

LES EXERCICES DANS LES ÉCOLES D'INGÉNIEURS SOUS L'ANCIEN RÉGIME ET LA RÉVOLUTION

*par Bruno BELHOSTE, Antoine PICON
et Joël SAKAROVITCH*

Les exercices d'élèves, en particulier les exercices graphiques, sont un bon révélateur du fonctionnement des anciennes écoles d'ingénieurs et du type d'ingénieurs qu'elles sont censées former. Leur position est, en effet, stratégique : c'est au cours des exercices que se réalise de manière privilégiée en milieu scolaire l'application de la théorie aux situations pratiques, caractéristique de l'art de l'ingénieur. L'examen des travaux d'élèves, replacés dans leur contexte pédagogique, éclaire ainsi les rapports complexes entre enseignement général et professionnel dans les écoles d'ingénieurs, et, par delà, renouvelle dans une certaine mesure notre vision des formes de culture technique dominantes au XVIII^e siècle.

Dans cette étude, nous considérons d'abord les deux grandes écoles d'Ancien Régime, l'École royale des Ponts et Chaussées et l'École royale du Génie de Mézières, puis l'École polytechnique, fondée en 1794 sous le nom d'École centrale des Travaux publics (1). Ces trois écoles sont très différentes, même si la dernière hérite de bien des traits de ses devancières. En particulier, le caractère, la place et la fonction des exercices répondent dans chacune d'elles à des exigences spécifiques. À travers l'enseignement qui s'y donne, se dessinent en fait trois figures d'ingénieurs : l'ingénieur « artiste » incarné par l'ingénieur des Ponts et Chaussées, encore proche de l'architecte, s'efforçant de concilier raisons et traditions, l'ingénieur géomètre incarné par celui du Génie, déjà soucieux de plier l'espace

(1) Antoine Picon a rédigé plus particulièrement la partie sur l'École des Ponts et Chaussées, Bruno Belhoste celle sur l'École du Génie de Mézières, Bruno Belhoste et Joël Sakarovich celle sur l'École polytechnique.

aux seules règles de son art et l'ingénieur savant, incarné par le polytechnicien, précurseur de l'ingénieur du XIX^e siècle, prétendant soumettre au calcul la production des richesses et la circulation des hommes et des biens.

I. L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSEES

Première école d'ingénieurs française, l'École des Ponts et Chaussées est créée en 1747 afin de former les ingénieurs chargés de la construction et de l'entretien des voies de circulation du royaume (1). Jusqu'à la Révolution, les exercices jouent un rôle déterminant dans la scolarité des élèves ; l'importance des épreuves graphiques est en particulier remarquable. Pour être pleinement compris, ce rôle doit être replacé dans le cadre de l'histoire de l'établissement et du projet pédagogique dont il s'inspire. L'École des Ponts et Chaussées du XVIII^e siècle possède plusieurs traits originaux sur lesquels il convient d'insister avant d'entamer l'étude des exercices proposés aux élèves. En particulier, le système des concours en vigueur à l'École ne possède pas d'équivalent dans les autres institutions d'enseignement technique.

Le système des concours de l'École des Ponts et Chaussées

L'imbrication des logiques scolaires et professionnelles constitue la première des originalités de l'École des Ponts et Chaussées. À côté de sa vocation pédagogique, celle-ci se trouve investie d'une fonction de coordination technique dont elle portera très longtemps la marque. Qualifiés d'« employés » par son premier règlement promulgué à la fin de l'année 1747, les jeunes gens qui la

(1) Sur l'histoire du corps des Ponts et Chaussées au XVIII^e siècle, les deux ouvrages de base demeurent E.-J.-M. Vignon : *Études historiques sur l'administration des voies publiques en France aux XVII^e et XVIII^e siècles*, Paris, Dunod, 1862-1880, et surtout J. Petot : *Histoire de l'administration des Ponts et Chaussées 1599-1815*, Paris, M. Rivière, 1958. On trouvera également quelques renseignements utiles dans A. Brunot, R. Coquand : *Le Corps des Ponts et Chaussées*, Paris, C.N.R.S., 1982. Sur l'École des Ponts et Chaussées, lire F. de Dartéin : « Notice sur le régime de l'ancienne École des Ponts et Chaussées et sur sa transformation à partir de la Révolution », *Annales des Ponts et Chaussées*, 2^e trimestre 1906, pp. 5-143. Antoine Picon achève actuellement une thèse sur l'histoire de l'École, de sa création en 1747 aux années 1850.

composent sont chargés de dessiner des cartes routières et de vérifier les devis et détails produits par l'administration des Ponts et Chaussées (1).

L'absence de professeurs régulièrement appointés constitue une autre spécificité de l'établissement. À leur place, les élèves les plus avancés se chargent de l'instruction de leurs camarades, entre soixante et quatre-vingts élèves ou surnuméraires, en s'inspirant de manuels comme ceux de Clairaut, Bézout ou Bossut. Vers 1780, on enseigne ainsi à l'École des Ponts et Chaussées les éléments de géométrie suivant Mauduit, l'algèbre d'après Clairaut, les sections coniques d'après le marquis de L'Hospital, le calcul intégral d'après les traités de Bézout et de l'abbé Saury, la mécanique, enfin, d'après l'abbé Bossut, l'abbé Saury et Bézout (2). Ce curieux système d'enseignement mutuel se maintiendra jusque sous la Révolution, les élèves les plus instruits professant, selon l'inspecteur de l'École Pierre-Charles Lesage, « depuis l'arithmétique jusqu'à l'hydraulique, le trait de charpente et la coupe des pierres et le calcul des terrassements » (3).

L'enseignement mutuel a tout de même ses limites. Les élèves apprennent l'architecture chez des professeurs extérieurs à l'École qu'ils payent de leur deniers ; ils peuvent également suivre d'autres cours en dehors de l'établissement pour compléter leur formation (4). L'enseignement mutuel reste cependant la base de cette formation, plus volontiers tournée vers la pratique que vers la théorie. Rares sont les élèves qui maîtrisent par exemple les principes du calcul infinitésimal ; en mécanique, le niveau moyen des connaissances est également assez faible.

Le caractère peu théorique de l'enseignement dispensé par l'École trouve sa contrepartie dans les qualités pratiques qu'elle développe au cours d'une scolarité assez longue, puisqu'il faut entre cinq et sept ans pour former un ingénieur. Centrée sur l'apprentissage du projet, une telle scolarité rappelle beaucoup l'itinéraire que

(1) J.-B. Machault, arrêt du 14 février 1747, E.N.P.C. Ms 2629 bis reproduit dans E.-J.-M. Vignon, *op. cit.*, t. 2, P.J. pp. 150-151.

(2) *État des ingénieurs des Ponts et Chaussées, inspecteurs, sous-ingénieurs et élèves au 1^{er} juillet 1779*, E.N.P.C. Ms 2636 (3).

(3) P.-C. Lesage : *Mémoire sur l'établissement primitif de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, son état actuel, son organisation et l'emplacement d'un local plus avantageux qu'il conviendrait de lui assigner* (20 nivôse an III), E.N.P.C. Ms 2629 bis.

(4) Les principaux professeurs d'architecture fréquentés par les élèves des Ponts et Chaussées sont Blondel, Dumont et Daubenton. Parmi les autres cours suivis à l'extérieur de l'École des Ponts, mentionnons les leçons d'hydrodynamique de l'abbé Bossut, les leçons de physique de Brisson, le cours de chimie de Sage, les leçons d'histoire naturelle de Valmont de Bomare.

suivent les élèves de l'Académie d'Architecture (1). Les ingénieurs des Ponts et Chaussées, au siècle des Lumières, ne songent nullement à dissimuler cette parenté ; ils se veulent encore des « artistes » au même titre que les architectes ou les concepteurs de jardins.

L'ambiance de compétition qui règne entre les élèves est tout à fait remarquable. Savamment entretenue par Jean-Rodolphe Perronet, qui dirige l'École de 1747 à 1794 (2), l'émulation est directement liée au faible nombre de places offertes par l'administration à la sortie de l'établissement. Moins de la moitié des sujets admis à l'École entre par la suite dans le corps des Ponts et Chaussées (3). Démissionnaires ou contraints à l'abandon, les autres embrassent des carrières moins prestigieuses d'ingénieur au service d'une personne privée, ou d'architecte. Ce contexte très sélectif explique la place de choix faite aux exercices, qui permettent d'évaluer les mérites de chaque élève. Leur rôle va devenir encore plus important avec le renforcement de la vocation scolaire de l'établissement au détriment de la fonction de coordination technique qu'elle possédait au départ.

Dans les premières années de l'École, les jugements portés sur les élèves dépendent assez largement du zèle avec lequel ils s'acquittent des tâches de dessin et de vérification qui leur sont confiées par l'administration. Perronet, qui les suit de près, complète son opinion en leur posant de temps à autre des questions de mathématiques et de mécanique. Un exercice proposé le 1^{er} juillet 1747 s'énonce par exemple : « Deux fontaines ont rempli un bassin, l'une en fournissant pendant un temps b , l'autre pendant un temps c ; deux fontaines pareilles ont rempli un autre bassin, la première pendant un temps e , la deuxième pendant un temps f . On demande la dépense de chacune de ces fontaines ». Trois jours plus tard, on demande de diviser un trapèze en trois parties égales, telles qu'un

(1) Lire C. Cohen, L. Pelpel, M.-P. Perdrizet : *La Formation architecturale au dix-huitième siècle en France*, rapport de recherche C.O.R.D.A., Paris, 1980, *Les prix de Rome. Concours de l'Académie royale d'architecture au XVIII^e siècle*, publié par J.-M. Pérouse de Montclos, Paris, Berger-Levrault, E.N.S.B.A., 1984.

(2) Sur Jean-Rodolphe Perronet, lire par exemple P.-C. Lesage : *Notice pour servir à l'éloge de M. Perronet*, Paris, Bernard, 1805 ; F. de Dartein, « La vie et les travaux de Jean-Rodolphe Perronet, premier ingénieur des Ponts et Chaussées, créateur de l'École des Ponts et Chaussées » et « Le pont de la Concorde sur la Seine à Paris (1786-1791) », *Annales des Ponts et Chaussées*, 4^e trimestre 1906, pp. 5-87 et pp. 88-148.

(3) Dans une note rédigée en 1828, le directeur de l'École, Gaspard Riche de Prony calculera que 320 postes seulement avaient été offerts aux 704 élèves entrés entre 1750 et 1790. G. Riche de Prony : *Note sur l'École royale des Ponts et Chaussées* (août 1828), E.N.P.C. Ms 2629 bis.

point donné soit commun aux trois parties ; on demande également de trouver la surface d'un quart de cône ainsi que le vide d'une niche dont les dimensions sont connues. « A entendu la théorie du deuxième problème du 4 juillet mais n'a pas calculé juste », note Perronet à propos de l'élève De Ruelle (1).

Dès cette époque, les concours annuels représentent cependant les principaux exercices proposés aux élèves. Le règlement de 1747 en prévoit deux par an, récompensés par des prix de 400 et 300 livres en ouvrages et en instruments de mathématiques. Ce rythme n'est pas respecté rigoureusement, mais des concours sont organisés chaque année sur des sujets de construction et d'architecture. On demande ainsi en 1748 les dessins d'un pont en charpente, en 1752 les plans d'une maison de campagne pour un particulier, en 1756 ceux d'un petit canal de dérivation comportant une écluse (2). À côté de ces projets, d'autres concours font bientôt leur apparition, en mathématiques et en coupe de pierres et des bois notamment.

Le nombre de concours va s'accroître considérablement au début des années 1770. On assiste parallèlement à un effort de codification des critères d'évaluation des élèves, effort qui se traduit par la mise en place d'un système de « degrés d'instruction » à partir de 1773 (3). Chaque activité proposée dans le cadre de l'École se voit attribuer un certain nombre de points ou degrés d'instruction. La somme des degrés obtenus par chacun détermine sa place dans le classement général et ses chances d'être admis dans le corps des Ponts et Chaussées. Définitivement institué par l'*Instruction concernant la direction des élèves, des sous-ingénieurs et des inspecteurs des Ponts et Chaussées* approuvée par Turgot le 19 février 1775, ce système de notation accorde une place centrale aux concours (4).

Leur nombre est encore en augmentation. L'*Instruction* de Turgot prévoit en effet d'organiser chaque année trois concours de mathématiques et de mécanique, deux concours de construction portant respectivement sur les ponts et les travaux hydrauliques, un concours d'architecture, un concours de coupe de pierres, une épreuve de style consistant en une dissertation sur un sujet imposé,

(1) *Examen des élèves du Bureau des Ponts et Chaussées sur les mathématiques* (1748), E.N.P.C. Ms 2866.

(2) Archives E.N.P.C. n.c. cartons « Concours des élèves techniques ».

(3) Voir le dossier *Ponts et Chaussées. Aspirants-élèves. Correspondance relative à l'admission*, E.N.P.C. Ms 1933.

(4) A.-R.-J. Turgot : *Instruction concernant la direction des élèves, des sous-ingénieurs et des inspecteurs des Ponts et Chaussées*, reproduite dans F. de Dartein, « Notice sur le régime de l'ancienne École des Ponts et Chaussées et sur sa transformation à partir de la Révolution », pp. 107-123.

TABLEAU 1 :

Concours de l'École des Ponts et Chaussées avec les degrés d'instruction et les gratifications qui y sont attachés (1775)

Mathématiques		
<i>Mécanique, hydraulique, calcul intégral et différentiel</i>		
1 ^{er} prix	40 degrés	200 livres
2 ^e prix	35 degrés	100 livres
<i>Algèbre et sections coniques</i>		
1 ^{er} prix	30 degrés	180 livres
2 ^e prix	29 degrés	90 livres
<i>Éléments de géométrie</i>		
1 ^{er} prix	28 degrés	150 livres
2 ^e prix	27 degrés	75 livres
Architecture		
<i>Celle des ponts</i>		
1 ^{er} prix	26 degrés	200 livres
2 ^e prix	25 degrés	100 livres
<i>Celle des ports et jetées, des écluses, des digues et des canaux</i>		
1 ^{er} prix	24 degrés	180 livres
2 ^e prix	23 degrés	90 livres
<i>Celle des bâtiments civils</i>		
1 ^{er} prix	22 degrés	150 livres
2 ^e prix	21 degrés	75 livres
Coupe des pierres		
1 ^{er} prix	20 degrés	100 livres
2 ^e prix	19 degrés	50 livres
Style		
<i>Mémoire sur un sujet qui sera donné</i>		
1 ^{er} prix	18 degrés	100 livres
2 ^e prix	17 degrés	50 livres
Levé de plan géographique et topographique par les différentes méthodes		
1 ^{er} prix	16 degrés	70 livres
2 ^e prix	15 degrés	35 livres
Théorie et pratique du nivellement et calcul des solides appliqué au toisé des terrasses		
1 ^{er} prix	14 degrés	50 livres
2 ^e prix	13 degrés	25 livres
Toisé des ouvrages des bâtiments, fait suivant les us et coutumes de Paris		
1 ^{er} prix	12 degrés	40 livres
2 ^e prix	11 degrés	20 livres
Dessin		
<i>Dessin de la carte géographique et topographique</i>		
1 ^{er} prix	10 degrés	70 livres
2 ^e prix	9 degrés	30 livres
<i>Figure et ornement</i>		
1 ^{er} prix	8 degrés	60 livres
2 ^e prix	7 degrés	30 livres
<i>Paysage</i>		
1 ^{er} prix	6 degrés	40 livres
2 ^e prix	5 degrés	20 livres
Écriture		
<i>Celle de la carte en moulée</i>		
1 ^{er} prix	4 degrés	40 livres
2 ^e prix	3 degrés	20 livres
<i>Écriture courante et correcte</i>		
1 ^{er} prix	2 degrés	40 livres
2 ^e prix	1 degré	20 livres

une épreuve de levé de plan, une de nivellement, une de toisé des bâtiments, trois épreuves de dessin et deux épreuves d'écriture, soit seize concours au total (voir tableau 1). Chacun de ces concours comporte un premier et second prix ainsi qu'un premier et second accessit. Les prix et les accessits rapportent des degrés d'instruction comptabilisés pour le classement et l'admission finale dans le corps des Ponts et Chaussées. Afin d'introduire une motivation supplémentaire, l'échelle de notation est discontinuë. Si le premier prix d'un concours vaut N degrés, le second prix en vaut $N-1$, les premier et second accessits valant respectivement $N/2$ et $N/2-1$ degrés. « Comme il est également juste d'avoir égard au travail et aux efforts que les élèves auront fait pour les concours » (1), les concurrents malchanceux reçoivent le quart des degrés d'instruction attachés au premier prix, sauf s'il s'agit d'une épreuve de mathématiques en temps limité ou d'une épreuve de style qui ne représentent pas un investissement aussi important qu'un grand projet d'ouvrage d'art ou un équipement.

Chaque année, au mois d'avril, les élèves qui souhaitent concourir doivent indiquer à la direction de l'École les sujets qu'ils se proposent de travailler. L'organisation des concours est variable suivant les matières. En mathématiques ou en mécanique, les épreuves ont lieu en temps limité. Les concours de style ont également lieu en temps limité, à la différence des projets de construction et d'architecture dont l'élaboration occupe les élèves pendant des semaines entières. La plupart de ces projets doivent être exécutés à l'École, « avec les précautions convenables et d'usage » garantissant qu'ils ont été faits « sans aucun secours étranger, par ceux qui les produisent » (2). Concrètement, les élèves se réunissent pour dessiner dans des ateliers où ils se surveillent mutuellement. Les concours d'architecture jouissent de ce point de vue d'un statut un peu particulier, car les futurs ingénieurs travaillent chez leurs professeurs sur des programmes laissés le plus souvent à leur convenance. Une telle souplesse d'organisation donne lieu de temps à autre à des contestations. Dans les années 1780, l'élève Lallié est par exemple accusé par ses camarades de s'être fait aider par un dessinateur professionnel (3). Semblables affaires demeurent toutefois

(1) *Ibid.*

(2) *Ibid.*

(3) *Pétition des élèves contre le sieur Lallié*, E.N.P.C. n.c. carton « Affaires élèves 1779-1836 ». Dans le même ordre d'idées, Blondel avait déjà reproché à ses collègues Dumont et Daubenton de trop assister leurs élèves, voire même de composer et de dessiner à leur place, dans une lettre adressée à Perronet en février 1772, J.-F. Blondel, lettre à Perronet du mois de février 1772, E.N.P.C. Ms 1933.

exceptionnelles ; dans la société en miniature que forme la communauté des élèves, les talents de chacun sont bien connus, ce qui rend la tricherie difficile.

Les procédures d'examen des concours présentent également des différences selon le type d'épreuve. Les concours de mathématiques et de mécanique sont généralement confiés à un ou deux correcteurs qui classent les copies par ordre de mérite. La même procédure s'applique aux concours de style et aux épreuves pratiques comme le nivellement et le toisé des bâtiments. L'examen des grands projets de construction et d'architecture se révèle un peu plus complexe. Une première sélection au stade de l'esquisse permet d'éliminer les compositions les plus faibles. Désignées par des lettres de l'alphabet afin de préserver l'anonymat des concurrents, les pièces de concours restantes sont ensuite examinées par un jury qui comprend le directeur de l'École des Ponts et Chaussées ainsi que plusieurs inspecteurs généraux du corps. Afin de conférer un prestige supplémentaire à ce jury qui est aussi chargé de proclamer les résultats des autres concours, quelques membres de l'Académie d'Architecture viennent s'adjoindre à lui à partir de 1775. On relève ainsi la présence de Gabriel, Leroy, Moreau et Soufflot, tous quatre architectes éminents, lors du jugement du concours de 1778 (1).

Organisés et jugés selon des modalités différentes, tous les concours n'ont pas le même prestige et ne donnent pas les mêmes degrés d'instruction. Les épreuves de mathématiques et de mécanique sont de loin les mieux notées. Un premier prix de mathématiques rapporte 40 degrés, un premier prix d'algèbre et de sections coniques 30, un premier prix de géométrie 28. Rares sont cependant les élèves qui parviennent à se distinguer dans les matières scientifiques. Sur les 11 élèves entrés à l'École en 1770 et admis par la suite dans le corps, on ne recense guère qu'un premier accessit de mécanique (2). Sur les 16 élèves entrés en 1779-1780 et devenus ingénieurs à la fin de leur scolarité, 7 seulement obtiennent des prix et des accessits en mathématiques et en mécanique (3).

Les projets de construction et d'architecture viennent immédiatement après les épreuves scientifiques. Un premier prix de pont rapporte 26 degrés, un premier prix de travaux hydrauliques 24, un premier prix d'architecture 22. Les épreuves pratiques sont beau-

(1) *État des différents dessins faits par Mrs les élèves de l'École des Ponts et Chaussées, pour le concours de 1778 jugé en 1779*, archives E.N.P.C. n.c. carton « Concours des élèves technique ».

(2) États trimestriels des élèves, 1770 et années suivantes, E.N.P.C. Ms 1911.

(3) *Ibid.*, 1779 et années suivantes.

coup moins bien notées avec 14 degrés pour le premier prix de nivellement et 12 pour celui de toisé. Les concours d'écriture se situent enfin au bas de l'échelle avec des premiers prix de 4 et 2 degrés.

La diversité des épreuves permet à toutes sortes de talents de s'exprimer. Quelques élèves réussissent en s'appuyant sur leurs connaissances scientifiques ; d'autres, plus nombreux, grâce à leur maîtrise des problèmes de construction et d'architecture. À la fin de l'Ancien Régime, l'École des Ponts et Chaussées forme des techniciens aux profils assez variés. Bien que l'on trouve en majorité des hommes de projet sans grande culture scientifique, on recense tout de même parmi ses anciens élèves quelques ingénieurs mathématiciens comme Prony ou Girard.

Une telle diversité correspond à une stratégie de valorisation de l'établissement de plus en plus affirmée au fur et à mesure de son développement. Dans les premières années de l'École, les concours sont uniquement conçus dans une perspective de perfectionnement des élèves. À cet objectif se surimpose par la suite un idéal beaucoup plus académique. L'École de l'*Instruction* de Turgot se veut une pépinière de jeunes artistes s'exerçant à tous les genres de production, des mathématiques au projet, de la dissertation française au dessin d'art. En cultivant les talents des élèves et en donnant à leurs résultats toute la publicité désirable, il s'agit bien de renforcer le prestige de l'institution à laquelle ils appartiennent. La présence d'architectes reconnus aux jurys de l'École prend alors tout son sens. Vers la même époque, on commence à constituer une collection des meilleurs projets réalisés par les élèves sur le modèle de ce qui se pratique à l'Académie d'Architecture (1). Cette pratique s'inscrit dans la même perspective de valorisation que la composition des jurys annuels.

Il ne saurait être question d'étudier en détail tous les types de concours proposés aux élèves. Pour rester dans les limites de cet article, nous nous contenterons de brosser à grands traits le contenu des épreuves scientifiques, avant de nous attarder plus longuement sur les travaux graphiques dont la qualité constitue l'un des traits distinctifs de l'École fondée par Perronet.

(1) Collections de dessins de MM. les élèves, E.N.P.C. Ms 104, 105.

Le contenu de quelques épreuves clefs

Les concours de mathématiques et de mécanique en temps limité confirment tout d'abord le faible rôle joué par le calcul infinitésimal dans la formation des futurs ingénieurs, même si ce calcul figure au programme de l'une des trois épreuves annuelles prévues par l'*Instruction* de Turgot. La géométrie élémentaire et l'algèbre sont par contre omniprésents. On demande en 1775 de mener par un point A situé à l'intérieur d'un cercle une corde d'une longueur fixée et d'extrémités I et K, puis de calculer les valeurs des segments KA et AI. En 1779, il faut déterminer le nombre d'ouvriers employés à faire un remblai de 96 toises cubes, sachant que s'ils avaient été 8 de plus, ils en auraient fait chacun une toise de moins. Les problèmes de mécanique et d'hydraulique se réduisent la plupart du temps à des questions de géométrie et d'algèbre (1), qu'il s'agisse de déterminer la vitesse optimale d'une roue à godets connaissant la hauteur et le débit de la chute d'eau qui la fait tourner comme en 1779, ou que l'on demande comme en 1785 la pression s'exerçant sur un joint quelconque d'une voûte en arc, abstraction faite de tout frottement contre les voussoirs (2). Malgré le caractère relativement élémentaire de ces problèmes, de nombreux élèves ne parviennent pas à les résoudre. La formation scientifique dispensée à l'École des Ponts et Chaussées souffre de réelles lacunes en dépit des efforts déployés par Perronet, puis par son adjoint Chézy qui prend en charge le suivi des leçons données par les élèves-professeurs ainsi que l'organisation des concours à partir de 1763.

Les épreuves de coupe des pierres et des bois occupent une position intermédiaire entre les concours de mathématiques et les projets. Elles font appel à une géométrie assez sophistiquée, quoique plus technique que scientifique (3). Comme un architecte, un

(1) Les ingénieurs des Ponts et Chaussées ont surtout besoin de connaître la statique, qui sert à dimensionner les ouvrages, à calculer l'épaisseur des pieds droits d'une voûte ou d'un mur de soutènement. Ils ramènent ce type de question à des problèmes de décomposition des efforts qui peuvent être traités géométriquement ou algébriquement. L'hydrodynamique est, quant à elle, abordée en termes de bilans globaux, sans qu'ils soit jamais question de faire intervenir les équations générales du mouvement des fluides. Là encore, l'algèbre et la géométrie suffisent la plupart du temps aux ingénieurs.

(2) Archives E.N.P.C. n.c. cartons « Concours des élèves technique ».

(3) On trouvera une bonne introduction à l'art de la coupe des pierres et des bois, autrement dit l'art du trait dans J.-M. Pérouse de Montclos : *L'Architecture à la française, XVI^e, XVII^e, XVIII^e siècles*, Paris, Picard, 1982. Voir aussi J. Sakarovitch : *Théorisation d'une pratique, pratique d'une théorie. Des traités de coupe des pierres à la géométrie descriptive*, mémoire de diplôme d'architecte D.P.L.G. de l'École d'Architecture de Paris-La Villette, Paris, 1989.

ingénieur doit savoir tracer l'épure d'une voûte et concevoir jusqu'aux moindres détails d'une charpente ; il doit décider souverainement de tout, sans rien laisser à l'arbitraire des appareilleurs et des charpentiers. En s'inspirant des grands traités de coupe des pierres et des bois comme celui de Frézier, les élèves des Ponts et Chaussées imaginent des pénétrations de volumes qui témoignent leur savoir-faire.

Avec le renforcement de la vocation scolaire de l'établissement dirigé par Perronet, les pièces de trait deviennent de plus en plus élaborées. En 1759, les sujets traités par les élèves sont encore relativement simples : une vis de Saint-Gilles avec une lunette ébrasée, un berceau en descente ou une arrière-voûture de Saint-Antoine biaise et rampante (1). Les épures remises au concours de 1789 se révèlent autrement plus complexes à en juger par la description qui en est donnée. « Cette pièce renferme entre autres difficultés, une trompe dans un angle curviligne formé par deux tours de différentes courbures. L'une d'elle est elliptique et l'autre circulaire. Cette trompe soutient une troisième tour, et forme en même temps, par un cylindre qui la soutient, une porte à laquelle elle sert de couronnement », peut-on lire à propos de l'épure portant la lettre A. Une autre épure marquée B représente « une voûte annulaire engendrée par une ellipse rapportée à un de ses diamètres conjugués, qui n'étant point parallèle à l'horizon, donne une courbe rampante et telle que les pieds-droits de la voûte qu'elle engendre, soient parallèles entre eux et tangents à cette courbe à l'extrémité du diamètre conjugué » (2).

Les pièces de trait de charpente sont tout aussi sophistiquées comme en témoigne l'épure pour laquelle l'élève Fournier de Couze remporte un premier prix en 1785 : « Cette pièce est un clocher élevé sur une tour circulaire ; sa base est un sphéroïde de 38 pieds de diamètre dont la section à 20 pieds de hauteur donne un cercle de 22 pieds de diamètre qui est la base d'un cylindre de 20 pieds de hauteur ; à cette hauteur est inscrit un octogone qui est la base d'une pyramide de 110 pieds d'élévation ; cette pyramide est raccordée avec le cylindre par un cône qui a son sommet à 60 pieds de hauteur » (3).

(1) *Pièces de trait faites pour le concours proposé aux élèves des Ponts et Chaussées pendant le premier quartier de 1759*, E.N.P.C. Ms 2866.

(2) *État des différents dessins, coupe des pierres et trait de charpente, projets d'architecture hydraulique et civile, faits par les élèves des Ponts et Chaussées pour le concours de 1789 jugé le 29 juillet 1790*, archives E.N.P.C. n.c. carton « Concours des élèves technique ».

(3) *État des différents dessins par Mrs les élèves de l'École des Ponts et Chaussées pour le concours de 1785*, archives E.N.P.C. n.c.

Cependant, l'intérêt pratique de telles combinaisons n'est pas toujours évident. Les élèves accumulent les difficultés pour manifester leur virtuosité. Semblable virtuosité s'explique par l'importance que revêt la géométrie dans la formation des futurs ingénieurs. À l'École des Ponts et Chaussées, l'apprentissage de la géométrie dans l'espace demeure toutefois très traditionnel. Les élèves-professeurs chargés de l'enseignement de la coupe des pierres et des bois s'en tiennent aux recettes éprouvées, puisées dans les traités des XVII^e et XVIII^e siècles, sans chercher à innover comme le fait Monge à l'École du Génie de Mézières. Le contraste entre l'invention dont font preuve les élèves dans leurs épures et la faiblesse des fondements théoriques sur lesquels ils s'appuient vaut pour la plupart des travaux réalisés à l'École des Ponts et Chaussées.

La formation dispensée par l'École accorde une place privilégiée à la pratique du projet, on l'a dit. Pour bien projeter, encore faut-il maîtriser parfaitement les problèmes de représentation et savoir rendre ses idées attrayantes au moyen d'une mise en scène appropriée. À partir de 1775, les concours de dessin de la figure et de l'ornement et de dessin du paysage permettent de mesurer l'habileté acquise par les élèves dans le maniement des outils graphiques.

Le dessin de la figure est généralement considéré comme le genre le plus difficile. Les élèves peuvent s'inspirer de tableaux et de gravures, de moulages d'après l'antique, à moins qu'ils ne préfèrent inventer une composition de leur cru. Lors du concours de 1781, on peut admirer des dessins d'après Fragonard, Lagrenée et Van Loo (1). En 1785, un élève donne un Apollon du Belvédère d'après la bosse, un autre l'enlèvement d'Europe (2). Les crayons noir et rouge sur papier blanc, gris ou bleu, l'encre, le lavis, l'aquarelle et la gouache sont utilisés pour rendre des sujets qui vont de la simple académie à d'ambitieuses scènes de bataille d'après Raphaël ou Lebrun.

Le dessin de l'ornement est indispensable à la pratique du projet. Comme un architecte, un bon ingénieur se reconnaît à l'élégance de ses profils et à la délicatesse du décor sculpté de ses ouvrages. Pour parvenir à cette élégance et à cette délicatesse, les élèves copient des membres d'architecture antiques et modernes, des feuilles d'acanthé, des chapiteaux, des entablements ou des vases. Parmi les pièces remises en 1781 figure par exemple un relevé de la frise de la

(1) *État des différents dessins faits par les élèves de l'École des Ponts et Chaussées pour le concours de 1781 jugé le 23 juin 1782*, E.N.P.C. Ms 1925 (1).

(2) *État des différents dessins faits par MM. les élèves de l'École des Ponts et Chaussées pour le concours de 1785 jugé en 1786*, E.N.P.C. Ms 1925 (2).

chapelle de l'École militaire (1). En 1783, un élève rend une vue de la décoration intérieure de Saint-Pierre de Rome représentant l'illumination de la croix d'après Desprez, un autre la décoration d'une cheminée suivant Delafosse (2). En 1785, on trouve un vase lavé en rouge, ou encore un chapiteau composite lavé à l'encre de Chine sur papier blanc (3).

En complément des concours de dessin de la carte dont on parlera un peu plus loin, les épreuves de dessin du paysage participent à l'apprentissage du territoire par les futurs ingénieurs. Moins académiques, elles donnent souvent naissance aux compositions les plus intéressantes. Les scènes de genre, les tableaux champêtres, les décors d'architecture et les ruines qu'imaginent les élèves subissent plusieurs influences, celles de Boucher et des peintres de sa génération, celle de la peinture hollandaise qui connaît un regain d'intérêt dans les dernières années de l'Ancien Régime, celle d'Hubert Robert et de ses contemporains enfin. L'influence d'artistes comme Hubert Robert ou Desprez explique l'importance prise par les ruines dans les concours de dessin de paysage; une sensibilité pré-romantique s'exprime déjà dans certaines compositions d'élèves. Parmi les pièces remises à l'occasion du concours de 1781, figurent un intérieur d'écurie d'après Louthembourg, un paysage au bistre d'après Hubert Robert, un autre d'après Boucher, des ruines d'après Dumont (4). En 1785, on relève la présence d'une vue nocturne de la grotte du Pausilippe, d'une scène villageoise et d'une vue des phares de Cherbourg à l'aquarelle (fig. 1) (5).

Organisés chaque année à partir de 1775, les concours de la figure et de l'ornement et les concours de paysage donnent un nouveau relief au qualificatif d'« artiste ». À la veille de la Révolution, l'ingénieur demeure encore un artisan s'initiant patiemment aux secrets de son art en même temps qu'un artiste pratiquant le dessin sous toutes ses formes.

La qualité de certaines compositions exécutées dans le cadre des concours de la figure et de l'ornement et de paysage, ne doit pas faire oublier que ces concours ont pour but principal de mieux

(1) *État des différents dessins faits par les élèves de l'École des Ponts et Chaussées pour le concours de 1781.*

(2) *État des différents dessins faits par MM. les élèves de l'École des Ponts et Chaussées pour le concours de 1783 jugé le 8 juin 1784, E.N.P.C. Ms 1925 (2).*

(3) *État des différents dessins faits par MM. les élèves de l'École des Ponts et Chaussées pour le concours de 1785.*

(4) *État des différents dessins faits par MM. les élèves de l'École des Ponts et Chaussées pour le concours de 1781.*

(5) *État des différents dessins faits par MM. les élèves de l'École des Ponts et Chaussées pour le concours de 1785.*

préparer les élèves des Ponts et Chaussées à la pratique du projet. Leur statut demeure très inférieur à celui des épreuves de construction et d'architecture. Un projet de construction ou d'architecture demande il est vrai une quantité de travail bien supérieure à celle qu'exige un dessin, aussi fouillé, aussi talentueux soit-il. Il ne suffit pas de donner les plans, coupes et élévations de l'ouvrage ou de l'équipement projeté ; il faut aussi énoncer par écrit ses caractéristiques au moyen d'un devis et d'un détail estimatif.

Qu'il s'agisse de concevoir un pont, un canal ou un port de mer, tout projet doit être accompagné d'un devis. Défini par Bélidor comme « un mémoire instructif de toutes les parties d'un ouvrage que l'on veut construire », le devis expose « l'ordre et la conduite du travail, les qualités et façons des matériaux, et généralement tout ce qui a rapport à la perfection des ouvrages » (1). Apparu à la fin du XVII^e siècle dans un dessein de renforcement du contrôle exercé par les architectes et les ingénieurs sur les entrepreneurs chargés de la construction, il possède très souvent une valeur contractuelle. Son rôle se renforce au cours du XVIII^e siècle avec la généralisation de l'adjudication au rabais qui rend encore plus nécessaire la surveillance des entrepreneurs pour éviter que ceux-ci ne compromettent la solidité des ouvrages en économisant sur les matériaux et les techniques de mise en œuvre (2).

Comme les ingénieurs, les élèves des Ponts et Chaussées rédigent des devis dont la clarté et la précision sont notées au même titre que les qualités générales du projet et le soin apporté au rendu. Dans le barème établi par l'ingénieur Regemortes pour juger le concours de canal de dérivation proposé en 1756, la rédaction du devis représente 4 points sur un total de 22 (3).

Un détail estimatif du prix des ouvrages à réaliser à partir des coûts unitaires en matériaux et en main-d'œuvre vient la plupart du

(1) B. Forest de Bélidor : *La Science des ingénieurs dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile*, Paris, C. Jombert, 1729, p. 2. Sur l'importance prise par le devis au cours du XVIII^e siècle dans la pratique des ingénieurs, cf. A. Dupire, B. Hamburger, J.-C. Paul, J.-M. Savignat, A. Thiébaut : *Deux Essais sur la construction*, Bruxelles, Mardaga, 1981, p. 23.

(2) Sur le mode de passation des marchés au XVIII^e siècle, lire par exemple A. Debaube : *Les Travaux publics et les ingénieurs des Ponts et Chaussées depuis le XVII^e siècle*, Paris, V^{me} C. Dunod, 1893, pp. 38-113 ; F. Monnier : *Les Marchés de travaux publics dans la généralité de Paris au XVIII^e siècle*, Paris, Librairie générale de droit et de jurisprudence, 1984.

(3) L. de Regemortes : *Examen des projets présentés par les sous-inspecteurs et sous-ingénieurs des Ponts et Chaussées pour le concours dont le programme a été envoyé en 1756* (31 mars 1761), archives E.N.P.C. n.c. carton « Concours des élèves technique ».

Illustration du document original
masquée en l'absence d'autorisation
de reproduction pour
cette édition électronique

Fig. 1. Vue imaginaire pour le concours de dessin de paysage de l'Ecole des Ponts et Chaussées, seconde moitié du XVIII^e siècle. Dessin E.N.P.C. Destiné à exercer l'imagination des élèves, ce type de production ressemble beaucoup à celle des élèves peintres ou architectes contemporains. On serait bien en peine de trouver un exercice du même genre à l'École du Génie de Mézières où le dessin possède une vocation uniquement technique.

temps compléter les informations dans le devis. Il s'agit de prévoir les dépenses et d'éliminer les propositions irréalistes parce que trop basses. En 1756, on demande également un détail estimatif aux candidats, détail noté sur 2 points par Regemortes qui se montre sensible au « bon ordre » des rubriques et aux « prix bien décidés » (1).

Devis et détails participent en réalité d'une stratégie de contrôle de la production fondée sur la description minutieuse de ses moindres facteurs, des matériaux utilisés au temps passé à telle ou telle tâche d'exécution. Ce contrôle s'apprend au même titre que le tracé

(1) *Ibid.*

des arches d'un pont ou l'ordonnance d'une façade. Il repose sur une démarche de décomposition du processus de réalisation qui n'est pas sans analogie avec l'analyse telle que la définit Condillac dans son *Cours d'étude* de 1775 : « L'analyse est (...) la décomposition entière d'un objet, et la distribution des parties dans l'ordre où la génération devient facile » (1). Au lieu de s'appliquer aux idées comme chez Condillac, ce type de « décomposition entière », suivie d'un réarrangement, porte sur les objets et les opérations que manipulent les ingénieurs. Tout se passe comme si, faute de disposer d'outils mathématiques permettant une rationalisation efficace du chantier, l'amélioration de l'existant passait par l'analyse de ses constituants fondamentaux : qualités et quantités de matériaux, gestes ouvriers et séquences de production.

Une telle analyse trouve souvent sa traduction graphique dans la représentation sur un même dessin des différentes phases de réalisation d'un projet. Un pont peut être, par exemple, figuré avec une pile en cours de construction, une autre en passe d'être terminée, tandis qu'une autre partie de la feuille montre la construction des voûtes puis la pose du tablier. Au projet achevé semble se substituer le processus qui lui donne naissance.

Les projets de construction des élèves des Ponts et Chaussées ressemblent à s'y méprendre à ceux que conçoivent les ingénieurs dans un cadre opérationnel. Les concours de pont en maçonnerie se ressentent par exemple de l'influence du directeur de l'École, Jean-Rodolphe Perronet, qui est aussi le plus célèbre constructeur d'ouvrages d'art français de la seconde moitié du XVIII^e siècle. Dans une notice sur ses services rédigée au début de la Révolution, l'auteur des ponts de Neuilly, de Pont-Sainte-Maxence et du pont Louis-XVI, l'actuel pont de la Concorde à Paris, résume en quelques lignes les enseignements que l'on peut tirer de son œuvre de constructeur. « Les travaux de Mr Perronet ont donné à la construction des ponts un essor, que non seulement on n'avait osé prendre jusqu'à présent mais dont on ne soupçonnait pas la possibilité. Les avantages de son genre de construction sont de faciliter la navigation, de diminuer la pente au-dessus des ponts, et de leur donner une forme qui tire de l'économie de matière un moyen de décoration » (2). Les projets élaborés dans le cadre des concours de pont en

(1) E. Bonnot de Condillac : *Cours d'études pour l'instruction du prince de Parme*, tome IV, *De l'Art de penser*, Parme, 1775, in *Oeuvres philosophiques de Condillac*, Paris, P.U.F., 1947-1951, t. 1, p. 769, cité par G.-G. Granger : *La Mathématique sociale du marquis de Condorcet*, Paris, 1956, rééd. Paris, O. Jacob, 1989, p. 39.

(2) J.-R. Perronet : *Note sur ses services*, 1789, E.N.P.C. Ms 2432. Sur l'importance des conceptions de Perronet dans l'évolution des doctrines constructives, lire

Illustration du document original
masquée en l'absence d'autorisation
de reproduction pour
cette édition électronique

Fig. 2. E. Bouron, projet de pont entre l'île Saint-Louis et l'île de la Cité pour le concours de 1779 jugé en 1780 de l'École des Ponts et Chaussées. Dessin E.N.P.C. Ce projet d'un élève de Perronet participe de la même recherche de la légèreté constructive qui caractérise l'œuvre d'ingénieur du directeur de l'École des Ponts et Chaussées.

Illustration du document original
masquée en l'absence d'autorisation
de reproduction pour
cette édition électronique

Fig. 3. N. Thouret Du Breuil, projet d'un muséum et de quatre académies pour le concours de 1786 jugé en 1787 de l'École des Ponts et Chaussées, détail. Dessin E.N.P.C. Une composition d'inspiration résolument bouléenne avec ses immenses escaliers et ses rangées de colonnes qui doivent élever l'âme du spectateur en lui suggérant l'idée de l'infini.

maçonnerie participent du même type de recherche, avec leurs piles minces destinées à entraver le moins possible l'écoulement de l'eau, leurs arches très surbaissées qui permettent de rendre le tablier du pont pratiquement horizontal et leur recherche systématique de « l'économie de matière » (fig. 2).

Un peu moins réaliste que le contenu des épreuves de construction, la production architecturale des élèves des Ponts et Chaussées est très proche de celle de leurs homologues de l'Académie d'Architecture (1). Les sujets, les partis sont souvent voisins ; l'évolution des compositions est aussi comparable. Tandis que les projets des années 1750-1760 étaient encore fidèles à l'esprit du classicisme, ceux des années 1770-1780 reflètent la volonté de renouvellement de la discipline architecturale qui se fait jour au même moment. Certains élèves subissent en particulier l'influence de l'architecte Étienne-Louis Boullée qui incarne plus nettement que d'autres cette volonté de renouvellement (2). Elle consiste à renouer avec la simplicité et le caractère expressif de l'architecture des anciens au moyen de volumes simples et d'oppositions tranchées, entre murs aveugles et rangées de colonnes par exemple. Sous la plume des théoriciens de l'architecture, l'emploi de ce vocabulaire prend une coloration politique ; l'architecture des anciens est aussi l'architecture civique par excellence. À la veille de la Révolution, l'adhésion des élèves aux canons de la nouvelle esthétique architecturale possède une signification qui va bien au-delà des questions stylistiques (fig. 3).

Les projets de construction et d'architecture ont en commun, quelles que soient leurs différences, une même démarche d'analyse du programme et des fonctions qu'il s'agit d'assurer, analyse suivie d'une recombinaison des éléments spatiaux et fonctionnels qui ont été distingués. Là encore, cette démarche fait songer à la méthode de « décomposition entière » et de « distribution des parties dans l'ordre où la génération devient facile » à laquelle fait allusion Condillac dans son *Cours d'étude*. Au recensement et à la réorgani-

A. Picon : *Architectes et ingénieurs au siècle des Lumières*, Marseille, Parenthèses, 1988, pp. 149-156.

(1) Sur les concours d'architecture de l'École des Ponts et Chaussées, voir A. Picon, M. Yvon : « Les concours d'architecture de l'École des Ponts et Chaussées sous la Révolution », in *Les Architectes de la liberté 1789-1799*, catalogue d'exposition, Paris, E.N.S.B.A., 1989, pp. 95-101.

(2) Cf. E. Kaufmann : *Trois Architectes révolutionnaires : Boullée, Ledoux, Lequeu*, Philadelphie, 1952, trad. fr. Paris, S.A.D.G., 1978, J.-M. Pérouse de Montclos : *Étienne-Louis Boullée (1728-1799). De l'Architecture classique à l'Architecture révolutionnaire*, Paris, A.M.G., 1969.

sation des étapes de la mise en œuvre doit correspondre une rationalisation des procédures de conception. Le caractère volontiers esthétisant de la production des élèves des Ponts et Chaussées ne doit pas faire oublier cette ambition de rationalisation.

Il convient d'observer la même attitude en abordant les concours de dessin de la carte qui donnent naissance à d'étonnants travaux graphiques, à de véritables exercices de virtuosité, dans les années 1780-1790 (1). Au lieu de représenter un plan de situation réel, les futurs ingénieurs imaginent un territoire idéal où ils peuvent combiner à leur guise les figures de base du répertoire de l'aménageur : routes, ponts et canaux, immenses jardins à la française et ports de mer dont la régularité contraste avec une géographie tourmentée. De la réalité territoriale, on passe à un registre plus symbolique qui ne dédaigne pas les artifices du trompe-l'œil et du jeu de mot. Tel dessin s'orne de cartes à jouer et de cartons d'invitation rappelant les multiples acceptions du mot carte ; tel autre fait appel à une toponymie fantaisiste rappelant l'univers du conte et du voyage.

Par delà leur intérêt esthétique, les concours de carte de l'École des Ponts et Chaussées témoignent surtout d'une ambition de maîtrise complète du territoire par l'intermédiaire de l'aménagement. Ordre et désordre, régularité des équipements et irrégularité des sites participent d'un même dessein de prise en compte globale de l'espace. Simultanément émerge une nouvelle approche des problèmes de composition territoriale qui échappe radicalement aux règles d'ordonnancement classiques. C'est à la déstructuration de ces règles que se livrent les futurs ingénieurs qui explorent des possibilités combinatoires inédites (2). Dans leur complexité, les cartes des élèves des Ponts et Chaussées annoncent l'émergence d'un univers dynamique de réseaux et de flux, réseaux d'équipements et circulation des hommes et des marchandises que le calcul permettra bientôt de quantifier. Elles participent de préoccupations assez voisines de celles des statisticiens des dernières années du XVIII^e siècle qui cherchent à réaliser un inventaire raisonné du territoire permettant sa mise en valeur au moindre coût (3).

(1) Sur les concours de carte de l'École des Ponts et Chaussées, lire A. Picon, *op. cit.*, pp. 195-230.

(2) Les formes machiniques dont les élèves des Ponts et Chaussées remplissent leurs cartes font songer à l'invention typologique débridée du *Campo Marzio* de Piranèse. Sur la signification du *Campo Marzio*, on pourra se reporter à M. Tafuri : « Giovanni-Battista Piranesi. L'utopie négative en architecture », *L'Architecture d'aujourd'hui*, n° 184, 1976, pp. 93-108.

(3) Sur la statistique, lire J.-C. Perrot : *L'Âge d'or de la statistique régionale française (an IV - 1804)*, Paris, Société des Études Robespierristes, 1977 ; M.-N. Bourguet : *Déchiffrer la France. La statistique départementale à l'époque napoléonienne*, Paris, Éditions des Archives Contemporaines, 1988.

Des épreuves de mathématiques et de mécanique au dessin de la carte, les concours de l'École des Ponts et Chaussées présentent un surprenant mélange de traits archaïques et de caractère novateurs. La faiblesse des épreuves scientifiques, l'empirisme des méthodes de coupe des pierres et des bois se rattachent encore au passé. Identifier l'ingénieur à un « artiste » possède aussi un tour quelque peu archaïque au moment où commencent à se redéfinir les conditions d'application des sciences aux techniques. Moins de vingt ans séparent l'*Instruction* de Turgot des textes fondateurs de l'École Polytechnique. La distance entre les projets pédagogiques de l'institution dirigée par Perronet et de l'École fondée par Monge paraît beaucoup plus importante.

La volonté de contrôle des procédures d'aménagement et de construction qui s'exprime au travers des concours de l'École des Ponts et Chaussées annonce par contre la conquête du territoire à laquelle procèdera le XIX^e siècle. De « l'économie de matière » aux résonances politiques dont se pare l'architecture, les thèmes abordés par les futurs ingénieurs dans leurs projets sont tout aussi novateurs. L'accent mis sur l'émulation n'est pas enfin l'aspect le moins intéressant du système des concours. Cet accent semble procéder du principe philosophique selon lequel l'homme n'agit qu'en vue de son intérêt. Rien d'étonnant si un philosophe comme Helvétius, pour lequel « la science de l'éducation n'est peut-être que la science des moyens d'exciter l'émulation » (1), mentionne l'École des Ponts et Chaussées dans son ouvrage *De l'Homme, de ses facultés intellectuelles et de son éducation* (2). Formant encore des ingénieurs « artistes », mais en se conformant aux principes d'éducation les plus récents, l'École des Ponts et Chaussées est bien une création du siècle des Lumières.

II. L'ÉCOLE DU GÉNIE DE MÉZIÈRES

L'École du Génie de Mézières a été fondée à peu près en même temps que l'École des Ponts et Chaussées. Instituée en 1748 par Chastillon, l'ingénieur en chef de Mézières, pour former les jeunes ingénieurs qu'on y envoyait en formation, elle devient dès 1751

(1) C.-A. Helvétius: *De l'Homme, de ses facultés intellectuelles et de son éducation*, Londres, 1773.

(2) *Ibid.*, p. 592.

l'école du corps du Génie tout entier : dorénavant et jusqu'en 1793, tous les élèves admis au concours du Génie y passent au moins deux ans avant d'obtenir leur brevet d'ingénieur (1).

Dans l'enseignement de Mézières, comme à l'École des Ponts et Chaussées, les exercices occupent une place importante. Mais l'organisation du travail des élèves, les types d'exercices exigés, le style des dessins produits, tout en somme distingue ici les deux écoles. Car si les dessins réalisés à l'École des Ponts et Chaussées s'inscrivent dans la tradition du travail architectural, ceux de Mézières inaugurent une nouvelle pratique graphique. C'est là le résultat d'une évolution qu'il s'agit d'abord de retracer rapidement.

Théorie et pratique à l'École de Mézières

À l'origine, l'École du Génie conçue par Chastillon est divisée en école de théorie et école de pratique. L'école de théorie est sous le contrôle de l'examineur du Génie, l'académicien Camus. On y enseigne trois jours par semaine les mathématiques et leurs applications à la mécanique et à l'hydraulique pendant les six premiers mois de l'année. Le reste du temps est consacré à l'école de pratique, dirigée par Chastillon lui-même : les élèves dessinent dans les salles jusqu'à la belle saison ; en juin, ils commencent les pratiques à l'extérieur, qui les occupent jusqu'au simulacre de siège, organisé en septembre. L'examen de sortie, qui porte uniquement sur la théorie, a lieu en octobre à Mézières devant l'examineur du Génie : les ingénieurs admis restent en principe encore un an à l'École, pour encadrer les élèves de leur nouvelle promotion et effectuer des stages dans les places de la direction de la Meuse ; les autres redoublent comme vétérans.

Un professeur de mathématiques, l'abbé Bossut à partir de 1752, assure à lui seul l'enseignement à l'école de théorie, dont le niveau est élémentaire. Son travail consiste à répéter les quatre tomes du cours complet de mathématiques rédigé par Camus, sur lequel les élèves ont déjà été interrogés à leur examen d'admission. Après

(1) Sur l'École du Génie, voir R. Taton : « L'École royale du Génie de Mézières », dans R. Taton : *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIII^e siècle*, Paris, Hermann, 1964, pp. 559-615. Le recrutement est étudié par R. Chartier : « Un recrutement scolaire au XVIII^e siècle, l'École royale du Génie de Mézières », *Revue d'histoire moderne et contemporaine*, 1973, pp. 353-375 et A. Blanchard : *Les Ingénieurs du « Roy » de Louis XIV à Louis XVI. Étude du corps des Fortifications*, Montpellier, Centre d'histoire militaire et d'études de défense nationale, 1979, pp. 181-225.

1761, l'abbé Nollet donne également chaque année quelques leçons de physique expérimentale. Pour la partie pratique, en revanche, les ingénieurs de la place de Mézières sont aidés par un personnel civil de plus en plus nombreux : deux architectes, Richard et Lelièvre, qui quittent bientôt l'école, le premier en 1752 et le second en 1763, deux techniciens, Barré, maître pour le dessin, et Jean-Marie Marion, maître pour la taille des pierres et de la charpente, qui enseignent jusqu'à la Révolution, et plusieurs dessinateurs, appareilleurs et gâcheurs employés sous leurs ordres, dont le plus connu est évidemment Gaspard Monge, arrivé à Mézières en 1764.

L'examen des textes réglementaires permet de préciser le déroulement de l'instruction pratique dans les premières années de l'École. Les élèves commencent dans les salles par construire et tracer les trois systèmes de fortification de Vauban, ils dessinent des plans de places au trait et au lavis et différents ordres d'architecture et terminent par la coupe des pierres et des bois, traçant des épures et exécutant des modèles. Au dehors, ils lèvent et nivellent les bâtiments et les machines à la toise et les fronts de fortification et les paysages à la planchette ou à la boussole. Une fois acquises ces différentes pratiques, les élèves s'initient aux tracés et projets des ouvrages de fortification, ainsi qu'à l'attaque et à la défense des places. Ils appliquent leurs connaissances dans l'école de siège organisée chaque année (1).

De cette analyse, il ressort que les pratiques restent complètement séparées de la théorie mathématique dans les premières années de l'École de Mézières et que l'apprentissage du dessin suit encore la tradition de la formation architecturale : l'élève, passant du plan d'ensemble au détail d'exécution, étudie successivement la fortification, la décoration et la construction. La coupe des pierres et des bois, techniques du bâtiment relevant de corps de métiers spécialisés, ne vient qu'au terme de l'enseignement.

C'est au cours des années 1760 que l'enseignement donné à Mézières va prendre progressivement un nouveau visage. L'impulsion est donnée par Chastillon lui-même. Les effectifs du corps du Génie ayant été portés de trois cents à quatre cents officiers par l'ordonnance royale du 4 décembre 1762, l'École de Mézières doit accueillir des promotions deux fois plus nombreuses que dans la période précédente et adapter son instruction en conséquence : à la formation initiatique des premières années succède un mode d'enseignement plus scolaire. Les exercices de l'école de pratique deviennent plus progressifs et standardisés. Chastillon rédige des

(1) *Règlement de 1754*; voir R. Taton, *op. cit.*, pp. 577-578.

« instructions » en forme de traités manuscrits : le *Traité des ombres dans le dessin géométral* en 1763 (1) et l'année suivante, en collaboration avec son neveu, le chevalier de Villelongue, le *Traité du relief, commandement et défilement de la fortification à l'usage des écoles du Génie à Mézières* (2). Du Vignau, commandant en second de l'École, complète le traité de Chastillon et Villelongue par son *Exercice complet sur le tracé, le relief, la construction, l'attaque et la défense des fortifications* utilisé par les élèves à partir de 1768 (3). L'École de Mézières reste cependant une école à faible effectif. Le nombre des élèves ne dépasse pas cinquante entre 1763 et 1776, pour redescendre à moins de vingt à la fin de l'Ancien Régime. La taille réduite de l'École permet une pédagogie très souple favorisant les échanges entre les élèves et leurs nombreux instructeurs, officiers du corps, hommes de sciences et techniciens.

L'innovation majeure, pendant les années 1760, concerne le rôle de la coupe des pierres et des bois dans l'apprentissage du dessin à l'école de pratique. Ces techniques n'occupaient qu'une place accessoire dans la formation traditionnelle des architectes et des ingénieurs. À Mézières, bien que Chastillon ait reconnu dès 1754 leur importance pédagogique, on a vu que les élèves ne les étudiaient dans les salles qu'à la fin de leur instruction pratique. À une date qu'il ne nous a malheureusement pas été possible de préciser, mais certainement avant la mort de Chastillon, la coupe des pierres et des bois est déplacée en début d'instruction. Dorénavant, les élèves commencent par dessiner des épreuves en arrivant à l'École. Ce changement modifie radicalement le statut de l'art du trait. Ce n'est plus simplement une technique graphique à la disposition de l'appareilleur ou du charpentier, c'est un modèle pour le dessin d'ingénieur.

En fait, l'importance prise ainsi par la coupe des pierres et des bois s'explique par la spécificité du travail de l'ingénieur du Génie.

(1) N.-F. de Chastillon : *Traité des ombres dans le dessin géométral*. Ce traité est publié dans Th. Olivier : *Applications de géométrie descriptive aux ombres, à la perspective, à la gnomonique et aux engrenages*, Paris, 1847, mémoire n° 1, pp. 5-26. Voir également B. Belhoste : « Du dessin d'ingénieur à la géométrie descriptive. L'enseignement de Chastillon à l'École du Génie de Mézières », *In Extensio*, juin 1990, pp. 103-128.

(2) Ce *Traité*, encore appelé *Exercices sur les fortifications*, est resté à l'état manuscrit. Voir Bibliothèque de l'inspection du Génie, ms in-f° 116 et Archives de l'inspection du génie, art. 18, section 3, *Mémoires et cours divers de l'École d'Artillerie et du Génie de Metz*, cartons n° 2, 3 et 4.

(3) A.-N.-B. du Vignau : *Exercice complet sur le tracé, le relief, la construction, l'attaque et la défense des fortifications*, préface de P.-A. Hanus, Paris, 1830. Plusieurs manuscrits sont conservés à la Bibliothèque et aux Archives de l'Inspection du Génie. D'après Hanus, du Vignau a commencé la rédaction de ce texte dès 1760.

Quand il construit une fortification, quand il en assure l'entretien en temps de paix et qu'en temps de guerre il en dirige l'attaque ou la défense, son outil privilégié est toujours le dessin. « La facilité de l'expression avec le crayon et l'intelligence du dessin donnent celle de la bonne construction des ouvrages des places, du tracé et du relief de la fortification et, en général, de tout ce qui a rapport » (1). Mais le dessin d'ingénieur n'est pas le dessin d'architecte. Alors que ce dernier rencontre presque exclusivement des figures simples, représentées en plan ou en élévation, l'ingénieur, qui traite dans son service des surfaces et des volumes complexes, doit les représenter sur le papier selon la disposition qu'ils ont réellement dans l'espace.

Certes, le tracé d'une fortification bastionnée répond à des règles théoriques assez simples, codifiées dès la fin du XVII^e siècle. Le dispositif est hiérarchisé selon la puissance de feu : les ouvrages se couvrent réciproquement, les bastions flanquant les courtines et les demi-lunes flanquant les bastions, ceux de l'arrière commandent ceux de l'avant et l'ensemble, protégé par des glacis, bat le terrain environnant pour gêner l'approche de l'ennemi. Les théoriciens du XVIII^e siècle, Cormontaigne en particulier, ont reconnu trois grands types de tracé, dont les élèves du Génie acquièrent facilement les principes en étudiant les places fortifiées par Vauban.

Reste à adapter le dispositif à chaque site. Là est le véritable problème. Comme l'a écrit Chastillon dans son *Traité du relief, commandement et défillement de la fortification*, « la difficulté n'est pas de trouver le meilleur tracé d'une fortification sur le papier, c'est de l'appliquer au terrain et de le plier de manière que sans être esclave de la régularité, on tire de chaque pièce tout l'avantage possible ». Il s'agit, en somme, de tenir compte du relief.

Il faut en effet disposer et élever les ouvrages de façon à les défilier au moindre coût des hauteurs qui les commandent. Les ingénieurs y sont parvenus auparavant par des opérations sur le terrain. C'est ainsi que Vauban a réalisé des places correctement défilées. Mais comment enseigner ce savoir-faire dans un cadre scolaire ? Plutôt que d'exercer les élèves à l'extérieur, ce qui serait difficilement praticable, Chastillon, le premier, conçoit de résoudre le problème sur la carte. Pour y parvenir, il faut représenter au préalable la surface topographique et la fortification en élévation. Chastillon adopte un système de cotation inspiré des cartes marines pour indiquer l'altitude d'un point sur les cartes militaires : les cotes de hauteur sont établies par rapport à un plan de comparaison horizontal passant par le point le plus élevé du terrain. Quant au relief

(1) N.-F. de Chastillon : *Traité des ombres...*, Avant-propos.

de la fortification, Chastillon utilise pour le représenter deux systèmes : le plan coté, comme pour la surface topographique, et ce qu'il appelle « le système de dessin » propre aux ingénieurs : l'objet est représenté en géométral par des plans, profils et élévations, chaque profil ou élévation étant rapporté sur les plans par des « lignes de profil » ou des « lignes d'élévation », et chaque plan sur les profils ou élévations par des « lignes de plan ». L'utilisation d'une échelle de hauteur permet de passer facilement d'un système de représentation à un autre (1).

Le plan coté et la double (ou multiple) projection n'épuisent d'ailleurs pas les techniques de représentation couramment utilisées par les ingénieurs du Génie. Rappelons pour mémoire les classiques plans-reliefs. Les perspectives cavalières, en particulier la perspective dite quelquefois militaire projetant à 45° sur le plan horizontal, d'emploi fréquent dans le dessin de fortification, sont également enseignées à Mézières. Enfin, pour rendre plus évident le relief, les élèves apprennent à ombrer ou à hachurer les plans cotés et les systèmes de dessin avec plan, profil et élévation. Chastillon, le premier, donne dans son *Traité des ombres* écrit pour les élèves de Mézières une méthode géométrique de construction des ombres en géométral. Plus tard, Monge invente, toujours pour Mézières, une technique de hachurage parallèlement aux lignes de plus grande pente (2).

La connaissance du relief topographique permet, en théorie, de résoudre les problèmes du défilement. Pour défiler un front de fortification d'une hauteur, il faut que l'intérieur de l'ouvrage soit situé sous un plan appelé par Chastillon plan de défilement, tangent à la fois à cette hauteur et au parapet du front. En fait, il semble que Chastillon lui-même ne soit pas parvenu à résoudre le problème sur la carte, c'est-à-dire à déterminer graphiquement le plan de défilement. La première méthode, fastidieuse et peu commode, est donnée par du Vignau dans son *Exercice*. L'ingénieur Dubuat la simplifie en 1768 en introduisant « l'échelle de pente » pour représenter un plan sur une carte. Quelques temps auparavant, le jeune Monge

(1) D'un point de vue théorique, le premier système relève de la géométrie cotée, le second de la géométrie descriptive.

(2) D'après Ch. Dupin : *Éloge historique sur les services et les travaux scientifiques de Gaspard Monge*, Paris, 1819. Monge paraît avoir utilisé également la représentation du relief au moyen de courbes de niveau. Le mémoire manuscrit *Application des principes de stéréotomie au figuré du terrain*, sans date et sans nom d'auteur, décrit la méthode de Monge (voir Archives de l'inspection du Génie, art. 21, section 3, carton 1).

découvre une méthode beaucoup plus simple et élégante qu'il n'enseignera qu'après 1775. Cette solution, inspirée des procédés de taille des pierres, va le conduire à élaborer une méthode graphique universelle, qui deviendra plus tard la géométrie descriptive. Enfin Meusnier, un élève de Monge, invente en 1775 une solution très ingénieuse utilisant une représentation de la surface topographique par le moyen des courbes de niveau (1).

Une fois résolu le problème du défilement, la représentation du relief permet également d'évaluer le toisé des déblais et remblais, dont l'importance est considérable dans les travaux de fortification. À partir des plans, profils et élévations ou d'une perspective militaire d'un front de fortification, l'ingénieur peut calculer les volumes de terrain à déblayer et remblayer, décomposés en portions prismatiques. La question est traitée systématiquement par du Vignau dans son *Exercice*.

Cette attention particulière au relief, inhérente au travail de l'ingénieur du Génie, explique l'importance accordée à la coupe des pierres et des bois dans l'enseignement de Mézières. « On conçoit facilement, écrit Chastillon, que, quand on fait développer toutes les faces et connaître tous les angles plans ou solides d'une pierre quelconque employée dans une voûte, une trompe, etc., ou d'une pièce de charpente employée dans un comble, un dôme, un escalier, etc., on a bien de la facilité à développer un bastion, une demi-lune, un cavalier de tranchée, une batterie, etc., que, quand on sait bien former la représentation de toutes ces choses pour les faire entendre aux autres, on est en état de les représenter comme si elles étaient déjà exécutées, et d'en combiner les différentes constructions pour les rendre autant parfaites qu'elles peuvent l'être » (2). La pratique du trait et de la coupe donne aux élèves, sur une base concrète, une véritable expérience des trois dimensions : en déterminant la forme et la disposition d'un voussoir dans une voûte ou d'un bois dans une charpente, ils apprennent à construire et à utiliser des figures de l'espace — surfaces réglées et courbes gauches — à partir de leurs représentations dans le plan.

À partir des années 1760, l'ordre de l'instruction est donc inversé : les élèves s'initient au dessin d'ingénieur en étudiant la coupe des pierres et des bois et terminent par le tracé des fortifications. Cette réorganisation de l'enseignement rend caduque l'ancienne opposition entre école de théorie et école de pratique : en

(1) Sur les méthodes de défilement au XVIII^e siècle, voir B. Belhoste : « Le problème du défilement », annexe aux *Leçons de l'École normale de l'an III. Édition critique*, tome 2, à paraître en 1991.

(2) N.-F. de Chastillon : *Traité des ombres...*, Avant-propos.

produisant sa propre théorie sous les espèces de la coupe des pierres et des bois, la pratique entre en effet en concurrence avec l'enseignement traditionnel de mathématiques, dont l'utilité est de plus en plus contestée. Jusqu'à sa mort, cependant, Chastillon maintient l'ancien équilibre en tentant, avec le concours du professeur de mathématiques, l'abbé Bossut, de rénover l'école de théorie par l'introduction de la dynamique et de l'hydrodynamique (1). Il s'efforce également d'introduire les exercices pratiques dans l'appréciation des élèves, mais sans beaucoup de résultats, car il se heurte à l'opposition de Camus, qui se contente de faire réciter à l'examen de sortie quelques propositions de son cours (2).

Le renouvellement des hommes, entre 1764 et 1768, accélère l'évolution. Après la disparition de Chastillon, en 1764, Ramsault de Raulcourt dirige l'école jusqu'à sa mort, en 1776. Surtout, en 1768, l'ancien professeur de mathématiques de l'école, l'abbé Bossut, acquis aux réformes, succède à Camus comme examinateur du Génie. À Mézières, c'est dorénavant Gaspard Monge qui assure l'enseignement théorique (3).

L'enseignement de mathématiques, fondé jusqu'ici sur l'étude presque exclusive du cours de Camus, s'en trouve profondément transformé. Monge, qui a le titre de professeur de mathématiques pratiques (et de physique), consacre l'essentiel de son temps, semble-t-il, à la mécanique appliquée et, surtout, à la géométrie pratique : il assure l'instruction en coupe des pierres et des bois ainsi qu'en dessin des ombres et en perspective, sur lesquels il rédige ses « instructions » dès 1768 (4), et il participe à partir de 1775 aux levés sur le terrain (5). L'examen de sortie est modifié en conséquence : il ne s'agit plus de réciter le cours de mathématiques. Depuis 1768, les « objets de théorie » sur lesquels interroge l'abbé Bossut comprennent non seulement le cours de Camus et son traité de dynamique

(1) Bossut publie en 1763 à l'intention des élèves son *Traité élémentaire de mécanique statique et de dynamique* et rédige une première version manuscrite de son *Traité élémentaire d'hydrodynamique*. Voir R. Taton, *op. cit.*, p. 584, note 2.

(2) R. Taton, *op. cit.*, p. 577.

(3) Dès 1766, Monge aide Bossut comme répétiteur. Il le remplace en 1768. En 1770, il remplace également l'abbé Nollet, qui enseignait la physique. Il est nommé officiellement professeur de mathématiques pratiques et de physique en 1772.

(4) G. Monge : *De la perspective et Des ombres*, publiés par Th. Olivier : *Applications de la géométrie descriptive aux ombres, à la perspective, à la gnomonique et aux engrenages*, Paris, 1847, pp. 26-35 et pp. 161-165. Sur l'instruction *Des ombres*, voir B. Belhoste, *art. cit.*, pp. 125-128.

(5) R. Taton, *op. cit.*, p. 592.

mais aussi la taille des pierres, la charpente, l'architecture, le traité des ombres et la perspective (1). En conséquence, les exercices graphiques, qui ne jouaient qu'un rôle très accessoire dans l'examen de sortie, deviennent un élément essentiel d'appréciation des élèves.

L'évolution est achevée en 1777, avec la suppression complète du cours de mathématiques élémentaires, renvoyé entièrement au programme de l'examen d'admission et l'accession du dessin géométrique au niveau de science théorique (2). L'instruction doit commencer dorénavant par l'explication des principes de stéréotomie. « Cette science, qui a pour objet de déterminer toutes les sections d'un corps et de les projeter sur un plan quelconque fait connaître de la manière la plus précise et la plus claire les dimensions de l'étendue » (3). Le règlement prévoit que l'analyse soit appliquée à la stéréotomie : « il convient qu'en exposant les principes de la stéréotomie, on en généralise et perfectionne l'usage, en y appliquant les élémens du calcul, sur lesquels les élèves auront été examinés pour être reçus à l'École » (4). On reconnaît ici la marque de Monge. Poursuivant l'œuvre commencée par Chastillon, le nouveau professeur de mathématiques de l'École veut tirer de la coupe des pierres et des bois la substance théorique et fonder sur des bases analytiques solides une géométrie pratique applicable à l'ensemble des problèmes graphiques que rencontre l'ingénieur dans son travail.

En réalité et contrairement à une idée reçue, Monge ne parvient pas à modifier substantiellement l'enseignement donné à Mézières. De manière générale, après 1770, l'École du Génie est à l'image du corps qu'elle alimente : imbue de sa supériorité, vivant en vase clos et prisonnière de ses traditions. On y répète la doctrine officielle, en ignorant les critiques contre la guerre de siège et le système bastionné conçu par Vauban. Et la formation pratique et théorique des ingénieurs n'évolue plus. Certes, l'influence et le prestige de Monge sont grands, surtout auprès des quelques élèves doués pour les mathématiques, comme C. Tinseau ou J.-B. Meusnier. Mais le programme d'instruction, tel qu'il est exposé dans l'avant-propos du règlement de 1777, n'est que très partiellement appliqué, comme

(1) R. Taton, *op. cit.*, pp. 590-591.

(2) *Règlement pour l'École du corps royal du Génie*, approuvé par le roi le 7 mai 1777. Voir Archives de l'inspection du Génie, art. 18, section I, § 1, n° 50 et 51. L'avant-propos du règlement, probablement rédigé par le commandant de l'École, le chevalier de Villelongue, neveu de Chastillon, expose les principes de l'enseignement donné à Mézières.

(3) *Règlement...*, Avant-propos.

(4) *Ibid.*

le prouvent les registres journaux du travail des élèves des années 1780 (1) : les élèves passent très vite sur la stéréotomie et continuent de consacrer l'essentiel de leur temps à la taille des pierres, au trait de charpente, au dessin des ombres et à la perspective, enseignés comme autrefois.

Les travaux des élèves

Le conservatisme de Mézières à la veille de la Révolution s'explique d'abord par la situation sociale et institutionnelle du corps du Génie, mais le mode d'instruction y contribue également : les traditions pédagogiques restent très proches de l'apprentissage ; l'unique professeur à demeure dans l'École, Bossut de 1752 à 1767, Monge de 1768 à 1784, Ferry, aidé par Clouet pour la chimie et le dessin, de 1785 à 1792, et enfin Hachette de 1792 à 1794, encadre les élèves, sans leur donner de cours ; ceux-ci se forment à leur futur métier, avec le soutien de leur professeur, au contact de leurs aînés et de leurs supérieurs en s'exerçant sur des exemples bien choisis. L'importance des exercices, dont le corpus date de l'époque de Chastillon, et l'absence de cours magistraux fixent ainsi l'enseignement en l'état des années 1760, rendant difficile toute innovation.

Or, si l'on connaît bien aujourd'hui, en particulier grâce à René Taton, Roger Chartier et Anne Blanchard, l'organisation de l'École, son personnel et ses élèves, on sait peu de choses en revanche des contenus d'enseignement. Ni les « instructions » rédigées à Mézières, hormis celles de Monge, ni les exercices proposés aux élèves n'ont été systématiquement étudiés. Il est vrai que cette étude se heurte à un difficile problème de sources : à la suite du transfert de l'École du Génie à Metz et de la création de l'École polytechnique, pendant la Révolution, les documents relatifs à l'instruction des élèves ont été détruits ou dispersés et il n'en reste plus aujourd'hui que des vestiges.

Concernant plus particulièrement les travaux des élèves, nous avons retrouvé trois séries de documents, qui n'avaient jamais été étudiées : le portefeuille des planches dessinées en 1767 par un élève de l'École, Jean-Louis-Antoine Vigoureux, en stéréotomie, coupe des pierres et charpenterie (2) ; quelques travaux d'élèves en simula-

(1) Les registres journaux des années 1780, 1782, 1783, 1786 et 1787 sont conservés aux Archives de l'inspection du Génie, art. 18, section 3, § DDD.

(2) J.-L.-A. Vigoureux : *Épures de coupe des pierres*, ms 469, et *Épures de charpente*, ms 470, Bibliothèque du comité technique du Génie.

cre de siège et en levés de bâtiments et de terrains, pour les années 1762-1776 (1); enfin, les registres-journaux du travail des élèves pour les années 1780, 1782, 1783, 1786 et 1787 (2). Outre ces documents, nous avons utilisé les règlements et les rapports officiels, déjà analysés par René Taton, certaines « instructions » rédigées pour les élèves et des inventaires de mémoires et dessins de l'École (3). Ces sources lacunaires mériteraient d'être complétées. Mais, dans l'état actuel de la documentation, il est déjà possible de dresser un tableau relativement précis des exercices réalisés par les élèves pendant leur scolarité.

Depuis que la division entre école de théorie et école de pratique a été supprimée, dans les années 1760, les élèves se consacrent exclusivement à la stéréotomie, à la taille des pierres et à la charpente pendant les premiers mois de leur scolarité. « Il est très important, écrit le commandant de l'École, Villeneuve, en 1784, qu'ils n'en soient distraits par aucun autre objet » (4). À leur arrivée à Mézières, les élèves commencent donc par les exercices de stéréotomie et de coupe des pierres, qui durent environ deux mois et demi. On ne sait malheureusement que fort peu de choses sur la manière dont se déroule cette partie de l'enseignement. De 1766 à 1780, Monge lui-même est chargé de « démontrer la théorie de la coupe des pierres » (5). Les élèves ont à leur disposition, semble-t-il, un *Discours de l'instruction de la stéréotomie et de la coupe des pierres* comprenant des figures (6). Peut-être en font-ils la copie. Mais l'essentiel du travail consiste à réaliser entre dix-sept et vingt planches, selon les années, tirées du *Traité de la coupe des pierres* de Jean-Baptiste de La Rue (7). Ce corpus, déjà constitué en 1767, ne

(1) Archives de l'inspection du Génie, art. 18, section 1, § 2, carton 1, *Travaux des élèves*.

(2) Voir supra, note 1, p. 81.

(3) Archives de l'inspection du Génie, art. 18, section 3, § LL et § AAA. Nous avons utilisé en particulier l'*État du nombre d'exemplaires qu'il y a de chaque espèce d'épures de charpente sur carton*, s.d., § LL, l'*Inventaire général des plans et mémoires déposés dans le cabinet du commandant de l'École du corps royal du Génie concernant la dite École*, 1777, § LL et l'*État de situation de l'École du Génie au 20 fructidor an V tant pour le matériel que pour le personnel*, 1797, § AAA.

(4) J.-P.-J. de Villelongue : *Mémoire relatif à l'instruction des élèves de l'École du corps royal du Génie*, 16 mai 1784, Archives de l'inspection du Génie, art. 18, section 1, § 1, carton 2.

(5) L'expression, relevée par R. Taton, *op. cit.*, p. 595, se trouve dans une lettre de Ramsault du 11 juillet 1775, S.H.A.T., X^e 8.

(6) D'après les inventaires cités dans la note 3.

(7) J.-B. de La Rue : *Traité de la coupe des pierres ou par une méthode facile et abrégée l'on peut aisément se perfectionner en cette science*, Paris, 1728. L'ouvrage est réédité en 1764.

varie pour ainsi dire plus jusqu'à la Révolution. Il sera repris à peu près tel quel à l'École polytechnique (voir tableau 2). Chaque élève doit dessiner toutes les planches de la série dans l'ordre imposé, mais il peut le faire à son rythme : en 1780, par exemple, alors que certains ont terminé la dernière épreuve de coupe des pierres le 21 mars, d'autres n'en viennent à bout qu'au début du mois d'avril. Tous exécutent à la gâche quelques modèles réduits, en se servant de leurs épures.

Les deux planches consacrées à la stéréotomie, extraites comme les autres du traité de de La Rue, méritent un bref commentaire, car ce sont les seules qui représentent des épures de géométrie descriptive (1) : sur la première sont tracées, en plan, profil et développement, d'une part, les sections d'un cylindre droit par un plan de bout et par un cylindre et, d'autre part, une section d'un cylindre oblique par un plan quelconque, construite au moyen d'un changement de profil. Sur la seconde planche sont tracées en plan, profil et développement les sections respectivement elliptique, hyperbolique et parabolique d'un cône droit et d'un cône oblique par trois plans de bout. Toutes les autres planches sont consacrées à la taille des pierres.

Après avoir dessiné toutes les planches imposées, chaque élève, au moins pendant les années 1780, doit résoudre en quelques jours un problème particulier, généralement de coupe des pierres, parfois de géométrie descriptive (2). En 1780, par exemple, trois élèves, sur les treize de la promotion, ont à traiter un problème de géométrie : pour Martin de Campredon, « Trois points étant donnés dans l'espace et connaissant les angles formés par les lignes menées d'un quatrième point aux trois premiers connus, déterminer la position du quatrième point dans l'espace, c'est-à-dire trouver sa projection horizontale et sa projection verticale » ; pour Romas de Beauregard, « Étant données les projections horizontales et verticales d'une droite, trouver les intersections avec les plans de projection d'un plan qui, passant par cette droite, ferait avec un des plans de projection un angle donné » ; et pour Perrault, « Dans un angle solide formé par trois plans, il en est des valeurs angulaires de ces plans comme des angles et des côtés d'un triangle rectiligne, c'est-à-dire trois de ces choses étant données, il s'ensuit l'une quelconque des trois autres. Résoudre tous les cas de ce problème ». Les autres

(1) Voir le portefeuille d'épures de coupe des pierres de Vigoureux.

(2) D'après les registres-journaux du travail des élèves.

élèves ont des problèmes de coupe des pierres : « Vis de Saint-Gilles ronde » pour Gay de Vernon, « Trompe biaise dans l'angle rachetant un berceau » pour Sarret, etc.

TABLEAU 2 :

Planches de coupe des pierres dessinées par les élèves de Mézières (1767-1787)

Stériéotomie

1. Cylindres droit et oblique
2. Cônes droit et oblique
3. Béveaux*

Portes

4. Porte droite en plein cintre
5. Porte biaise en talus rachetant un berceau
6. Porte en tour ronde, biaise en talus et rachetant un berceau
7. Arrière-voussure de Marseille
8. Biais passé**

Trompes

9. Trompe en plein cintre droite par devant un angle droit
10. Trompe biaise dans un angle droit
11. Trompe surbaissée biaise en talus dans un angle aigu
12. Trompe sur le coin*

Voûtes

13. Voûte d'arête barlongue
14. Voûte en arc de cloître barlongue*
15. Voûte d'arête en tour ronde

Descentes

16. Descente droite en plein cintre rachetant un berceau
17. Descente biaise rachetant un berceau
18. Descente biaise rachetant un berceau tracée par le profil

Escaliers

19. Courbe rampante
20. Vis à jour

* N'est pas dans le portefeuille de Vigoureux (1767).

** À partir de 1782.

Une fois terminée la taille des pierres, les élèves commencent aussitôt la charpente. Là encore, les exercices consistent à réaliser une série de planches d'après modèles. Il semble que, dès les débuts de l'École, Chastillon ait rédigé une instruction sur l'art de la charpenterie et rassemblé la collection des planches modèles, dont

certaines, au moins, paraissent avoir été gravées (1). Chaque élève exécute à son rythme un peu plus de vingt planches (tableau 3), pendant deux mois et demi environ, réalise un ouvrage de charpente en réduction d'après une de ses épreuves et termine, comme en stéréotomie et coupe des pierres, par la résolution d'un problème : « Croupe sur un chapeau de lucarne cintrée » (Gay Vernon, 1780), « Linçoir biais dans un cône pour le passage d'une cheminée » (Rouget de Lisle, 1782), etc.

TABLEAU 3 :
*Planches de charpente dessinées par les élèves de Mézières
(1767-1787)*

- | | |
|---|---------------------------------|
| 1. Assemblages de charpente* | 13. Noulets droits et biais |
| 2. Piquer des bois | 14. Pannes et tasseaux |
| 3. Marquer des bois | 15. Pavillon portant son cintre |
| 4. Combles : différents profils en travers | 16. Noulets coniques |
| 5. Croupe droite | 17. Courbe rampante |
| 6. Croupe biaise | 18. Tracé de la vis |
| 7. Pas de l'empanon déversé | 19. Taraudage de l'écrou |
| 8. Manière d'éviter les gauches dans les combles* | 20. Décharges* |
| 9. Linçoirs droits | 21. Décharges pour les magasins |
| 10. Linçoirs biais | 22. Cintres des voûtes* |
| 11. Lunettes droites et biaises | 23. Cintres des ponts* |
| 12. Nœuds délardés et non délardés | 24. Grue* |
| | 25. Mouton à déclic* |

* N'est pas dans le portefeuille de Vigoureux (1767).

Pendant tout l'été, après avoir terminé la charpente, les élèves exécutent dans les salles des exercices sur l'architecture, les ombres et la perspective. Les registres-journaux des années 1780 permettent de préciser le travail, dont les modalités remontent sans doute aux années 1760. Les élèves reproduisent d'abord au trait les cinq ordres d'architecture, toscan, dorique, ionique, corinthien et composite et lavent l'une de ces cinq planches (fig. 4) (2). Puis, ils recopient le

(1) Le registre-journal de 1782 mentionne les « planches gravées de la charpente ». D'après l'*État de situation de l'École du Génie au 20 fructidor an V* (voir note 3, p. 82), il s'agit d'une collection de neuf feuilles. Nous ne les avons pas retrouvées.

(2) D'après les registres-journaux du travail des élèves.

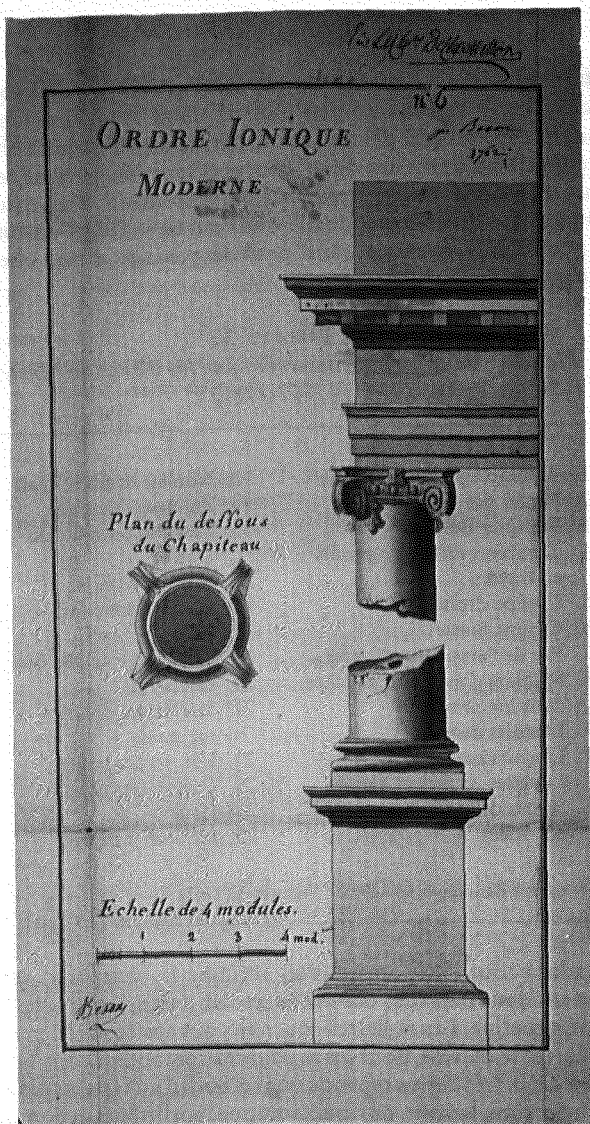


Fig. 4. F.-H.-C. Bexon, ordre ionique moderne avec plan du dessous du chapiteau, 1762. Dessin École du Génie. L'enseignement de l'architecture à l'École du Génie de Mézières se réduit au tracé d'après modèles des cinq ordres d'architecture, dont l'un est lavé. Le peu de cas fait de cette partie de l'enseignement distingue radicalement Mézières de l'École des Ponts et Chaussées. Le lavis de Bexon est signé par l'élève et contresigné par Chastillon, le directeur de l'École.

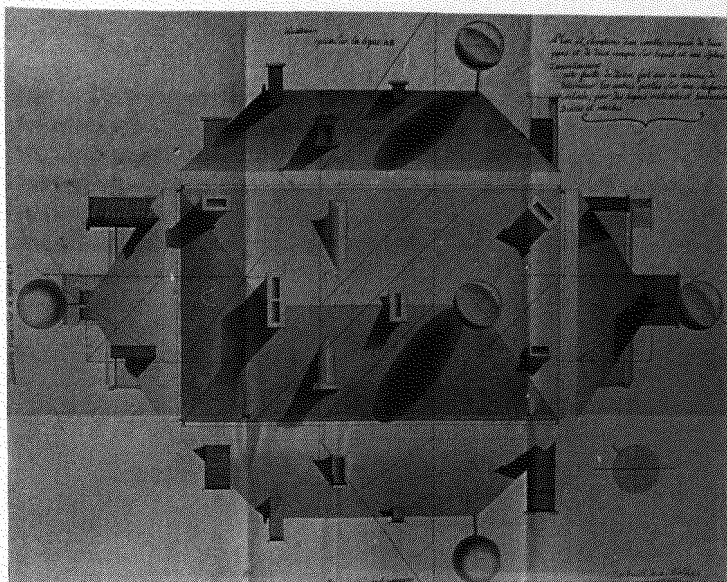


Fig. 5. L.-B. Barthouil de la Mothe, ombres des lucarnes, souches des cheminées et boule d'amortissement sur un comble, exercice exécuté en 1763 ou 1764 d'après un dessin du *Traité des ombres dans le dessin géométral* de Chastillon. Dessin École du Génie. Le dessin des ombres en géométral, une des spécialités de Mézières, facilite la vision du relief sur les plans, profils et élévations. Le tracé des ombres sur un comble, exigé des élèves de l'École du Génie de Mézières jusqu'à la Révolution, est repris par Monge à l'École polytechnique comme application de la géométrie descriptive.

Traité des ombres dans le dessin géométral de Chastillon, avec ses planches (ombres sur le comble et ombre de la lanterne) (fig. 5), ainsi qu'un discours sur la perspective, sans doute celui de Monge (1). Chaque élève exécute enfin, en guise de problème, la mise en perspective d'un morceau d'architecture : « piédestal et base » ou « entablement et chapiteau » d'un des ordres étudiés précédemment.

Mais ces dessins et lavis n'occupent qu'une faible partie du temps des élèves. Pendant l'été, ceux-ci se consacrent en effet surtout aux exercices pratiques sur le terrain. Ils sont divisés en groupes de deux ou trois, sous la direction d'un ancien de deuxième année. En 1763, par exemple, la promotion est partagée en onze divisions de deux élèves. Les élèves, munis d'un cahier de papier, commencent par le

(1) Voir note 4, p. 79.

levé à la toise de bâtiments situés dans la ville de Mézières (fig. 6). Après la première coupe des herbes, ils passent au levé et au nivellement de la fortification à la toise et à la planchette. Chacun lève et nivelle un front de fortification différent de l'enceinte de Mézières. Enfin, après la moisson, ils lèvent à la planchette et à la boussole la carte d'un village des environs de Mézières, avec le figuré du terrain. Du Buat, en 1762, consacre six jours à ses levés à la planchette et quatre jours au remplissage à la boussole. À partir des années 1770, les élèves effectuent également des canevas de cartes au graphomètre. Monge, chargé depuis 1775 de la direction de ces levés, y introduit ses méthodes géométriques (1). De retour dans les salles, les élèves doivent reporter au propre les brouillons dessinés sur les cahiers. Toutes ces opérations les occupent jusqu'à la fin du mois d'août, avant le simulacre de siège.

C'est au mois de septembre, en général, que se déroule le simulacre de siège, auquel participent tous les élèves. Chaque année, le commandant de l'École choisit un des fronts de fortification de l'enceinte de Mézières, le front de la corne d'Arches en 1763 (2). Le simulacre est dirigé par tout l'état-major de l'École et par les ingénieurs de la place. Sur le terrain, le travail des élèves consiste pour l'essentiel, semble-t-il, à effectuer des levés. Pour le simulacre de 1763, les élèves doivent dessiner dix-huit feuilles : la première feuille, confiée à l'élève de Martinet, représente le plan de la plus grande partie de Mézières à l'échelle d'un pouce pour 100 toises « sur lequel seront exprimés le détail du terrain, les points où l'on est à couvert des vues de la place, les emplacements des parcs de l'artillerie, ceux des dépôts des tranchées et les trois attaques, le tout d'après le levé exact qu'il vient d'en faire » ; la quatrième, confiée aux élèves Dubousquet, Pomier et de Vaulx, les « plan et profils d'une portion de la première parallèle avec deux parties de ses communications en arrière et en avant tracées à la fascine sur l'échelle de 6 lignes pour toise » ; etc.

Une fois les levés rapportés sur les brouillons, les élèves rentrent dans les salles, mettent les feuilles au net et rédigent leurs mémoires sur le simulacre de siège. Dans ce mémoire, illustré par les dix-huit feuilles réalisées précédemment, chacun doit répondre à une trentaine de questions du genre : « Quelles circonstances auraient empê-

(1) Les applications de la géométrie descriptive au levé et nivellement au moyen d'un graphomètre sont exposées dans la *Géométrie descriptive* de Monge, art. 95-102.

(2) Quelques dossiers sur les simulacres de siège sont conservés aux Archives de l'inspection du Génie, art. 18, section 1, § 2, carton 1, en particulier pour l'année 1763.

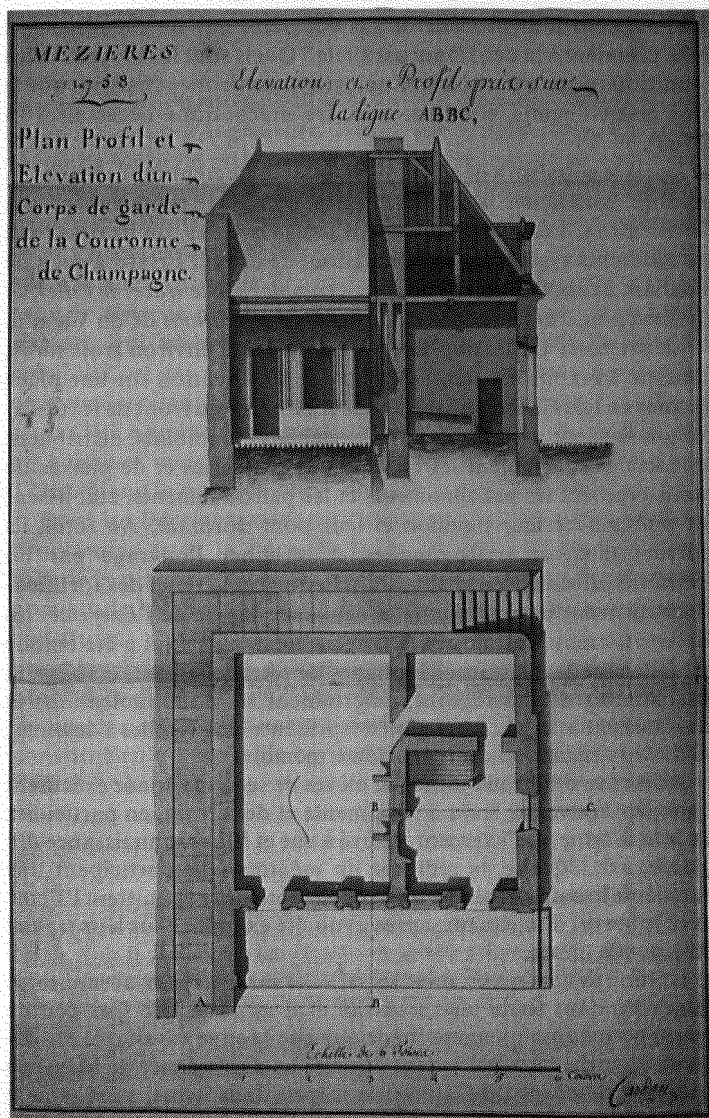


Fig. 6. P.-F. Cardon de Bierne, plan, profil et élévation d'un corps de garde de la Couronne de Champagne, lever à la toise exécuté en 1758. Dessin École du Génie. Le profil et l'élévation sont dénotés parallèlement aux lignes de profil BC et d'élévation AB tracés sur le plan. Les figures sont ombrées et lavées.

ché l'assiégeant de procéder dès la deuxième nuit au cheminement de la première à la deuxième parallèle ? Quels sont les moyens et les conditions pour que ces communications ne tiennent partout que le plus court chemin possible, avec les précautions nécessaires ? » (1763).

Après le simulacre de siège, suivi immédiatement des examens en octobre, commence la seconde année, consacrée toute entière à la fortification. Les élèves travaillent dans les salles, où ils dessinent les différents systèmes de fortification, de ceux d'Errard à ceux de Vauban, avant d'étudier l'*Exercice complet sur le tracé, le relief, la construction, l'attaque et la défense des fortifications* de du Vignau.

La première partie de l'*Exercice*, qui prend environ trois mois, consiste à établir un projet complet de fortification sur une place donnée en terrain irrégulier. Les élèves tracent un front de fortification, le défilent, en déterminant les déblais et remblais, distribuent les ateliers et calculent les toisés de maçonneries et de pierres de taille, étudient les gazonnements et les palissadements, établissent les portes avec leur pavillon et leur pont dormant. Au total, ils doivent dessiner treize feuilles et terminer l'ouvrage par un mémoire raisonné sur la situation, le tracé et le relief des fortifications du front projeté. Dans la deuxième partie de l'*Exercice*, les élèves étudient l'attaque et la défense de la place qui a été établie précédemment. Ils tracent les lignes de retranchement, établissent les batteries de l'assiégeant, déterminent ses communications et conduisent l'attaque. L'ensemble représente cinq feuilles à dessiner, suivi de la rédaction d'un deuxième mémoire.

Au retour des beaux jours, les élèves de seconde année exécutent quelques nouveaux levés de bâtiments et de terrain, en particulier un levé d'usine, et s'exercent au levé à vue et à la reconnaissance des places, sur laquelle ils rédigent un mémoire. Ils participent une deuxième fois au simulacre de siège en septembre et quittent l'École avec le brevet d'ingénieur, après avoir été examinés sur leur travail de seconde année.

La série des exercices, dans les salles et sur le terrain, accapare les élèves pendant toute leur scolarité et il ne reste que fort peu de temps pour l'enseignement théorique que Monge aurait très probablement voulu introduire dans l'École. La dépendance de Mézières à l'égard du corps du Génie et le mépris dans lequel y est tenu le personnel enseignant ne laissent au mathématicien aucune chance d'imposer son point de vue, quand, soudain, la Révolution vient tout changer, donnant à Monge, dans une conjoncture exceptionnellement favorable, une occasion de réaliser le projet d'école théorique et pratique d'un type nouveau qu'il mûrissait sans doute depuis longtemps.

III. L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

La Révolution entraîne en effet un bouleversement profond dans la formation des ingénieurs. Après une longue crise, l'École du Génie de Mézières est transférée à Metz et réduite à une simple école de siège le 24 pluviôse an II (12 février 1794), tandis qu'à Paris l'École des Ponts et Chaussées donne naissance à une école nouvelle, l'École centrale des Travaux publics, dont la création, annoncée à la Convention le 21 ventôse (11 mars 1794), est l'œuvre de Monge. Conçue pendant l'été 1794, l'École centrale des Travaux publics, qui accueille près de quatre cents élèves recrutés sur concours, est une véritable école encyclopédique des sciences et des arts, indépendante des corps d'ingénieurs et dirigée par ses professeurs (1). Le nouvel établissement ouvre ses portes à la fin de l'année et, quelques mois plus tard, le 13 fructidor an III (1^{er} septembre 1796), prend le nom, définitif, d'École polytechnique.

Dans les *Développemens sur l'enseignement*, qui constituent son programme pour la nouvelle école, Monge associe étroitement théorie et pratique, reprenant ainsi à son compte la tradition pédagogique de Mézières (2). À côté des expériences de laboratoire, qui constituent une des originalités de la nouvelle école, les travaux graphiques jouent un rôle majeur dans l'instruction des élèves. Mais, à la différence de l'ancienne École du Génie, ces exercices renvoient à un enseignement théorique donné en cours magistral et constitué en un véritable corps de doctrine, la géométrie descriptive.

(1) Voir B. Belhoste : « Les Origines de l'École polytechnique. Des anciennes écoles d'ingénieurs à l'École centrale des Travaux publics », *Les Enfants de la patrie. Éducation et enseignement sous la Révolution française. Histoire de l'Éducation*, n° 42, mai 1989, pp. 13-53.

(2) G. Monge : *Développemens sur l'enseignement adopté pour l'École centrale des Travaux publics*, Paris, 1794. Ce texte a été imprimé sans nom d'auteur par ordre du Comité de Salut public, pour faire suite au rapport sur l'École présenté par Fourcroy à la Convention en vendémiaire an III. Il est reproduit en annexe du livre de J. Langins : *La République avait besoin de savants. Le début de l'École centrale des Travaux publics et les cours révolutionnaires de l'an III*, Paris, Belin, 1987, pp. 227-269. Voir également l'arrêté du 6 frimaire an III, publié par Th. Charmasson, A.-M. Lelorrain, Y. Ripa : *L'Enseignement technique de la Révolution à nos jours. Textes officiels avec introduction, notes et annexes*, tome 1 : *De la Révolution à 1926*, Paris, I.N.R.P. et Economica, 1987, pp. 75-84.

La place de la géométrie descriptive à l'École polytechnique

Dans les *Développemens*, Monge divise toutes les connaissances à enseigner à l'École centrale des travaux publics en deux grands genres : les connaissances mathématiques et les connaissances physiques. Les connaissances mathématiques ont une extension considérable, puisqu'elles comprennent, outre l'analyse, ce que Monge appelle « l'art de décrire les objets » : géométrie descriptive, si les objets ont des formes « susceptibles d'une définition rigoureuse », et dessin s'ils n'ont « rien de précis dans leur dimension ». Le sens du mot « géométrie descriptive » reste assez élastique chez Monge, mais il comprend toujours l'ensemble du cours théorique et de ses applications, celles-ci étant plus ou moins étendues. L'acception étroite du mot géométrie descriptive ne s'imposera que progressivement à l'École polytechnique, entre 1800 et 1816. Ce glissement de sens est d'ailleurs révélateur de l'évolution de l'enseignement, aux dépens des applications pratiques et au profit des disciplines les plus abstraites.

La géométrie descriptive *stricto sensu* a pour objet de « représenter avec exactitude, sur les dessins qui n'ont que deux dimensions, les objets qui en ont trois » (1). Contrairement aux perspectives centrale et axonométrique, où l'on projette l'ensemble des points de l'espace sur un seul plan, le principe de base de la géométrie descriptive consiste à projeter orthogonalement chaque point sur deux plans distincts (pour des raisons de commodité, on suppose que l'un de ces plans est horizontal et l'autre vertical), que l'on rabat ensuite l'un sur l'autre : c'est le principe de la double projection, déjà connu des artistes et ingénieurs de la Renaissance.

L'épure d'un objet, c'est-à-dire sa représentation (celle de certains de ses points ou celle de son contour apparent), consiste donc en deux vues, au moins, données de façon simultanée et coordonnée. La double projection permet de déterminer facilement les vraies grandeurs du corps que l'on a ainsi représenté (distance de deux points, angle de deux droites, etc.), mais elle est beaucoup plus abstraite que la perspective et nécessite un certain apprentissage, tant pour imaginer un objet à partir de son épure que pour tracer l'épure d'un objet donné.

Mode de représentation de l'espace approprié pour passer de la conception à la réalisation d'un projet, la géométrie descriptive est la théorie géométrique sous-jacente aussi bien au dessin d'architecture, au tracé des ombres qu'au trait de charpente ou de taille des pierres. La richesse des formes et des surfaces rencontrées dans l'art

(1) G. Monge : *Géométrie descriptive*, Paris, 1799, p. 2.

du trait, en particulier en taille des pierres, fait apparaître la filiation directe entre le savoir-faire des appareilleurs et la géométrie descriptive (1). Les « méthodes de coupe des pierres » désignaient d'ailleurs à l'École de Mézières les méthodes géométriques auxquelles Monge ne donne un nom spécifique qu'en 1793 (2).

Pour Monge, cependant, la géométrie descriptive n'est pas seulement une technique graphique, ni même, comme pour Lacroix, un complément aux *Éléments* d'Euclide (3), c'est une véritable langue universelle « nécessaire et commune à l'homme de génie qui conçoit un projet, aux artistes qui doivent en diriger l'exécution, et aux ouvriers qui doivent l'exécuter. Cette langue, susceptible de précision a encore l'avantage d'être un moyen de rechercher la vérité, et d'arriver à des résultats demandés et inconnus. Comme toutes les autres langues, elle ne peut devenir familière que par l'usage habituel » (4). Brisant le carcan de la routine, qu'encourage la tradition de secret des corporations du bâtiment, cette langue doit unifier des pratiques diverses et cloisonnées et révéler la richesse potentielle des anciens savoirs dont elle est issue. En vrai disciple des encyclopédistes, Monge montre ainsi la fécondité d'une alliance entre la théorie et les pratiques.

La géométrie descriptive est aussi — peut-être surtout — un langage pour l'enseignement. Aucune méthode générale ne se dégage des anciens traités de coupe des pierres et de charpente, ni des portefeuilles d'épures de Mézières, qui apparaissent comme des successions de cas particuliers. Bien adaptée à un enseignement pour quelques élèves, encore proche de l'apprentissage, la pédagogie de Mézières, fondée sur la répétition et l'imprégnation, ne permet pas un enseignement à la mesure des promotions nombreuses de l'École polytechnique ou de l'École normale de l'an III (5). La géométrie descriptive, en revanche, peut s'exposer de

(1) Voir J. Sakarovitch : « La coupe des pierres et la géométrie descriptive », annexe aux *Leçons de l'École normale de l'an III. Édition critique*, tome 2, à paraître en 1991.

(2) Le terme « géométrie descriptive » apparaît pour la première fois sous la plume de Monge dans un projet d'écoles secondaires rédigé à l'occasion d'un plan d'instruction présenté à la Convention en septembre 1793 par le département de Paris. Voir R. Taton : « Le projet de Monge d'écoles secondaires de géométrie descriptive », annexe aux *Leçons de l'École normale de l'an III. Édition critique*, tome 2, à paraître en 1991.

(3) Voir S.-F. Lacroix : *Essais de géométrie sur les plans et les surfaces courbes (ou Éléments de Géométrie descriptive)*, Paris, an III - 1795, préface. Lacroix est un protégé de Monge et son adjoint, avec Hachette, à l'École normale. Son ouvrage est le premier manuel publié de géométrie descriptive.

(4) G. Monge : *Développemens...* dans J. Langins, *op. cit.*, p. 230.

(5) Monge enseigne la géométrie descriptive à l'École normale du 9 pluviôse an III (20 janvier 1795) au 26 floréal an III (15 mai 1795). Ses leçons, interrompues

manière progressive et méthodique dans un cours magistral. Elle constitue d'autre part un moyen de découverte, par lequel on peut déterminer de façon quasi-algorithmique et sans qu'il soit besoin de les imaginer au préalable « les formes inconnues qui résultent nécessairement des formes primitives données » (1). Une épure représente non seulement l'objet à construire, mais aussi la série des opérations géométriques utilisées dans la construction. L'auteur d'une épure peut se relire, revenir sur ses pas, reprendre éventuellement une construction erronée, comme on relit et rectifie une proposition lorsqu'on rédige une démonstration ou qu'on argumente une idée.

Mathématicien, Monge utilise cette nouvelle branche de la géométrie issue de la pratique à la résolution de problèmes de géométrie classique, projective ou différentielle. Surtout, il met en évidence, avec la géométrie analytique, les liens entre géométrie descriptive et analyse. Les élèves de l'École centrale des Travaux publics, selon les *Développemens*, devront être en état « de résoudre, par l'analyse, toutes les questions dont la géométrie descriptive donne la solution, et de se représenter, dans l'espace, le spectacle des objets dont les opérations de l'analyse sont l'expression ; cet exercice a deux avantages précieux, celui de porter, dans l'analyse, l'évidence qui est particulière à la géométrie, et celui de donner aux opérations géométriques la généralité qui est propre à l'analyse » (2).

À l'École centrale des Travaux publics, la géométrie descriptive est la discipline reine, occupant près de la moitié du temps des élèves (3). Elle y comprend trois parties, correspondant chacune à une année d'études : la stéréotomie, l'architecture et la coupe des pierres. À chaque partie est attaché un instituteur de géométrie descriptive et un adjoint. La stéréotomie, enseignée en première année, dite division de stéréotomie, donne « les règles et les méthodes de la géométrie descriptive ». Mais l'instituteur de stéréotomie enseigne également pendant cette année les applications à la coupe des pierres, à la charpenterie, aux ombres des corps, à la perspective aux cartes et plans, aux machines simples et composées. On reconnaît le programme de la première année de Mézières. L'architecture, enseignée en deuxième année, dite division d'archi-

avant terme, concernent uniquement les méthodes géométriques de la nouvelle discipline.

(1) J.-N.-P. Hachette : *Traité de géométrie descriptive...*, Paris, 1822, p. xj.

(2) G. Monge : *Développemens...*, dans J. Langins, *op. cit.*, p. 248.

(3) 36 heures sur un total de 74 heures, soit 48 % du temps, contre 24 % pour la chimie, 16 % pour le dessin, 9,3 % pour l'analyse et la mécanique et 2,7 % pour la physique, selon J. Langins, *op. cit.*, p. 28. Il s'agit de la répartition théorique, prévue par l'arrêté du 6 frimaire an III.

ture ou de travaux civils (1), comprend *grosso modo* les matières étudiées à l'ancienne École des Ponts et Chaussées : tracé, construction et entretien des chaussées, des ponts, des canaux et des ports, conduite des travaux des mines, construction, distribution et décoration des édifices particuliers et nationaux et ordonnance des fêtes publiques. Enfin, la fortification, enseignée en troisième année, dite division de fortification, reprend, à peu près, les questions traitées à Mézières en seconde année : tracé, défilement et construction des fortifications, art de miner et de contreminer, attaque et défense des places. Comme à Mézières, l'année doit se terminer par un simulacre de siège.

Monge décide de prendre en main lui-même l'enseignement de la stéréotomie et de l'analyse appliquée à la géométrie. Nommé instituteur de géométrie descriptive pour la première année, avec Hachette comme adjoint (2), il présente pendant un mois, du 10 janvier au 7 février 1795, un « cours révolutionnaire » qui résume la stéréotomie et ses applications (3). À titre exceptionnel, il donne également après l'ouverture des cours réguliers de l'École, pendant les deux mois de germinal et floréal an III, des leçons de stéréotomie aux trois divisions réunies. Cet enseignement est brutalement interrompu après les journées de Prairial. Monge, menacé d'arrestation, se cache pendant près de trois mois tandis que Hachette, inquiet pour son attitude à Mézières en 1793 (4), démissionne. Pendant son absence, Monge est suppléé par le chef du bureau des dessinateurs de l'École, Eisenmann, qui donne les premières leçons de coupe des pierres. De retour à l'École à la fin du mois de juillet 1795, il reprend

(1) L'arrêté du 30 ventôse an IV (20 mars 1796) qui organise l'École polytechnique substitue le terme travaux civils à celui d'architecture.

(2) Jean-Nicolas-Pierre Hachette a été remarqué par Monge lors de son passage dans la petite école préparatoire de Mézières. Devenu écrivain-dessinateur à l'École du Génie en 1789, il est un protégé de Monge, qui le fait nommer professeur d'hydrographie à Collioure en 1792, puis professeur de mathématiques à Mézières en 1793. Il est, avec Lacroix, professeur-adjoint de Monge à l'École normale de l'an III.

(3) L'arrêté du 6 frimaire an III a prévu, à l'ouverture de l'École centrale des Travaux publics des « cours révolutionnaires » qui durent en principe trois mois, au terme desquels les élèves sont répartis entre les trois divisions suivant leur niveau. L'objectif est d'accélérer l'instruction et de former en un an les premiers ingénieurs de l'École. Le programme du cours de Monge est publié en pluviôse an III dans une brochure reproduite par J. Langins, *op. cit.*, pp. 126-198, en particulier pp. 142-146.

(4) Sur le rôle de Hachette à Mézières, voir B. Belhoste : *Les origines de l'École polytechnique...*, pp. 34-35.

jusqu'en octobre ses leçons sur les applications de la stéréotomie à la coupe des pierres et des bois, au dessin des ombres et à la perspective (1).

Après 1795, Monge n'enseigne plus la stéréotomie à l'École polytechnique et se consacre, quand il n'est pas parti, à l'analyse appliquée à la géométrie, tandis qu'Hachette, réintégré en janvier 1796, assure les leçons de géométrie descriptive en première année (2). Hachette, qui enseigne jusqu'en 1816, suit fidèlement l'exemple de Monge et n'introduit que fort peu d'innovations par rapport aux leçons du maître.

Mais si l'enseignement de première année n'évolue pour ainsi dire plus dans la suite, il n'en est pas de même des parties de la géométrie descriptive enseignées en deuxième et troisième années, c'est-à-dire de l'architecture (ou travaux civils) et des fortifications. En effet, la transformation de l'École polytechnique en école préparatoire aux écoles d'ingénieurs d'application, par la loi du 30 vendémiaire an IV (22 octobre 1795), entraîne rapidement des modifications importantes dans l'enseignement. En 1796, l'École essuie les critiques convergentes des examinateurs des corps du Génie et de l'Artillerie, Bossut et Laplace, du comité central de fortifications et des réacteurs aux corps législatifs, qui lui reprochent son encyclopédisme (3). Au printemps 1797, les instituteurs de géométrie descriptive chargés de la fortification sont rappelés à la nouvelle école du Génie, à Metz, tandis que plusieurs emplois sont supprimés à la suite des restrictions budgétaires (4). Dès la rentrée suivante, le cours des études est réduit d'un an : en géométrie descriptive, la deuxième année est consacrée aux cours d'application, travaux civils, architecture et fortifications, dont l'enseignement est fortement diminué. Ces cours d'application, confirmés par la loi du

(1) D'après Ch. Gardeur-Lebrun : *Journal de l'École centrale des Travaux publics*, Archives de l'École polytechnique, X²b/329. Après son retour, le 7 thermidor an III, Monge donne deux cours de stéréotomie, l'un aux deux divisions supérieures, l'autre à la division de stéréotomie. Sa dernière leçon est du 27 vendémiaire an IV.

(2) Hachette enseigne également la partie de l'analyse appliquée à la géométrie correspondant à la géométrie descriptive, c'est-à-dire la géométrie analytique. Monge se réserve la géométrie différentielle et la théorie des équations aux dérivées partielles.

(3) Voir J. Langins : « Sur l'enseignement et les examens à l'École polytechnique sous le Directoire : à propos d'une lettre inédite de Laplace », *Revue d'histoire des sciences*, 1987, tome XL, pp. 145-177.

(4) A. Fourcy : *Histoire de l'École polytechnique*, Paris, 1828 ; 2^e édition, Belin, Paris, 1987, pp. 122-127.

25 frimaire an VIII (16 décembre 1799) réorganisant l'École, et auxquels s'ajoutent alors les mines et les constructions navales, sont progressivement déconnectés de la stéréotomie, rebaptisée géométrie descriptive pure.

L'unité de la géométrie descriptive, telle que la conçoit Monge au moment de la fondation de l'École centrale des Travaux publics, est restée largement factice. Les leçons et exercices de travaux civils, d'architecture et de fortification héritent des traditions graphiques de ces disciplines et n'utilisent guère les méthodes de la géométrie descriptive. Pourtant, l'influence de Monge se fait sentir même dans ces enseignements. En fortification, Horace Say expose la théorie du défilement selon les canons de la géométrie descriptive (1). En architecture, Durand, qui professe à partir de l'an V, utilise systématiquement la double projection et néglige les perspectives. Et il n'est pas exagéré de dire que l'effort de normalisation caractérisant son enseignement, qui apparaît parfois comme une mathématisation de l'espace, procède du même esprit que celui de Monge (2).

Les exercices de stéréotomie

Héritière des anciennes écoles d'ingénieurs, l'École polytechnique accorde une place considérable aux travaux d'élèves, auxquels les textes fondateurs consacrent plus des quatre-cinquièmes du temps total, dont les deux-tiers pour les exercices graphiques (3). Dès l'été 1794, la commission des Travaux publics, chargée de préparer l'ouverture de la nouvelle école, prend soin de constituer des portefeuilles en puisant dans les collections publiques : Neveu rassemble des modèles pour le dessin d'imitation tirés des dépôts de l'hôtel de Nesle et des Petits-Augustins, de l'Académie de Peinture et du Cabinet des estampes ; pour le dessin d'architecture, l'inspecteur des études de l'École des Ponts et Chaussées Lesage, assisté de

(1) Voir H. Say : « Mémoire sur le défilement des fortifications », *Journal de l'École polytechnique*, 4^e cahier, octobre 1796, pp. 588-616.

(2) Sur l'enseignement de J.-N.-L. Durand, ses rapports avec la géométrie descriptive et le travail des élèves en architecture, voir W. Szambien : *Jean-Nicolas-Louis Durand, 1760-1834. De l'imitation à la norme*, Paris, Picard, 1984 et du même auteur : « Architekturdarstellung an der Pariser École polytechnique zu Beginn des 19. Jahrhunderts / Architectural drawings at the École polytechnique in Paris at the beginning of the nineteenth century », *Daidalos*, n° 11, mars 1984, pp. 55-64.

(3) Sur un total de 74 heures, on compte 61 heures de travaux d'élèves, dont 30 heures pour les exercices de géométrie descriptive et 12 heures pour le dessin, d'après l'arrêté du 6 frimaire an III.

Baltard et de Lomet, réunit des portefeuilles de projets de concours à l'Académie d'Architecture (1). L'École centrale des Travaux publics hérite aussi d'une partie des collections de planches de l'ancienne École de Mézières, en particulier pour la fortification. Mais ceci est loin de suffire au nouvel enseignement et, pour compléter les portefeuilles, il s'avère indispensable de réaliser des modèles supplémentaires. Un bureau de vingt-cinq dessinateurs, dirigé par Eisenman, est donc créé dans l'École et installé dans la maison Pommeuse, près du Palais-Bourbon (2).

C'est le bureau qui exécute les planches de géométrie descriptive destinées à l'enseignement de la stéréotomie. À Mézières, les élèves se contentaient de tracer deux ou trois épures de stéréotomie, avant d'attaquer la coupe des pierres. À l'École des Travaux publics, l'enseignement de la partie théorique de la géométrie descriptive nécessite de nombreuses épures, dont il s'agit de préparer les modèles. Monge suit de très près le travail, exécuté sous sa direction par un jeune dessinateur du bureau, Louis-Joseph Girard. Le 30 pluviôse an III (19 février 1795), Monge demande au conseil de l'École l'autorisation de traiter avec un graveur. Un marché est passé pour l'achat des cuivres et du papier et l'exécution de la gravure, au terme duquel le travail est confié à Delettre qui s'acquitte de sa tâche avec célérité (3). En germinal, lorsque s'ouvre le cours de stéréotomie donné par Monge aux trois divisions, la plupart des planches gravées sont prêtes.

Monge a précisé dans une intervention au conseil de l'École le 20 pluviôse an III (8 février 1795), la place qu'il entend accorder aux exercices dans l'enseignement de la géométrie descriptive : « Il faut (...) que les instituteurs des trois divisions rassemblent le matin pendant un temps assez court les élèves de leurs divisions respectives, pour leur communiquer et leur développer toutes les connaissances nécessaires au travail du jour, pour leur exposer les méthodes qu'ils employeront, et qu'immédiatement après les élèves se retirent dans leurs salles de brigade pour exécuter les opérations dont on leur aura appris le but et la théorie. Ainsi c'est dans des constructions graphiques, c'est dans des dessins que consistera tout le travail ostensible des choses. Ces dessins, ces constructions exi-

(1) A. Fourcy, *op. cit.*, pp. 17-19.

(2) Ce bureau compte trente-six dessinateurs au printemps 1795, dont un tiers d'élèves de l'École des Ponts et Chaussées.

(3) *Procès-verbaux du conseil d'administration de l'École centrale des Travaux publics*, séances du 30 pluviôse et du 5 ventôse an III, Archives de l'École polytechnique.

gent de leur part des méditations ; mais il n'y aura aucun temps purement consacré à ces méditations ; elles auront eu lieu pendant toute la durée des constructions et l'élève qui aura en même temps exercé son intelligence et l'adresse de ses mains, aura pour prix de ce double travail la description exacte de la connaissance qu'il aura acquise » (1).

Monge met ses principes en application dans son enseignement de stéréotomie de l'an III, qu'il est possible de reconstituer grâce à quelques documents : un résumé publié dans le *Journal de l'École polytechnique* (2), quelques rédactions manuscrites (3), les planches gravées en l'an III (4) et plusieurs portefeuilles d'élèves (5), ainsi que le journal tenu par l'inspecteur des études, Charles Gardeur-Lebrun (6).

Les conditions d'enseignement sont difficiles : Monge sort d'une maladie qui l'a laissé épuisé et il lui faut affronter un auditoire d'un niveau inégal, très nombreux et souvent inattentif. Le cours, qui comprend quatre parties — *préliminaires, plans tangents aux surfaces, intersections de surfaces et applications des intersections des surfaces* — dure environ deux mois. Les leçons magistrales ont lieu le matin, six jours par décade (les primidi, duodi, tridi, sextidi, septidi et octidi), de huit heures jusqu'à neuf heures au plus tard. Chacune est occupée par une, deux, plus rarement trois constructions graphiques, démontrées au tableau.

Vers neuf heures, les élèves, divisés en brigades, se rendent dans les salles, où ils réalisent jusqu'à deux heures de l'après-midi les exercices graphiques. Le travail consiste à tracer, d'après la planche gravée, l'épure du problème du jour, qui a été présenté en cours.

(1) *Procès-verbaux du conseil d'administration de l'École centrale des Travaux publics*, séance du 20 pluviôse an III, Archives de l'École polytechnique. L'intervention de Monge est reproduite dans J. Langins, *op. cit.*, p. 117.

(2) G. Monge : « Stéréotomie », *Journal de l'École polytechnique*, tome 1, 1^{er} cahier, germinal an III, pp. 1-14, et 2^e cahier, floréal et prairial an III, pp. 100-103.

(3) *Cours de géométrie descriptive de l'École centrale des Travaux publics* rédigé par Lomet, ingénieur, E.N.P.C. Ms fol. 150. Antoine-François Lomet, ingénieur des Ponts et Chaussées, est le conservateur des modèles de l'École centrale des Travaux publics. Voir aussi les notes de J. Fourier, Bibliothèque de l'Institut, ms 2044.

(4) Les archives de l'École polytechnique conservent deux portefeuilles de planches gravées en l'an III (cote : A¹b/108). La Bibliothèque nationale possède un portefeuille identique (cote : V. 5972).

(5) Portefeuille de Desclos-Lepeley, an IV, à la Bibliothèque nationale, cote V. 4829 ; portefeuille d'Angion, an V, E.N.P.C. Ms 22. Les archives de l'École polytechnique possèdent une série de portefeuilles plus tardifs.

(6) Voir note 1, p. 96.

D'une belle exécution, les planches in-folio, numérotées en chiffres romains et portant en titre la partie correspondante du cours, représentent chacune entre une et trois épures, numérotées en chiffres arabes. Le portefeuille complet de stéréotomie comprend ainsi vingt-neuf planches, représentant une quarantaine d'épures (tableau 4).

Chacune des vingt salles où travaillent les élèves est placée sous la responsabilité d'un chef de brigade, nommé parmi les meilleurs élèves (1). Les chefs de brigade préparent chaque soir avec Monge le travail du lendemain. Après avoir distribué aux élèves de leur brigade les planches gravées et, le cas échéant, les feuilles d'analyse correspondant à la leçon, ils répètent la démonstration donnée pendant la leçon et surveillent le travail des élèves.

Monge, Hachette et Gardeur-Lebrun passent régulièrement dans les salles pour contrôler la bonne marche du travail et aider les élèves. « Nous avons vu, le directeur et moi, toutes les salles d'études, écrit Gardeur-Lebrun dans son *Journal* le 3 germinal, et, dans celles de stéréotomie, nous avons trouvé le citoyen Monge voyant les dessins, donnant des avis et des encouragements et partout de la volonté et du zèle ». Les élèves disposent pour dessiner d'une règle, d'une équerre et d'un compas, d'un crayon à mine de plomb, d'une gomme élastique et de plumes à dessiner, bout d'aile et de corbeau. Les épures sont tracées à l'encre de chine sur des feuilles in-folio de papier de France.

En principe, les élèves doivent retrouver par le seul raisonnement la marche à suivre dans la construction des épures, mais beaucoup, semble-t-il, se contentent de reproduire servilement les planches modèles, certains allant même jusqu'à piquer l'épure gravée avec une aiguille pour la reporter sur leur feuille de dessin. Monge s'élève avec énergie contre ce procédé expéditif et invite les chefs de brigade à prendre toutes les précautions pour l'empêcher (2). Une fois la construction terminée, les élèves datent et signent leur épure, la font contresigner par leur chef de brigade et la conservent dans leur portefeuille, pour pouvoir la présenter à l'examen de passage en division supérieure.

(1) L'institution des chefs de brigade est l'une des originalités de la nouvelle école, inspirée probablement de celle des élèves-professeurs de l'ancienne École des Ponts et Chaussées. Les premiers chefs de brigade ont été formés dans une école des aspirants-instructeurs ouverte en novembre 1794 dans la maison Pommeuse. La plupart sont d'anciens élèves de l'École des Ponts et Chaussées. Hachette est leur « instituteur » de géométrie descriptive.

(2) D'après le *Journal* de Ch. Gardeur-Lebrun, 8 germinal an III : « Après la leçon [...], le citoyen Monge a parlé de l'infidélité de quelques-uns des élèves qui se sont contentés de piquer les planches des problèmes au lieu de les construire d'après les solutions données. Il a invité à suivre l'ordre indiqué pour le plus grand bien des élèves et les chefs de brigade à faire attention à cet abus, afin de s'y opposer ».

TABLEAU 4 :
*Planches gravées de géométrie descriptive
à l'École polytechnique (1795)*

Préliminaires

- I-1. Droite parallèle à une droite donnée et passant par un point donné. Vraie grandeur d'un segment. Points d'intersection avec les plans de référence.
- I-2. Plan parallèle à un plan donné.
- II-3. Traces d'un plan défini par trois points.
- II-4. Angle d'un plan avec les plans de référence.
- III-5. Plan perpendiculaire à une droite donnée et passant par un point donné.
- III-6. Perpendiculaire à un plan donné passant par un point donné. Perpendiculaire à une droite donnée issue d'un point donné.
- IV-7. Intersection de deux plans donnés par leurs traces.
- IV-8. Angle de deux plans.
- V-9. Angle de deux droites coplanaires.
- V-10. Angle d'une droite et d'un plan.
- VI-11. Détermination d'une pyramide triangulaire connaissant trois de ses six éléments caractéristiques.
- VI-12. Idem.
- VI-13. Idem.
- VII-14. Idem.
- VII-15. Réduction d'un angle à l'horizon.
- VIII-16. Distance de deux droites par la méthode du cylindre.
- IX-17. Distance de deux droites par la méthode des plans parallèles.

Plans tangents aux surfaces

- XI-19a. Plan tangent à une sphère passant par une droite donnée. 1^{re} méthode.
- XI-19b. Plan tangent à une sphère passant par une droite donnée. 2^e méthode.
- XII-20. Plan tangent à deux sphères passant par un point donné.
- XII-21. Plan tangent à trois sphères.
- XIII-22. Plan tangent à un cylindre en un point donné.
- XIII-23. Plan tangent à un cylindre passant par un point hors du cylindre.
- XIV-24. Plan tangent à un cône en un point donné.
- XIV-25. Plan tangent à un cône passant par un point hors du cône.
- XV-26. Plan tangent à une surface de révolution passant par un point donné.
- XVIa-27a. Plan tangent en un point donné à une surface de révolution définie par les projections données d'une courbe génératrice.
- XVIb-27b. Idem.
- XVII-28. Plan passant par une droite donnée et tangent à une surface de révolution définie par les projections données d'une courbe génératrice.

Intersections des surfaces

- a. Intersection d'un cylindre droit et d'un plan. Tangente à la courbe d'intersection. Développement du cylindre.
- b. Intersection d'un cylindre oblique par un plan perpendiculaire. Tangente à la courbe d'intersection. Développement du cylindre.
- c. Intersection d'un cône droit à base circulaire par un plan de bout. Développement du cône droit.
- d. Intersection d'un cône oblique avec un plan de bout. Développement du cône.
- e. Intersection d'une surface de révolution par un plan de bout.
- f. Intersection d'un hyperboloïde de révolution avec un plan de bout.
- g. Intersection de deux cylindres obliques.
- h. Intersection de deux cônes obliques.
- i. Intersection de deux surfaces de révolution d'axes concourants.

Applications des intersections des surfaces

- a. Sphère passant par quatre points donnés. Construction d'un point dont on connaît les distances à trois points donnés.
- b. Sphère inscrite dans un tétraèdre.
- c. Construction d'un point dont on connaît les distances à trois droites données.
- d. Construction d'un point quand on connaît les angles du rayon visuel de ce point à trois autres points avec la verticale.

Preliminary

Planche 1

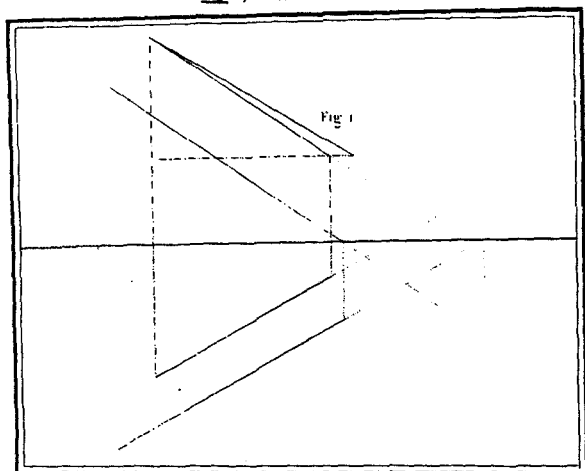
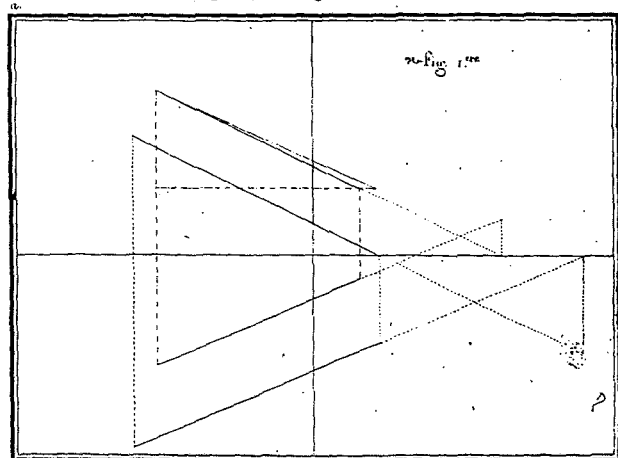
*Preliminary*

Planche 2



Travaux de l'Institut
de l'Université de Paris

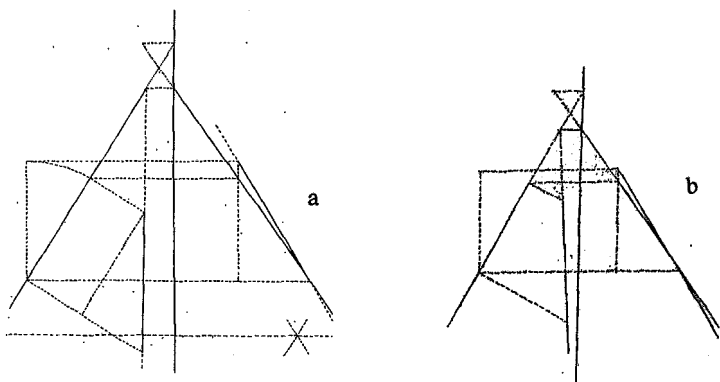


Fig. 7. Planche I, figure 1, du cours de stéréotomie (ou géométrie descriptive pure) de l'École polytechnique. Dessins École polytechnique et E.N.P.C. L'épure représente la vraie grandeur d'un segment donné par ses deux projections. Ci-contre, la planche gravée sur les indications de Monge en 1795 et celle dessinée en 1797 par un élève, N. Angion, qui l'a signée et fait contresigner par son chef de brigade, F.-B. Berge. Les deux autres épreuves du même problème, ci-dessus, qui comprennent quelques variantes, sont plus tardives : la première (a), dessinée par J.-B.-C. Dalesme, date de 1812, et la seconde (b), dessinée par P.-A.-J. Guye, de 1825.

Nous n'avons pas retrouvé de portefeuilles d'élèves correspondant au cours fondateur de Monge en l'an III, mais nous disposons de quelques portefeuilles pour les années suivantes. Hachette ayant repris sans changement l'enseignement inauguré par Monge et la plupart des planches ayant été utilisées pendant plus de quarante ans (1), les conclusions tirées de leur examen sont valables également dans une large mesure pour la première année de fonctionnement de l'École.

Les portefeuilles montrent que les élèves reproduisent toujours très fidèlement le modèle gravé, y compris les lettres moulées du titre et les filets de l'encadrement. La tentation de la copie pure et simple est grande et il n'est pas douteux que beaucoup d'élèves y succombent. Pour donner une idée du travail des élèves, nous avons choisi deux exemples de construction, l'une sur un problème de droites, l'autre sur un problème de plans tangents.

Le premier problème, qui ouvre le cours de stéréotomie, consiste à déterminer la longueur d'un segment de droite (fig. 7). L'épure

(1) Elles ont cependant été regravées sous l'Empire.

donne deux solutions à ce problème. La solution donnée sur la planche gravée et reprise par l'élève Angion de la promotion de l'an V, consiste à rendre le segment de droite considérée parallèle au plan de projection vertical. Sur l'épure de Guye, plus tardive (1825), le rendu est amélioré par le tracé sur la projection horizontale d'un arc de cercle exprimant la rotation. Une deuxième solution, où le plan vertical contenant le segment de droite est rabattu sur le plan horizontal, est également représentée sur les épures de Dalesme (1812) et Guye (1825). Ces légères modifications révèlent une certaine évolution — très modeste — du cours de géométrie descriptive, caractérisée par une présentation plus explicite des opérations utilisées dans les constructions, comme la rotation ou le changement de plan (1).

Le deuxième exemple que nous présentons correspond à un problème beaucoup plus délicat. Il s'agit de déterminer le plan tangent à une surface de révolution en un point de cette surface (fig. 8). Si le problème précédent apparaît fréquemment dans les traités de taille des pierres ou de charpente, où il est résolu de façon tout à fait similaire, celui-ci illustre l'application des procédés de la géométrie descriptive à la résolution de problèmes purement géométriques.

L'épure est tracée comme suit : la surface de révolution est représentée par son contour apparent, un cercle en projection horizontale et une courbe (plus ou moins proche d'une ellipse) en projection frontale (2). L'épure détermine les plans tangents à la surface en deux de ses points ayant même projection horizontale. Une rotation amène les deux points de contact sur le contour apparent frontal ; les tangentes à la courbe génératrice en les deux points ainsi obtenus sont supposées connues. Une rotation inverse permet ainsi de construire les tangentes aux deux points donnés de la surface contenues dans un plan vertical. Les tangentes horizontales en ces mêmes points étant aisées à déterminer, on en déduit les plans tangents cherchés.

Le problème illustré par cette épure est l'un des premiers donnés par Monge dans la seconde partie de son cours sur les plans tangents aux surfaces courbes. La solution présentée étant l'unique solution naturelle au problème, les épures seront reprises d'année

(1) Sur l'évolution des cours de géométrie descriptive, voir J. Sakarovitch : *La Géométrie descriptive après Monge*, annexe aux *Leçons de l'École normale de l'an III. Édition critique*, tome 2, à paraître en 1991.

(2) Le contour apparent ne suffit pas à déterminer une surface ; il faut également préciser sa définition ; ici, la surface est engendrée par la rotation d'une courbe, située dans un plan vertical, autour de son axe de symétrie vertical.

en année, sans modification (1). Compte tenu des conditions dans lesquelles se déroulent les exercices — les élèves disposent d'un modèle —, les erreurs semblent rares, du moins dans le rendu final. Il est néanmoins difficile de recopier une épure sans avoir compris le problème, ni la méthode pour le résoudre. Chaque tracé d'épure correspond en effet à une situation particulière : il est fréquent, par exemple, que deux points distincts se trouvent si proches l'un de l'autre qu'ils semblent confondus, que trois points soient quasiment alignés de façon fortuite ou que deux droites concurrentes apparaissent parallèles. Des confusions peuvent naître de ces coïncidences et un travail de pure copie, sur des épures quelque peu complexes, risque d'engendrer des inexactitudes. L'épure d'Angion donne un exemple d'une telle erreur. Les traces horizontales des plans tangents sont déterminées après une rotation. Très lisible pour le plan tangent supérieur, elle ne semble pas avoir été effectuée pour le plan tangent inférieur.

Comme à Mézières, les élèves se voient proposer des problèmes supplémentaires. Mais, alors qu'à l'École du Génie, les élèves n'ont qu'un seul problème à résoudre en coupe des pierres, différent pour chacun, Monge propose chaque mois à ses élèves de l'École polytechnique six problèmes de stéréotomie qui n'ont pas été traités en cours, du genre : « construire les projections horizontale et verticale d'un dodécaèdre régulier, et la section faite dans ce solide par un plan quelconque donné de position » (germinal) ; « faire la projection d'une vis triangulaire sur un plan parallèle à son axe » (germinal) ; « intersection de deux surfaces gauches engendrées chacune par le mouvement d'une droite sur trois autres » (floréal) ; « quatre droites étant données dans l'espace, trouver le point qui est également éloigné de chacune d'elles » (floréal) (2).

L'organisation des exercices graphiques de stéréotomie est à l'évidence inspirée de Mézières. Les brigades permettent en quelque sorte de diviser l'imposante École polytechnique en vingt petites écoles de pratique, où les élèves travaillent comme autrefois à l'École du Génie, en dessinant d'après modèle. Les différences entre les deux écoles méritent cependant d'être soulignées. Les épures à l'École polytechnique sont plus nombreuses et plus difficiles qu'à

(1) Notons cependant que la planche gravée en 1795 présente une erreur. Les deux points ne sont pas situés sur une même verticale, comme l'exigerait le reste du tracé. Cette erreur, qui ne se retrouve pas sur l'épure d'Angion, ni sur les éditions ultérieures de la planche, a vraisemblablement été signalée aux élèves.

(2) G. Monge : « Stéréotomie », *Journal de l'École polytechnique*, tome 1, 1^{er} cahier, germinal an III, p. 14, et 2^e cahier, floréal et prairial an III, p. 103.

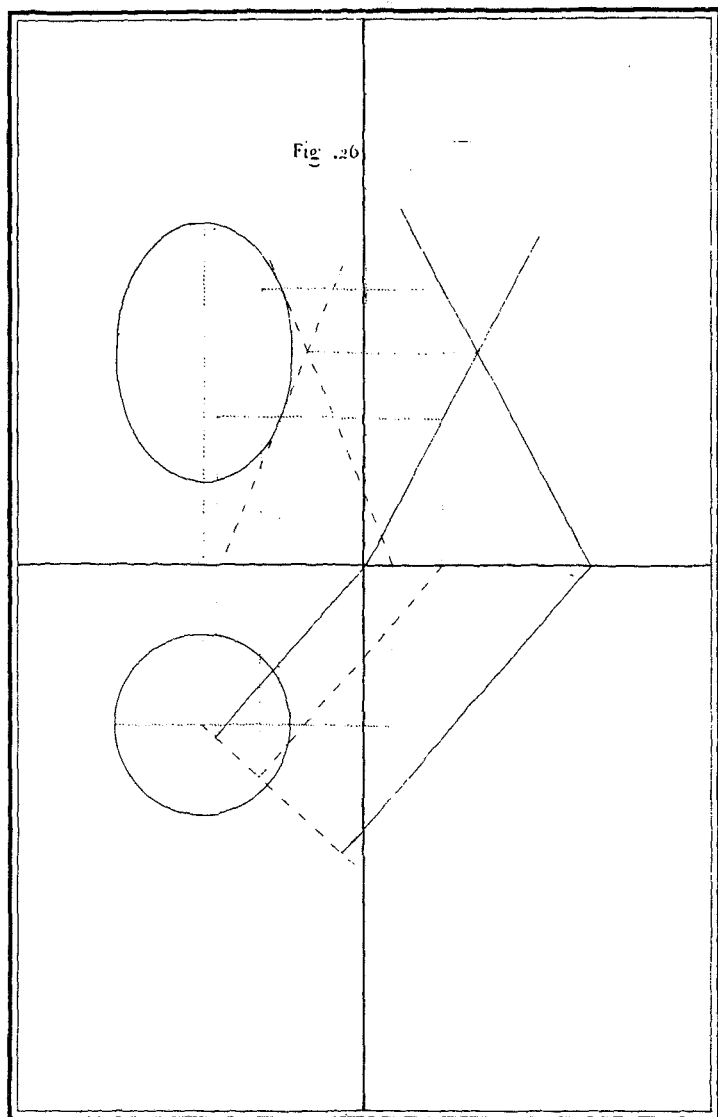
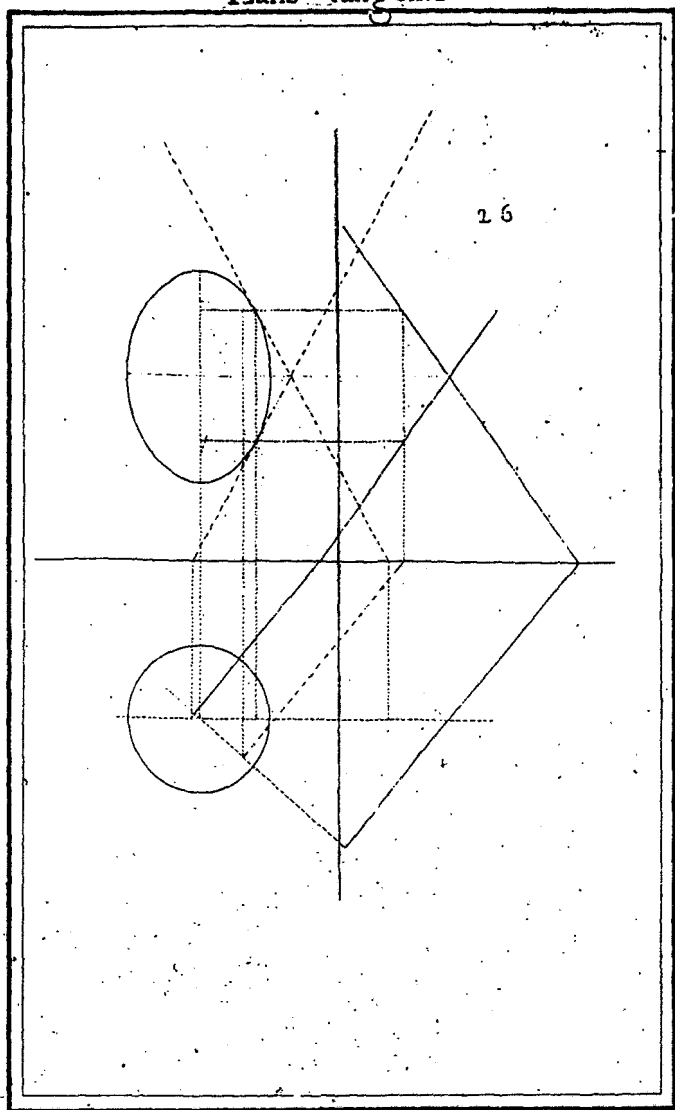


Fig. 8. Planche XV, figure 26, du cours de stéréotomie (ou géométrie descriptive pure) de l'École polytechnique. Dessins École polytechnique et E.N.P.C. L'épure représente les plans tangents à une surface de révo-



*Plan à Paris et à l'Académie
par Clément*

lution passant par deux points donnés ayant même projection horizontale. A gauche, la planche gravée en 1795 et, à droite, la planche dessinée d'après modèle par Angion en 1797.

Mézières, et le temps pour les exécuter plus réduit. Tous les élèves doivent avancer au même pas, imposé par la leçon magistrale, alors que, dans l'ancienne école, chacun dessinait à son rythme.

Selon Monge, la maîtrise des constructions et des représentations que donnent les leçons et les exercices de stéréotomie fournit aux élèves, par le moyen des cours d'application, les éléments essentiels nécessaires à la pratique du projet, constitutive de l'art de l'ingénieur. C'est qu'il est convaincu que la géométrie descriptive, en permettant au futur ingénieur d'aller plus vite et plus loin dans l'expression graphique, lui donne à la fois une aptitude à l'invention technique et une compétence véritablement polytechnique.

*

*

*

D'une école à l'autre, les exercices changent et évoluent. L'École des Ponts et Chaussées emprunte à la tradition architecturale la pratique du concours, qui permet à la fois de classer les élèves et de les exercer au projet. Les élèves gardent une grande liberté dans l'organisation et l'exécution de leur travail. L'École forme ainsi des ingénieurs « artistes » généralement assez faibles sur la théorie mais souvent créatifs. L'École du Génie adopte, à l'égard des exercices, une attitude très différente. Le travail des élèves suit un ordre défini précisément par les « instructions ». Les élèves reprennent chaque année les mêmes exercices graphiques, dont le corpus est constitué de manière quasi définitive dès les années 1760. Mézières forme ainsi, par des méthodes éprouvées, des ingénieurs géomètres dans la grande tradition de la Renaissance, qui savent manier la règle et le compas, mais dont les compétences, tout compte fait, demeurent assez spécialisées.

C'est par rapport à ces deux traditions, celle de Perronet et celle de Chastillon, qu'il convient d'évaluer d'abord l'œuvre de Monge à l'École polytechnique. Il est évident que le mathématicien tire de son expérience à Mézières des idées qu'il applique dans la nouvelle école. Ceci est vrai en particulier pour les exercices graphiques. Mais la géométrie descriptive donne au dessin d'ingénieur une dimension universelle qui le distingue radicalement des techniques graphiques enseignées dans les anciennes écoles d'ingénieurs, y compris à Mézières. Parallèlement, le travail des élèves devient plus normalisé : les pratiques pédagogiques héritées de l'apprentissage, dominantes à l'École des Ponts et Chaussées et encore agissantes à l'École du Génie, laissent place à des formes entièrement scolari-

sées, avec l'institution d'un véritable programme de travaux pratiques, la réglementation de l'emploi du temps et la création d'exercices-modèles liés organiquement au cours magistral.

D'un autre côté, l'œuvre de Monge, considérée dans la longue durée, marque l'aboutissement d'une tradition qui s'épuise. Le XVIII^e siècle a été l'âge d'or du dessin d'ingénieurs. La géométrie descriptive de Monge, enseignée à l'École polytechnique, conclut, d'une certaine manière, la réflexion théorique menée depuis un demi-siècle sur ce type d'expression graphique, en la réduisant à une branche annexe des mathématiques. Le reflux commence alors pour elle assez vite. Réduite à sa partie théorique et à ses applications les plus immédiates par la suppression définitive des cours d'application en 1816, elle passe progressivement de la position centrale occupée à l'origine à une position relativement marginale, tandis que l'analyse, associée à la mécanique, s'impose à l'École polytechnique comme la discipline dominante. En même temps, le rôle des exercices graphiques devient de plus en plus secondaire dans la formation et l'évaluation des élèves.

Avec le recul de la géométrie descriptive, c'est la figure même de l'ingénieur qui se transforme : à l'ingénieur dessinateur, « artiste » ou géomètre, du XVIII^e siècle, se substitue un ingénieur savant, féru d'analyse et de mécanique mais de moins en moins praticien, malgré les formations complémentaires reçues dans les écoles d'application. La création de l'École centrale des Arts et Manufactures en 1829, dont l'enseignement est calqué sur celui de la première École polytechnique, n'infléchit pas sensiblement cette évolution. Jusqu'à nos jours, l'ingénieur français formé dans les grandes écoles se définit sans doute plutôt comme un homme de dossiers que comme un homme de projets.

Bruno BELHOSTE,

Service d'histoire de l'éducation.

Antoine PICON,

École nationale des Ponts et Chaussées

École d'architecture de Paris-Villemin.

Joël SAKAROVITCH,

Université Paris-V

École d'architecture de Paris-Villemin.