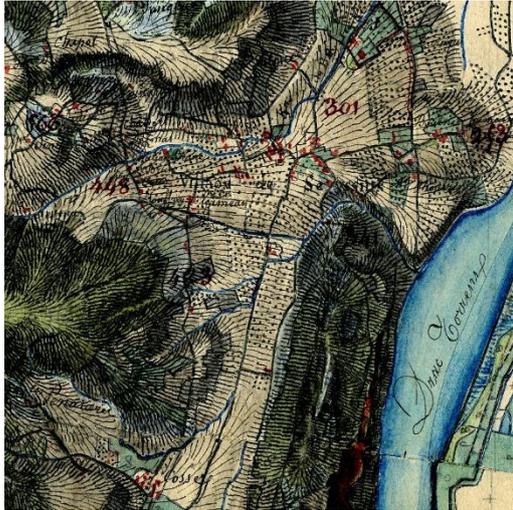
La plupart des informations portées sur ces documents ne résultent pas de mesures des altitudes mais d'estimations basées sur la reconnaissance de cheminements entre les différents points de base. A ce titre, elles comportent de nombreuses approximations et ont

³⁸. Cité par Berthaut, Henri-Marie Auguste, *op. cit.*, tome 1, p. 313.

³⁹. *Ibid.*, p. 315.

⁴⁰. *Ibid.*, tome 1, p. 328-331.

⁴¹. Ces documents sont conservés à la cartothèque de l'IGN.



a



b



c



d



e



f

Des résultats très différents à partir des mêmes instructions

Extraits des manuscrits de terrain de la carte d'état-major. – a. Feuille *Grenoble*, environs de Cossey, Valdan, 1843. b. Feuille *Aix-en-Provence*, environs de Vauvenarges, Déguilly, 1860. c. Feuille *Annecy*, environs de Luth, Perrossier, 1863. d. Feuille *Poitiers*, environs de La Berytière, vers 1842. e. Feuille *Gap*, environs de La Saulce, Rouby, 1855. f. Feuille *Briançon*, environ de Le Monétier-les-Bains, Meunier, ca. 1845.

été l'objet de multiples critiques. En tout état de cause, malgré les difficultés rencontrées par les opérateurs dans les régions accidentées, malgré son hétérogénéité, la documentation rassemblée par les officiers d'état-major quant aux formes du relief constitue alors une source unique en son genre dont la restitution à travers la carte gravée ne va pas de soi. En effet, autant les manuscrits de terrain sont disparates, autant la version gravée de la carte présente une forte homogénéité. Entre les deux, les rédacteurs, chargés d'assembler ces manuscrits pour dresser les minutes à l'échelle 1:40 000, ont effectué de véritables prouesses⁴². Ils ont interprété les différentes figurations utilisées pour produire des courbes de niveau régulières sur l'ensemble du territoire national. Pour leur part, les graveurs chargés de figurer le modelé du terrain exploitaient à la fois les minutes et les manuscrits initiaux. Les différences entre ces documents et les cartes publiées témoignent des difficultés rencontrées par les rédacteurs et des ajustements qu'ils ont dû opérer, dans les régions montagneuses en particulier.

La commission de 1828 publie ses recommandations alors que les travaux de terrain n'ont pas encore abordé les régions de haute montagne. Les Alpes sont relevées à partir des années 1840 avec les feuilles *Chambéry* et *Grenoble*, elles se poursuivent jusqu'au milieu des années 1860 pour les feuilles qui correspondent au territoire de l'ex duché de Savoie. Une des premières, la feuille *Grenoble* (178), est levée en 1843 et publiée en 1852. Dans cette région, les rives de la vallée de l'Isère sont particulièrement abruptes, plusieurs sommets situés à quelques kilomètres seulement de la rivière culminent plus de mille mètres au-dessus de la vallée. Les hachures qui figurent les pentes correspondantes donnent un gris assez foncé pour nuire sérieusement à la lecture de la lettre et de la planimétrie. La feuille *Briançon* (189), qui cumule des fortes pentes avec des massifs rocheux très développés, présente les mêmes défauts malgré la qualité de sa gravure par Lecocq. Une évaluation tardive des méthodes employées et des résultats obtenus montre que les graveurs ont souvent rencontré des difficultés à mettre en œuvre les recommandations et les diapasons adoptés par les multiples commissions. En fait, ces diapasons ne permettent pas de représenter les pentes supérieures à 45 degrés sous peine de trop noircir les régions correspondantes⁴³.

Le résultat obtenu est loin d'être satisfaisant malgré le temps consacré par les graveurs à la figuration des montagnes et son incidence sur le prix de revient de la carte. En effet, en 1828, alors que la gravure des montagnes est en chantier depuis quelques mois seulement, les responsables du Dépôt de la guerre effectuent une première évaluation. Pour graver le modelé du terrain et les bois sur une zone de dix centimètres de côté à l'eau forte, il ne faut pas moins de cinquante jours de travail à raison de six heures par jour. Autrement dit, on compte cinq ans et demi de travail en moyenne pour chaque feuille. Pour réduire cette durée et le coût de l'opération, on abandonne l'eau forte au profit de la pointe sèche. Le résultat est jugé satisfaisant et il doit conduire à diminuer le temps de travail de moitié. Sur cette base, en faisant travailler chaque jour deux graveurs successivement sur la même plaque, on pense réduire à dix-huit mois le temps de passage de chaque plaque à la gravure des montagnes et des bois⁴⁴. Si on a effectivement gagné du temps en adoptant la pointe sèche, il semble que les durées déterminées sur la base des essais de 1828 ont été sous-évaluées. Cinquante ans plus tard, alors que la plus grande part des feuilles est publiée, le

⁴². Les reproductions de ces minutes sont disponibles sur le site web de l'IGN : Remonterletemps.ign.fr ou Geoportail.gouv.fr.

⁴³. Maurel, A., *op. cit.*, p. 20-27.

⁴⁴. *Mémorial*, série 2, tome V, 1827-1828, p. 26-27.

temps moyen consacré à la gravure de chaque plaque s'avère être de douze ans, dont six à huit pour la montagne⁴⁵.

La couleur salvatrice

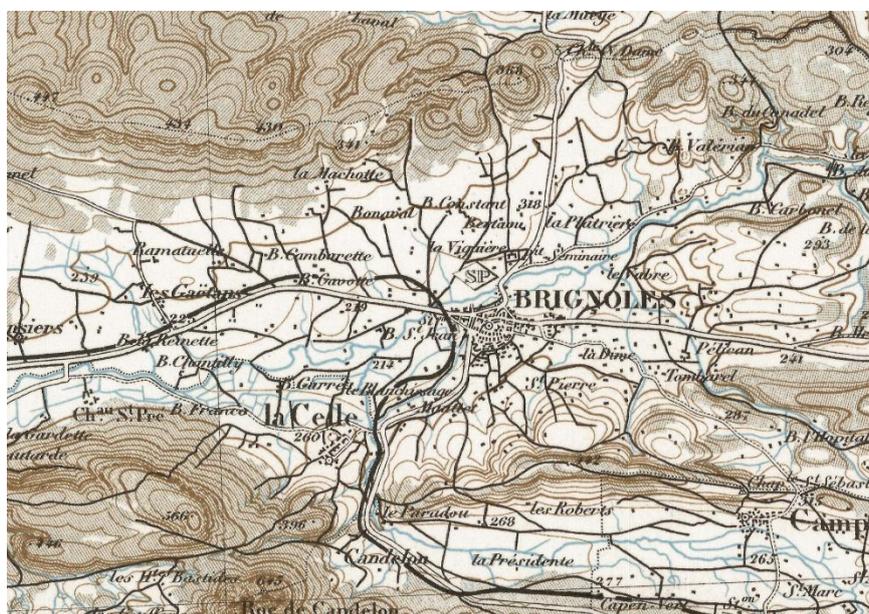
Lorsqu'en 1828, la commission prend ses décisions, la cartographie se grave sur cuivre et elle est imprimée en noir. Si un document doit être publié en couleurs, celles-ci sont apposées à la main, dans un second temps. A ce moment-là, on trouve quelques cartes imprimées en couleurs comme en témoignent plusieurs exemples mais ils ne dépassent pas le format d'une page de livre. Ainsi, en 1828, il n'est pas pensable d'imprimer une feuille de la taille de la carte d'état-major (50 x 80 cm utiles) en couleurs. A titre de comparaison, la carte de l'état-major autrichien, publiée à l'échelle 1:75 000 à partir de la fin des années 1860, est aussi gravée sur cuivre et imprimée en noir. Elle présente les mêmes défauts que son équivalent français⁴⁶.

Dans ce contexte, l'amélioration des techniques d'impression en couleurs au cours de la seconde moitié du XIX^e siècle ouvre de nouveaux horizons. Les premières cartes imprimées en couleurs par le Dépôt de la guerre sont des documents en une seule feuille, elles datent des années 1860. Un des exemples le plus réussi est la carte du massif du Mont-Blanc, préparée par le Capitaine Mieulet et publiée en 1865. Le modelé du terrain est figuré en hachures suivant le principe adopté pour la carte d'état-major. Cependant, les zones de fortes pentes sont traitées comme des amoncellements de rochers et bénéficient d'un éclairage oblique – du nord-ouest vers le sud-est – qui souligne les crêtes et renforce l'impression de relief. Cette représentation est imprimée en brun de manière à ne pas nuire à la lisibilité de la planimétrie et de la lettre, imprimées en noir. Pour leur part, les zones d'enneigement persistant et les glaciers sont traitées en courbes de niveau – ou pseudo courbes dans les parties insuffisamment documentées – imprimées en bleu. Mais la couleur est trop claire pour produire un effet d'ombrage lorsque ces courbes sont rapprochées. Ainsi, ces zones apparaissent à peu près aussi planes qu'une mer alors qu'elles présentent un dénivelé d'environ 3800 mètres.

Une dizaine d'années plus tard, à la suite de nouvelles expériences, le Dépôt de la guerre change d'échelle et s'engage dans la préparation d'une carte de l'ensemble des Alpes françaises en couleurs à l'échelle 1:80 000 [F1832_04]. Cette carte est un sous-produit de la carte d'état-major mais, pour en améliorer la lisibilité, le relief est traité en courbes de niveau imprimées en brun. Non seulement les courbes chargent beaucoup moins la carte que les hachures mais encore, la couleur retenue est assez claire pour ne pas interférer avec les informations imprimées en noir. Les neiges et les glaciers sont aussi représentés en courbes. Elles sont imprimées dans un bleu assez soutenu pour rendre le modelé et donner une impression de continuité avec le figuré des zones qui ne sont pas enneigées. La lisibilité de la lettre et de la planimétrie de cette carte sont sans commune mesure avec celle de l'original en noir. En contrepartie, l'image d'ensemble de chaque feuille a beaucoup perdu dans cette transformation, elle semble manquer de contraste. La juxtaposition des versions en noir et en couleurs de la même région montre qu'une représentation satisfaisante à toutes les échelles d'observation résulterait d'une combinaison des qualités des deux documents. Quelques années plus tard, elle est obtenue par la technique de l'estompage.

⁴⁵ . Rouby, Edouard Emmanuel, *op. cit.*, p. 32-39.

⁴⁶ . Pour d'autres exemples, voir Ristow, Walter William, « Lithography and Maps 1796-1850 », dans D. Woodward, éd., *Five centuries of map printing*, Chicago, University of Chicago Press, 1975, p. 90.



A chaque facture ses qualités et ses défauts

La juxtaposition des versions en noir et en couleurs de la même région figurée à la même échelle – 1:80 000 – montre bien qu'une représentation satisfaisante à tous les niveaux d'observation résulterait d'une combinaison des qualités des deux documents. – a. Carte d'état-major au 1:80 000, extrait de la feuille n° 236, *Draguignan*, Paris, Dépôt de la guerre, 1870. b. Carte des Alpes au 1:80 000 en couleurs, extrait de la feuille *Brignoles*, Paris, Dépôt de la guerre, 1875.

La première édition des 58 feuilles de la carte des Alpes en couleurs est publiée en 1875. A ce moment-là, le Dépôt de la guerre ne dispose pas du matériel nécessaire pour en assurer la production. Par ailleurs, les imprimeurs parisiens qui en sont chargés conservent jalousement les procédés utilisés. Cette carte est imprimée en trois couleurs seulement : le bleu pour les eaux, les glaciers et la neige persistante, le brun pour les courbes de niveau et le noir pour les autres informations. Pour réduire les éventuels décalages entre les couleurs, chaque feuille est partagée en quatre parties d'un format utile de 30 par 40 centimètres. L'année suivante, le commandant Rouby ne manque pas de citer cette carte en exemple et

il note avec intérêt que le prix de revient de la gravure des courbes de niveau est dérisoire par rapport à celui des hachures⁴⁷.

Au contraire de la gravure sur cuivre qui impose un dessin par traits ou par points, la lithographie – sur pierre comme sur zinc – autorise les aplats ou bien les dégradés de valeurs moyennes. On les exécute au crayon lithographique sur une pierre ou une plaque préparée avec un léger grain qui accroche la mine du crayon ; cette technique est exploitée pour représenter le modelé du terrain. Le spectre des valeurs de gris obtenu par cette méthode étant plus large que celui envisageable en hachures, elle permet de figurer ce modelé de manière plus fine qu'auparavant, en particulier pour les régions de faux-plat (valeurs claires). Ajouté à des courbes de niveau, l'estompage permet de combiner les avantages des hachures en noir avec ceux des courbes de niveau en couleurs. Une carte des environs de Paris à l'échelle 1:20 000 constitue un bon exemple de cette combinaison⁴⁸. Les zones dont la pente est supérieure à huit pour cent sont rehaussées par des dégradés dressés au crayon lithographique et imprimés en gris tandis que les courbes de niveau sont en brun⁴⁹. Cette superposition semble assez satisfaisante mais sa transposition à une échelle plus petite ne va pas de soi. Par ailleurs, la région parisienne ne présente pas un relief assez mouvementé pour étendre la solution adoptée à l'ensemble du territoire national.

La question est donc reprise une quinzaine d'année plus tard lorsqu'il s'agit de définir la facture de la nouvelle carte de France à l'échelle 1:50 000. La discussion s'engage tout d'abord sur le choix entre éclairage zénithal et éclairage oblique pour la construction de l'estompage. A l'issue de plusieurs essais, il est décidé de procéder en deux temps. Un premier ombrage basé sur un éclairage zénithal est complété par un second ombrage construit à partir d'un éclairage oblique. Le choix de la couleur des estompages correspondants donne lieu à de nouvelles hésitations. On estime que le bistre « se marie mieux que le gris-bleuté avec les courbes de niveau » tandis que le gris-bleuté « est plus transparent et plus doux ». Malgré le surcoût qu'elle impose, la solution adoptée est une combinaison des deux. On décide d'imprimer l'ombrage de l'éclairage zénithal en bistre et celui de l'éclairage oblique en gris-bleuté. Cette carte se propose alors d'être utile à tous les services ; à ce titre, son prix de revient ne semble pas constituer un obstacle. La commission note aussi que les courbes de niveau présentent un avantage important par rapport aux hachures. En déchargeant fortement la carte, elles permettent de multiplier les autres informations et les signes conventionnels correspondants⁵⁰. Pour les zones en forte pente, lorsque les courbes de niveau se resserrent et risquent de produire des empâtements, les cartographes les remplacent par un effet de hachures censé représenter des rochers⁵¹. Jusqu'en 1932, cette figuration est conventionnelle. Ensuite, les dessinateurs prennent en compte la nature du terrain, sa géologie et les formes de son érosion pour dresser la représentation des zones de rochers⁵².

⁴⁷. Rouby, Edouard Emmanuel, *op. cit.*, p. 50.

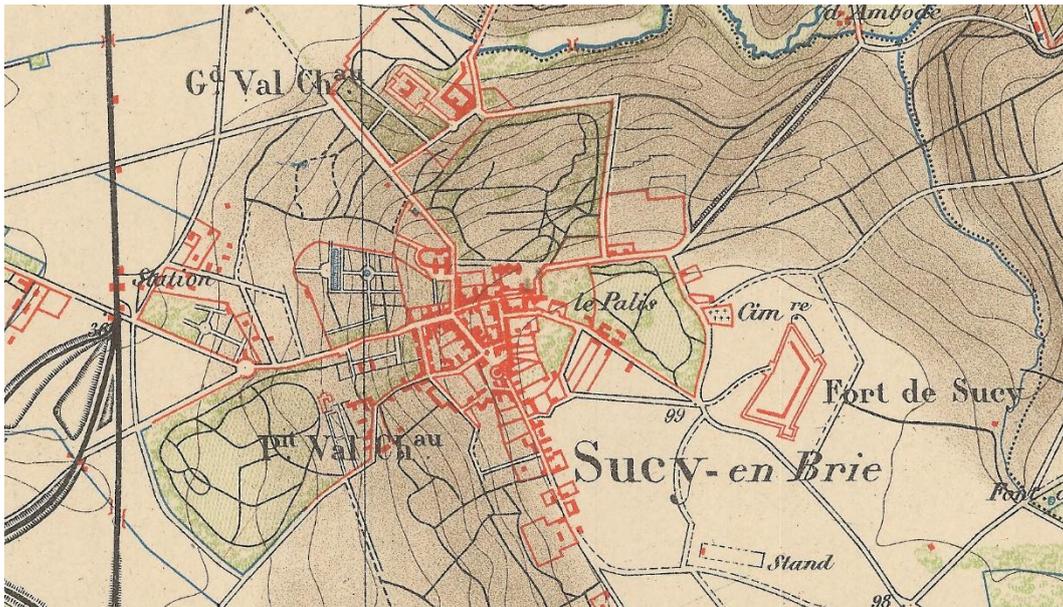
⁴⁸. Cette carte, préparée par le Dépôt de la guerre pour le compte du département de la Seine, est partagée en 36 feuilles. Sa première édition, publiée vers 1875, est imprimée en noir. Dès 1879, elle est l'objet de plusieurs rééditions en couleurs ; on en compte trois en moins de 10 ans.

⁴⁹. Cette formule est retenue après plusieurs tentatives monochromes – courbes et estompage en noir et gris ou bien en brun foncé et brun clair – comme en témoignent différents tirages d'essai conservés à la cartothèque de l'IGN.

⁵⁰. Bassot, Antonin Léon, *Rapport de la sous-commission au sujet de la carte de France au 50.000^e dérivée des levés à grande échelle*, 1900, p. 30-37.

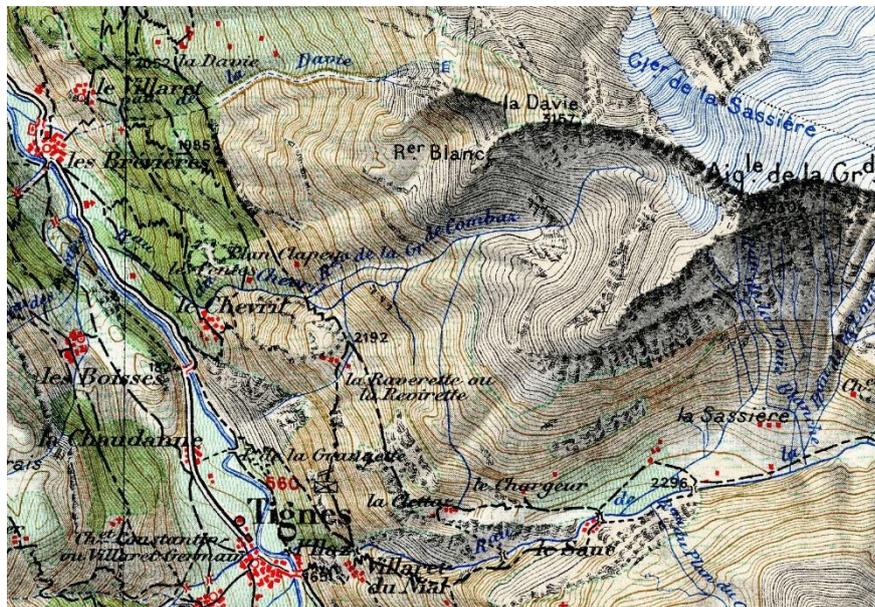
⁵¹. Gendre, F., « La feuille de La Grave de la carte au 20.000^e », *La montagne*, 1926, p. 250 sq.

⁵². Alinhac, Georges, *Cartographie ancienne et moderne. Deuxième fascicule. Cartographie française moderne*, Paris, Institut géographique national, 1956, p. 66.



Estompage et courbes de niveau

L'introduction de l'estompage permet d'affiner la figuration du modelé du terrain sans nuire à la lisibilité de la planimétrie. Imprimé en brun, il complète les courbes de niveau dans les zones dont la pente est supérieure à huit pour cent. – Carte des environs de Paris au 1:20 000, extrait de la feuille *Boissy – St Léger*, Paris, Dépôt de la guerre, 1887.



Le type 1900, une facture de luxe pour figurer le relief

L'estompage construit sur la base de l'éclairage zénithal est imprimé en bistre, celui de l'éclairage oblique est en gris-bleuté. La couleur des courbes de niveau varie en fonction de la nature du terrain. Pour parvenir à ce résultat, on utilise pas moins de quatre planches d'impression. – Carte de France au 1:50 000, type 1900, extrait de la feuille *Tignes*, Paris, Service géographique de l'armée, 1911.

En passant par la photo

Après un quart de siècle au cours duquel la figuration du relief a peu évolué, les débats à ce sujet reprennent au milieu des années vingt à la faveur de l'exploitation des photographies terrestres, utilisées depuis quelques années déjà, pour les levés des zones de montagne difficiles d'accès. Le rapport du Service géographique de l'armée des années 1924-1925 rappelle que l'exploitation de ces images doit être complétée sur place pour relever les zones de rocher et les lignes caractéristiques du terrain telles que les arêtes, les changements de pente, ou encore les lignes de stratification... Suivant ce rapport, la projection ne donne pas les moyens de signaler sur la carte les éléments verticaux du paysage, les dentelures de crêtes et les pics. Les dessinateurs sont alors chargés de tester l'ajout d'indications complémentaires au tracé des courbes. On a par exemple essayé de tracer les lignes caractéristiques du terrain ou encore d'interrompre les courbes de niveau sur les arêtes de manière à les marquer. Le rapport évoque aussi des artifices de dessin sans en donner le détail⁵³. La consultation des documents publiés au cours des années suivantes ne témoigne pas de l'adoption de ces techniques. Toutefois, la part du rapport consacrée à la figuration du relief montre que, malgré les progrès accomplis au cours du dernier quart du XIX^e siècle, les résultats obtenus ne sont pas toujours à la hauteur des attentes.

Quelques années plus tard, le développement des méthodes de la photogrammétrie pour l'exploitation des photographies aériennes relance le débat relatif à la représentation du relief. La qualité des relevés obtenus à partir des photos, supérieure à celle issue d'un relevé de terrain dans les zones montagneuses, semble capable de résoudre tous les problèmes⁵⁴. Au milieu des années trente, le Service géographique de l'armée fait des essais de figuration des zones en forte pente avec des courbes de niveau⁵⁵. Le résultat est peu probant, les courbes trop rapprochées deviennent illisibles et leur fluidité donne l'impression de formes lisses alors que les fortes pentes sont souvent composées de rochers plus ou moins déchiquetés. Ainsi, malgré les progrès des procédés d'exploitation des photographies, le Service géographique de l'armée puis l'IGN continuent de faire dessiner les rochers à la main au moins jusqu'à la fin des années quatre-vingt. Quelques années plus tôt, le dessinateur chargé du rocher sur la feuille *Saint-Christophe-en-Oisans* à l'échelle 1:25 000 y a consacré plus de dix mois⁵⁶. Actuellement, la production de la carte de base est presque entièrement numérique. Le seul domaine non automatisé concerne le tracé des courbes de niveau, l'estompage qui figure le modelé du terrain et la figuration des rochers. Des essais récents, évalués par le bureau des guides de Chamonix et le peloton de gendarmerie de haute-montage, ont montré que le modèle numérique de terrain disponible n'est pas assez détaillé pour produire les planches de courbes de niveau et l'estompage de manière satisfaisante à l'échelle 1:25 000⁵⁷. Pour les rochers, les tentatives d'automatisation ont donné des résultats peu probants. Ils le sont d'autant moins qu'ils ne croisent pas les informations topographiques avec des connaissances géologiques alors que dès 1925, Robert Perret notait à ce propos qu'elles permettent aux opérateurs « de discerner un ordre,

⁵³. *Rapport pour 1924-1925*, p. 30-35.

⁵⁴. *Rapport pour 1932-1933*, p. 86-87.

⁵⁵. Sur ces essais, voir Guilhot, Nicolas, *Histoire d'une parenthèse cartographique...*, Lyon, thèse de doctorat, université de Lyon II, 2005, p. 471-472.

⁵⁶. Témoignage de Christian Huon, ancien responsable du service de la production à l'IGN (2013).

⁵⁷. Interview de Didier Blaquièrre, chef de produit cartographique à la direction de la production des référentiels à l'IGN, Saint-Mandé, le 4 décembre 2015.

là où les simples géomètres ne croient voir qu'un chaos »⁵⁸. Autrement dit, la nécessité de croiser les données du relief avec des informations géologiques et pédologiques pour la figuration du rocher confère encore un bel avenir aux dessins tracés à la main⁵⁹.



Chapitre précédent

Chapitre suivant

Sommaire

D'un objet rare à un produit de destruction massive

Du terrain aux vues d'avion

Annexes

Les reproductions qui ne portent pas de mention d'origine particulière proviennent de l'Institut national de l'information géographique et forestière.

Ce texte et les dessins de l'auteur sont sous licence creative common : Attribution – ShareAlike 4.0. (CC-BY-SA).

⁵⁸ . Perret, Robert, « La représentation du rocher sur les cartes topographiques », *Annales de géographie*, vol. 34, n° 190, 1925, p. 301-312. Les travaux les plus récents, à la recherche d'expressions graphiques automatisées, témoignent des limites d'une approche purement graphique qui ne tient pas compte ni de la granularité des rochers, ni des aspects géologiques. Christophe, Sidonie, *et al.*, « Texture generation for expressive rock drawing », Washington, conférence ICC, juillet 2017.

⁵⁹ . A ce titre, les conclusions des essais effectués au début des années quatre-vingt-dix semblent *a posteriori* avoir été très optimistes. Meyer, M.A., « Montpellier Série Bleue. Réalisation d'un prototype de carte à partir de la BD topo », *Comité français de cartographie*, bulletin n° 138, déc. 1993, p. 5-7 ; Gondol, Loïc, Le Bris, Arnaud, Lecordix, François, « Cartographie des zones de haute montagne. Essai de cartographie numérique des rochers », *Bulletin du comité français de cartographie*, n° 193, septembre 2007, p. 7-19 ; Lecordix, François, *et al.*, « Représentation du relief en zone de montagne », *Bulletin du comité français de cartographie*, n° 202, décembre 2009, p. 19-28.