LE DESSIN DE LA CARTE DANS LA FORMATION DES INGÉNIEURS DU GÉNIE DE 1750 A 1850

par Bruno BELHOSTE, Institut national de recherche pédagogique

Le dessin est une des compétences majeures de l'ingénieur à l'âge classique. Les techniques graphiques, en particulier le dessin de la carte, lui fournissent en effet des moyens variés d'invention, de réalisation et de mise en scène du projet, prenant en compte contraintes géographiques et topographiques. Plus que tout autre, cependant, l'ingénieur du génie exige de la précision dans le dessin, en particulier pour le figuré du relief. Le développement de méthodes géométriques rigoureuses à partir de 1750, d'abord à Mézières, puis à Polytechnique et à Metz, permet de répondre à ces besoins spécifiques, contribuant ainsi notablement à l'amélioration des techniques de cartographie.

◆ Une formation en milieu scolaire.

A partir du milieu du XVIIIe siècle, la formation des ingénieurs du génie s'effectue dans un cadre scolaire. L'Ecole du génie de Mézières est fondée en 1749. En 1794, cette école, transférée à Metz, devient une simple école de pratique, formant des ingénieurs de façon accélérée pour répondre aux besoins de la guerre. La même année, l'Ecole centrale des travaux publics est ouverte à Paris et prend le nom d'Ecole polytechnique l'année suivante. Le fondateur de l'Ecole polytechnique, Gaspard Monge, puise une grande part de son inspiration à Mézières, où il a été longtemps professeur. La nouvelle école est ainsi, à bien des égards, l'héritière de l'ancienne école du génie.

Selon le plan initial de Monge, l'Ecole centrale des travaux publics doit former en trois ans des ingénieurs de tous les genres, civils et militaires. Mais, dès 1795, sont créées les écoles d'application. Après deux années à l'Ecole polytechnique, les futurs ingénieurs passent dans une école dépendant d'un service public pour y recevoir une formation spécialisée. L'Ecole du génie de Metz devient alors une école d'application de l'Ecole polytechnique. En 1802, elle fusionne avec l'Ecole d'artillerie ouverte à Châlons-sur-Marne au début de la Révolution pour former l'Ecole d'application de l'artillerie et du génie, installée à Metz jusqu'à la défaite de 1870.

◆ La cartographie des ingénieurs du génie.

Pour l'ingénieur des fortifications, la carte est un outil indispensable. La conception et la réalisation d'un ouvrage exigent une connaissance très précise du terrain. Cette connaissance est également un préalable pour celui qui veut entreprendre un siège dans les règles. Les ingénieurs du génie sont donc par vocation aussi des cartographes.

La cartographie des ingénieurs du génie présente cependant des caractères spécifiques par rapport à celle des autres ingénieurs, qu'ils soient civils comme les ingénieurs des ponts et chaussées, ou militaires comme les ingénieurs-géographes. j'en retiendrai deux principalement. C'est d'abord l'utilisation presque exclusive de cartes et plans à grande échelle, au minimum à 1/5000 et jusqu'à l'ordre de 1/150, répondant à une exigence de grande précision dans la représentation du terrain. C'est aussi et surtout la préoccupation du relief.

Toute la fortification moderne, c'est-à-dire la fortification bastionnée inventée en Italie aux alentours de 1500, est une réponse au progrès du tir au canon. Flanquement, commandement et défilement définissent ainsi une géométrie, dont les principe sont développés par Vauban et ses disciples. Mais l'ingénieur sait que les principes doivent toujours composer avec la nature du terrain. La fortification est tenue de s'adapter à sa situation, une position côtière, la présence d'une rivière et principalement le relief, surtout en région de montagne.

A cet égard, le problème fondamental de l'ingénieur est celui du défilement, c'est-à-dire de la protection du tir direct de l'ennemi. C'est le défilement qui conduit les fortificateurs modernes à raser les anciennes murailles, remplacées par de grande masses de terre se défilant, c'est le cas de le dire, aux regards et aux tirs de l'assaillant. Défiler une fortification en terrain plat est une tâche relativement facile. Les règles en sont connues depuis longtemps et sont devenues parties intégrantes des systèmes bastionnées classiques. Le problème devient beaucoup plus délicat en terrain inégal. Il n'y a plus alors de règles simples et générales de défilement, puisque celui-ci dépend de la surface topographique environnante.

Classiquement, c'est-à-dire jusqu'au milieu du XVIIIe siècle, le défilement d'une fortification en zone accidentée est une question qui ne peut être résolue que sur le terrain et par tâtonnements. Résoudre le défilement sur la carte devient, dans la seconde moitié du XVIIIe siècle, une question d'école, étudiées en particulier à Mézières,

et qui n'aura d'application pratique qu'au XIXe siècle. Sa solution exige au préalable que le relief soit représenté sur la carte de manière précise et exacte, ce qui pose deux problèmes : celui du nivellement, opération délicate, et celui de la représentation sur la carte. Nous verrons plus loin comment on traitait ces problèmes à l'Ecole de Mézières.

◆ Topographie et cartographie à l'Ecole de Mézières.

L'enseignement à Mézières, qui s'étale sur deux années, est divisé en "école de théorie et "école de pratique". A l'école de théorie, on enseigne les mathématiques, la mécanique, la physique et, dans les années 1780, la chimie. Quant à l'école de pratique, elle est divisée elle-même entre les exercices dans les salles et les exercices sur le terrain. Les exercices dans les salles consistent essentiellement dans l'apprentissage du dessin d'ingénieur. Le dessin d'ingénieur est un dessin géométrique, auquel les élèves s'initient par l'étude de la coupe des pierres et des bois. C'est Monge, arrivé à Mézières en 1764, qui systématise ces pratiques du dessin d'ingénieur et les transforment en un corps de doctrine fondé sur une méthode géométrique rigoureuse, la double projection. Les exercices sur le terrain pratiqués à la belle saison dans les environs de Mézières consistent d'abord dans des travaux topographiques, puis en un simulacre de siège qui termine l'année scolaire, en septembre. Exercices dans les salles et exercices sur le terrain sont coordonnées. Des instructions sont données aux élèves avant les exercices de levé et de nivellement ; au retour, les données recueillies sont utilisées pour dessiner en salle les plans du terrain levé.

▮ Les exercices topographiques

Les élèves apprennent d'abord à lever des bâtiments et des terrains. Le levé de bâtiments à la toise relève de l'architecture. Le levé de la fortification à la planchette et à la toise est un cas-limite entre levé de construction et levé de terrain. C'est le seul exercice auquel est associée une opération de nivellement. Comme levés topographiques proprement dits, quatre types d'exercices sont prévus pour les élèves : le levé de carte à la planchette, le levé de carte à la boussole, le levé de carte au graphomètre et le levé à vue. Les élèves lèvent à la planchette un village des environs de Mézières, au 1/1800 en 1763 et 1/900 en 1771. Le levé à la boussole est un levé de remplissage. Jusqu'à la fin des années 1760, les élèves utilisent comme canevas une carte au 1/14400 des environs de Mézières qui leur est remise. Au début des années 1760 est rajouté un levé de carte au graphomètre, instrument qui permet des mesures angulaires assez précises, de l'ordre de la minute, et les élèves s'en servent comme canevas pour un levé à la boussole au 1/3600. Enfin, il est prévu un levé à vue, avec reconnaissance d'une place, en fin d'instruction pour entraîner les élèves au "coup d'oeil militaire".

Remarquons l'absence dans ces exercices d'opération de nivellement, hormis pour le levé de la fortification. Compte tenu de l'importance du relief dans la cartographie d'ingénieur, il s'agit d'une lacune de l'instruction. Il n'est guère douteux cependant que les techniques de nivellement étaient présentées aux élèves, au moins de manière théorique, soit par Leclerc, l'ingénieur-géographe chargé des exercices topographiques, soit par Monge qui ne dédaignait pas de s'occuper lui-même de ces questions. Dans ses leçons, données en 1795 à l'Ecole normale et qui forment la matière de sa *Géométrie descriptive,* Monge présente en effet des méthodes de nivellement au graphomètre qu'il a du exposer à Mézières.

C'est ainsi qu'il résout le problème suivant :
"Un ingénieur parcourant un pays de montagne est muni d'une carte topographique dans laquelle non seulement les projections des différents points du terrain sont exactes, mais encore les hauteurs de tous ces points au-dessus d'une même surface de niveau sont indiquées par des nombres placés à côté des points respectifs et auxquels on a coutume de donner le nom de cotes. Il rencontre un point remarquable qui n'est pas placé sur la carte, soit parce qu'il a été omis, soit parce qu'il a été rendu remarquable depuis la confection de la carte. L'ingénieur ne porte avec lui d'autre instrument d'observation qu'un graphomètre propre à mesurer les angles et cet instrument est garni d'un fil à plomb.

On demande que, sans quitter la station, il construise sur la carte la position du point où il est et qu'il trouve la cote qu'il convient à ce point, c'est-à-dire la hauteur au-dessus de la surface de niveau".

La solution consiste à prendre trois points voisins du point à niveler et à construire trois cônes dont les sommets sont aux trois points. Le point à niveler est à l'intersection des trois cônes. Si le graphomètre n'est pas muni d'un fil à plomb, le point à niveler est à l'intersection de trois tores.

▮ Les exercices cartographiques

Une fois les opérations topographiques effectuées, reste à réaliser les cartes à la plume et au lavis dans les salles. Pour la représentation du relief, Chastillon a imposé à Mézières la méthode de la carte cotée, le plan de comparaison par rapport auquel la cote est calculée passant par le point le plus élevé du terrain. Dans le dessin de fortification le système des cotes est étendu aussi bien aux constructions qu'au terrain proprement dit.

Le système des cotes permet de traiter sur la carte le problème du défilement dont on a vu l'importance. Géométriquement, la question revient à construire un plan rampant tangent au point le plus élevé du terrain environnant et coupant la surface topographique en arrière du front de fortification à construire .Ce plan est appelé plan de site. Mais la méthode est longue et pénible. L'ingénieur du Buat invente en 1768 l'échelle de pente qui permet de représenter commodément un plan rampant sur la carte. L'utilisation de l'échelle de pente inaugure le développement de la géométrie cotée, utilisée couramment par les ingénieurs du génie au XIXe siècle.

Un peu avant l'invention de l'échelle de pente, Monge invente une méthode beaucoup plus puissante pour

résoudre le problème du défilement. Cette méthode consiste en substance à construire un cône tangent à la surface topographique et dont le sommet est en un point du site où doit s'élever le front de fortification. Tout plan tangeant à ce cône est alors un plan de site. Pour construire le cône et le plan de site sur la carte, Monge emploie les techniques de double projection utlisées en coupe des pierres et appliquées par Chastillon au dessin d'ingénieur.

La méthode de Monge, enseignée à Mézières au moins à partir de 1775, est applicable en principe à des cartes cotées traditionnelles. Mais la représentation du relief par des courbes de niveau apparaît comme une technique plus adaptée à la méthode. On sait que l'utilisation des courbes de niveau en cartographie a été prônée par du Carla, qui a présenté un mémoire sur la question à l'Académie des sciences en 1771. Il est probable que Monge connaissait déjà ce mode de représentation du relief, même s'il donnait la préférence au système des hachures. Les courbes de niveau, intersections de la surface topographique avec des plans horizontaux équidistants, sont en effet une application naturelle et immédiate de ses méthodes. En 1777, Meusnier, élève de Monge et qui a enseigné sous sa direction le défilement à l'Ecole de Mézières, propose d'ailleurs une solution directe du problème du défilement utilisant systématiquement les courbes de niveau.

Malgré leurs avantages, les courbes de niveau ou les hachures ne semblent pas s'être imposées à Mézières dans le figuré du terrain et l'on semble en être finalement resté aux cartes et plans cotés, plus frustes, mais mieux adaptés aux conditions du nivellement à l'époque.

◆ Topographie et cartographie à l'Ecole polytechnique et à l'Ecole d'application de l'artillerie et du génie de Metz.

Dans la nouvelle Ecole polytechnique, créée par Monge, l''ensemble des techniques graphiques est réuni sous le nom nouveau de géométrie descriptive. La topographie et la cartographie deviennent ainsi de simples applications d'une méthode géométrique générale. Le levé des cartes et le nivellement sont enseignés pendant deux mois en première année par Hachette, un disciple de Monge. Il est prévu comme à Mézières des exercices pratiques sur le terrain. En fait, la création des écoles d'application diminue considérablement l'importance de cet enseignement à Polytechnique ; les exercices sur le terrain disparaissent après 1806 et le cours de topographie, annexé au cours d'art militaire, est confié au capitaine Clerc, chef de la brigade topographique du dépôt des fortifications. Ce cours disparaît à son tour après la réorganisation de 1816. Jusqu'à 1850, seul subsiste un enseignement du dessin de la carte donné par un maître de dessin, Christian Brune, qui exercera plus de trente ans. Cet enseignement sera régulièrement critiqué par l'Ecole de Metz et Brune sera finalement contraint à la démission en 1847.

A Metz, en revanche, la topographie est un enseignement dynamique qui reprend la tradition interrompue de Mézières, en particulier pour l'organisation des levés de terrain, maintenue sans grands changements à Metz jusqu'à 1870. En 1835, par exemple, les élèves de première année font un levé à la boussole pendant seize jours et un levé à vue pendant quinze jours ; ceux de deuxième année font un nouveau levé à vue pendant seize jours et un levé trigonométrique pendant six jours;

La seule évolution notable par rapport à Mézières est l'importance plus grande du levé à vue, indispensable aux artilleurs. Dans le levé trigonométrique, le théodolite remplace le graphomètre.

◆ La représentation du relief : hachures, courbes de niveau et ombres portées.

Si l'Ecole de Mézières a été le creuset dans lequel se sont élaborés les nouveaux modes de représentation du relief, en particulier les courbes de niveau, ces techniques restent encore expérimentales jusqu'à la fin du XVIIIe siècle et ne sont guère utilisées dans la pratique. C'est l'Ecole polytechnique qui va en assurer la promotion et la diffusion. Dans son cours de géométrie descriptive, Monge fait référence à la fameuse carte de la rade de Cherbourg, avec courbes de niveau sous-marines, réalisée par Meusnier en 1789. Horace Say, le frère de Jean-Baptiste, enseigne la méthode de défilement de Monge en utilisant les courbes de niveau. Cette technique de représentation s'introduit progressivement dans la pratique sous l'influence de l'Ecole. Elle est utilisée pendant l'expédition d'Egypte pour le plan du fort de l'Institut au Caire, probablement réalisé par Say; Et en 1801, Haxo, passé par Polytechnique, emploie des courbes de niveau pour son projet de forteresse à Rocca d'Anfo, dans le Trentin.

Une commission, qui réunit des représentants de tous les services publics, est chargée en 1802 d'harmoniser les signes et les conventions cartographiques. Elle conseille, entre autres, l'emploi de hachures parallèles aux lignes de plus grande pente pour les cartes à petite échelle et de courbes de niveau pour la détermination des plans de site et de défilement. Elle opte également pour l'éclairage oblique (50°, N.W.). L'Ecole polytechnique adopte dans son enseignement les recommandations de la commission. Le capitaine Clerc, qui enseigne la topographie de 1807 à 1813, est d'ailleurs un partisan convaincu de la représentation du relief par des courbes de niveau. Il crée pour son cours des cartes-modèles en relief de Gentilly et de Montmartre, où auraient dû se dérouler les exercices pratiques. Entre 1809 et 1811, à l'occasion des opérations topographiques sur le site La Spezzia, près de Gênes, il met au point des méthodes systématiques de nivellement, permettant de réaliser pratiquement des cartes avec courbes de niveau.

Après 1816, l'enseignement de la carte donné par Christian Brune à l'Ecole polytechnique sombre dans la routine. Brune enseigne les hachures et le lavis ombré en suivant les recommandations de 1802. A la même époque, l'enseignement de topographie à l'Ecole d'application de l'artillerie et du génie de Metz apparaît beaucoup plus novateur. Le professeur de topographie, le capitaine Clerc, avec l'appui du professeur de fortification, Noizet, tous deux nommés en 1826, utilise avec prédilection les courbes de niveau, en relation avec

l'emploi systématique de la géométrie cotée, dont ils demanderont l'introduction à l'Ecole polytechnique en 1832. Pour les hachures, également enseignées, on utilise à Metz un système dû à Haxo (1822), différent de celui adopté à l'Ecole d'Etat-major. Enfin, l'éclairage oblique est rejeté au produit de l'éclairage zénithal, plus rationnel. Pour les ingénieurs du génie, l'éclairage oblique, s'il donne un meilleur modelé, est un véritable "roman topographique". L'éclairage zénithal, en revanche, exprime directement la pente, qui devient plus sombre à mesure qu'elle devient plus raide. La querelle de l'éclairage, très vive, s'apaise après 1828, quand l'éclairage zénithal s'impose pour la carte de France.

Bibliographie

Bruno Belhoste, "*Du dessin d"ingénieur à la géométrie descriptive. L'enseignement de Chastillon à l'Ecole du Génie de Mézières*", In extenso, juin 1990, pp. 103-135

Bruno Belhoste, Antoine Picon, Joël Sakarovitch "*Les exercices dans les écoles d'ingénieurs sous l'Ancien Régime et la Révolution*", Histoire de l'Education, N° 46, mai 1990, pp. 53-109.

Henri Berthaud," *La carte de France, 1750-1898, étude historique*", 2 vol. Paris, 1898

P.A. Clerc, "*Essai sur les éléments de la pratique des levers topographiques et de son enseignement*", 2 vol. Metz et Paris, 1839-1840

Jean Dhombres (éd.) "*L'Ecole normale de l'an III, Leçons de mathématiques*", Dunod, Paris, 1992

Joseph W. Konvitz, "*Cartography in France, 1660-1848. Science, engineering and state craft*", The University of Chicago Press, Chicago, 1987

Philippe Prost, "*Les forteresses de l'Empire. Fortifications, villes de guerre et arsenaux napoléoniens*", Editions du Moniteur, 1991.