

JOURNAL
DE
MATHÉMATIQUES

PURES ET APPLIQUÉES

FONDÉ EN 1836 ET PUBLIÉ JUSQU'EN 1874

PAR JOSEPH LIOUVILLE

DE LA GOURNERIE

Mémoire sur l'enseignement des arts graphiques

Journal de mathématiques pures et appliquées 2^e série, tome 19 (1874), p. 113-156.

http://www.numdam.org/item?id=JMPA_1874_2_19__113_0

 gallica

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Gallica de la Bibliothèque nationale de France
<http://gallica.bnf.fr/>

et catalogué par Mathdoc
dans le cadre du pôle associé BnF/Mathdoc
<http://www.numdam.org/journals/JMPA>

Mémoire sur l'enseignement des arts graphiques;

PAR M. DE LA GOURNERIE [*].

1. Dans l'organisation des études à l'École des Travaux publics et ensuite à l'École Polytechnique, Monge a établi l'enseignement des arts graphiques sur des bases nouvelles. Il a présenté le trait de la coupe des pierres d'une manière abstraite, et l'a érigé sous le nom de *Géométrie descriptive* en trait universel. Ensuite la Stéréotomie, considérée comme une simple application de la Géométrie descriptive, a été professée avant toutes les autres parties de l'Architecture.

Ces modifications aux méthodes suivies ont été successivement adoptées par la plupart des établissements d'instruction.

Je me propose de rechercher si les adhésions aux idées de Monge ont été unanimes, et si les résultats obtenus sont aussi favorables qu'on l'avait espéré.

STÉRÉOTOMIE.

Coupe des pierres.

2. Autrefois, l'enseignement de la coupe des pierres était lié à l'organisation des maîtrises et du compagnonnage. On possédait d'ailleurs de bons ouvrages écrits par des architectes [**] et destinés aux per-

[*] Ce Mémoire doit paraître dans le prochain fascicule des *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers*. Désirant soumettre les considérations qu'il contient à l'appréciation des géomètres, j'ai demandé à M. Liouville son insertion dans le *Journal de Mathématiques*.
(20 janvier 1874).

[**] Milliet-Dechalles n'était pas architecte, mais son Livre n'est qu'un abrégé de celui du P. Derand; quant à Desargues, il a simplement proposé un nouveau mode de solution pour les problèmes graphiques que présente la coupe des pierres.

sonnes familiarisées avec la Construction. Ils étaient principalement consacrés à l'exposition des tracés; mais cependant les questions relatives à l'exécution et à la stabilité n'étaient pas entièrement négligées.

Dans l'enseignement établi par Monge, les leçons sur la Stéréotomie sont données à des élèves complètement étrangers à l'Architecture, et, par suite, l'art est réduit à sa partie géométrique [*].

Monge s'était laissé tellement dominer par cette manière incomplète de considérer la question, qu'il a entrepris de résoudre, par les seules ressources de la Géométrie, le problème de la décomposition d'une voûte en voussoirs. Il a présenté, comme solution générale, la division de l'intrados suivant ses lignes de courbure, et l'emploi de surfaces développables lieux de normales à la douelle, pour former les lits et les joints.

Le célèbre Géomètre faisait ainsi complètement abstraction des données essentielles du problème; il ne s'inquiétait ni de la situation de la voûte par rapport à la direction de la pesanteur, ni de la position des points d'appui, ni de l'existence possible de surcharges diversement réparties, ni de la forme des courbes de tête et des arêtes qui limitent l'intrados: la nature géométrique de cette surface était seule prise en considération.

Les disciples de Monge admiraient sans difficulté le résultat auquel leur maître était parvenu.

3. La Stéréotomie était enseignée avec beaucoup de soin à l'ancienne École des Ponts et Chaussées. Fourcy dit que les épures de coupe des pierres y étaient *très-complicquées* (*Histoire de l'École Polytechnique*, p. 8), ce qui signifie sans doute que l'on abordait des questions difficiles, car les traits n'ont pas été simplifiés.

[*] Dans les programmes de l'ancienne École Polytechnique, la Stéréotomie fait partie de la Géométrie descriptive pure. (*Voir le Rapport du Conseil de perfectionnement du 3 nivôse an IX.*)

Les applications de la Géométrie descriptive étaient la Fortification, l'Architecture, etc. Sganzin, qui enseignait la Construction, était considéré comme faisant un *Cours de Géométrie descriptive appliquée à l'art de l'Ingénieur des Ponts et Chaussées*: c'est le titre de son *Traité* (1^{re} édition). Dans cette manière de voir, le dessin n'est pas un auxiliaire, mais la base, le fondement même de tous les arts mécaniques et industriels.

En 1793, l'École avait perdu presque tous ses élèves. Lamblardie la réorganisa dans les années suivantes, en ayant égard au rôle nouveau qu'elle avait à remplir par suite de la création de l'École Polytechnique. La coupe des pierres ne fut pas comprise dans les programmes. Prony, nommé directeur au commencement de l'an VII, après les morts successives de Lamblardie et de Chézy, s'empessa de demander le rétablissement du cours de Stéréotomie. La proposition qu'il fit à ce sujet au Ministre de l'Intérieur est contenue dans un Rapport qui a été publié sous le titre de *Plan d'instruction des élèves de l'École des Ponts et Chaussées*. Je crois utile de reproduire le commencement de l'article consacré à la Stéréotomie :

« Les élèves ayant été exercés à la Géométrie descriptive, on se bornera à rappeler, d'une manière très-succincte, les principes de cette science, dans ses rapports immédiats avec l'art de la coupe des pierres et de la charpente.

» Après cette exposition rapide, on s'occupera de la partie de l'art de la coupe des pierres qui enseigne les moyens de donner à chacune des pierres qui doivent composer un édifice les formes convenables et nécessaires pour produire un effet déterminé, en satisfaisant aux conditions assez nombreuses qui dérivent des lois de la Statique, de la solidité et de l'économie; on fera observer quelles sont, parmi ces formes, celles qu'il faut choisir selon les circonstances.

» Pour donner à ces principes généraux le développement nécessaire, on passera en revue les différents *traits* connus et classés jusqu'à présent sous les dénominations de portes, de descentes, de trompes, d'escaliers, etc., que l'on tâchera de désigner et de classer d'une manière plus naturelle et plus conforme à la marche de la Géométrie descriptive. On fera remarquer, en même temps, les erreurs qui se rencontrent dans quelques Traités de la coupe des pierres, et l'on examinera quels sont les cas particuliers où des raisons d'économie et de plus grande facilité dans l'exécution peuvent contraindre de s'écarter un peu des méthodes rigoureuses. »

4. Ce programme est bien différent de celui qui était suivi à l'École Polytechnique. Monge enseigne que la division d'une voûte en voussoirs est une question de pure Géométrie. D'après Prony, on doit avoir

égard aux conditions assez nombreuses qui dérivent des lois de la Statique, de la stabilité et de l'économie. L'école de Monge est très-sévère sur l'exactitude géométrique [*]. Prony recommande d'examiner quels sont les cas particuliers où des raisons d'économie et de plus grande facilité dans l'exécution peuvent contraindre de s'écarter un peu des méthodes rigoureuses.

Mais ce qui est bien plus important que les termes mêmes du programme, ce qui modifiait d'une manière essentielle la nature des leçons, c'est que les élèves avaient déjà suivi à l'École Polytechnique des cours d'Architecture, de Travaux civils et de Fortification, et que l'enseignement de la Stéréotomie marchait parallèlement avec celui de la Construction et de la Mécanique appliquée.

D'après les dispositions du *plan d'instruction*, les leçons du cours de Stéréotomie, dans les deux premiers mois, étaient consacrées à la Géométrie descriptive et à la Perspective. Pendant ce temps, le professeur de Mécanique traitait l'importante question de la stabilité des voûtes, et les élèves faisaient des projets de maisons sous la direction du professeur de Construction. L'enseignement de la coupe des pierres n'était commencé que le troisième mois.

Dès que le cours était terminé, les élèves, ayant toute la théorie présente à l'esprit, allaient visiter les grands travaux et pouvaient se familiariser promptement avec les détails de la pratique.

Prony raisonne comme si les élèves avaient été étrangers à la Stéréotomie. Dans cette supposition, les dispositions qu'il prescrit et le programme qu'il trace paraissent excellents; mais on pouvait difficilement captiver l'attention des jeunes ingénieurs, en leur expliquant des traits qu'ils connaissaient déjà. Le professeur de l'École des Ponts et Chaussées devait presque nécessairement se borner à présenter les considérations omises à l'École Polytechnique.

[*] Voir les observations de Monge sur la précision de la taille, dans son article sur les lignes de courbure, les changements faits aux épures de La Rue, admises dans la collection de l'École Polytechnique, et divers passages d'Eisenman.

Je reconnais, du reste, que plusieurs des anciens traits devaient être corrigés ou complétés.

Quelques-unes des modifications faites aux dessins de La Rue paraissent bonnes; celle que l'on remarque sur l'épure de l'*arrière-voussure de Marseille* était nécessaire.

Ces rectifications tardives n'ont qu'une utilité très-bornée. Prony espérait probablement amener l'École Polytechnique à modifier, et peut-être même à abandonner l'enseignement de la coupe des pierres. Monge était en Égypte, et l'occasion pouvait paraître favorable.

5. Le 5 prairial an VII, dans une assemblée des élèves, Prony annonça la mise à exécution du *Plan d'instruction*, et insista en ces termes sur le cours de Stéréotomie :

« La coupe des pierres et des bois occupait une partie considérable des exercices de l'ancienne École des Ponts et Chaussées, et le Ministre, pour faire revivre complètement cette branche importante d'instruction, vous a nommé un troisième professeur, qui en est spécialement chargé. » (*Opuscules* [*], t. IV, p. 180.)

Eisenman, ingénieur et chef du bureau des dessinateurs à l'École Polytechnique, venait d'être placé à l'École des Ponts et Chaussées; il s'était fait connaître par des articles sur l'enseignement de la Stéréotomie [**], et se trouvait tout préparé pour la professer suivant les idées de Monge. Prony lui confia le cours de Mécanique, pour lequel ses travaux paraissaient moins le désigner, et appela à la chaire de Stéréotomie Bruyère, cet ingénieur d'un jugement si sûr qui a mérité d'être appelé par Arago « austère et très-habile. »

Nous savons par Navier que Bruyère avait appris la Géométrie descriptive dans les ouvrages de Derand, de La Rue et de Frézier, et que de plus il avait suivi le cours de Monge à l'École Polytechnique.

[*] La bibliothèque de l'École des Ponts et Chaussées possède quatre volumes intitulés *Opuscules de Prony*, et composés de pièces publiées par le célèbre ingénieur. Chaque volume porte une table manuscrite à laquelle correspond une pagination spéciale.

Cette collection a été faite par Prony lui-même.

[**] *Journal de l'École Polytechnique*, II^e, III^e et IV^e cahier.

Les articles d'Eisenman présentent un grand intérêt, parce qu'ils donnent des éclaircissements sur l'enseignement de Monge. On y trouve quelques indications relatives au *principe de la moindre inégalité des parties contiguës* qui paraît avoir été pour le célèbre géomètre une loi fondamentale de la coupe des pierres. Il y a tout lieu de croire que ce principe était entièrement géométrique, comme la loi des lignes de courbure.

Lorsqu'on examine les planches du grand ouvrage de Bruyère [*], on reconnaît qu'il n'avait subi que très-peu l'influence de Monge, et le choix de Prony paraît significatif.

Le 20 thermidor de l'an VIII, dans une séance solennelle pour la distribution des prix à l'École des Ponts et Chaussées, Prony parla en ces termes des études de Stéréotomie : « Le Ministre, le magistrat spécialement chargé des travaux publics, et les ingénieurs qui ont jugé vos pièces de concours... n'ont pas remarqué sans plaisir que la coupe des pierres et des bois avait été remise en vigueur dans cette École, et ils s'attendent que bientôt elle y aura repris son ancienne activité. » (*Opuscules*, t. IV, p. 196.)

Cette espérance ne s'est pas réalisée.

6. Lorsque la révolution du 18 brumaire arriva, les Conseils législatifs étaient saisis d'un projet de loi destiné à compléter l'organisation de l'École Polytechnique.

La loi fut promulguée le 25 frimaire, après avoir été votée suivant les formes admises pendant la période de transition où l'on se trouvait. Le nouveau gouvernement y avait introduit diverses dispositions, principalement dans le but de réduire les résistances de différents genres que rencontrait l'École [**]. Un Conseil supérieur, dont on

[*] *Études relatives à l'Art des constructions*, 1823-1828.

Bruyère connaissait toutes les ressources du dessin. Son ouvrage forme un contraste frappant avec les publications faites à la même époque par les ingénieurs de l'école de Monge, qui n'emploient que des figures géométrales.

D'après Navier, les *Études* de Bruyère devraient être dans les mains de tous les ingénieurs (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1833, 2^e semestre).

[**] L'École Polytechnique était alors en grand crédit. Le Ministère de l'Intérieur, dont elle dépendait ainsi que l'École des Ponts et Chaussées, venait d'être confié à Laplace, l'un de ses examinateurs permanents. Monge était d'ailleurs l'ami personnel du chef du nouveau gouvernement; il l'avait accompagné dans son expédition en Égypte et dans son retour en France.

Prony au contraire était en défaveur. (Voir Arago et les diverses biographies.)

L'influence de Monge fut toute-puissante dans les faits que je rapporte; on ne peut avoir à ce sujet aucun doute, car Napoléon I^{er}, parlant des mesures prises après le 18 brumaire, dit : « L'École Polytechnique n'était qu'ébauchée; Monge fut chargé d'en rédiger l'organisation définitive. » (*Mémoires de Napoléon*, 2^e édition, t. VI, p. 109.)

trouve la première idée dans le projet de loi, fut créé sous le nom de *Conseil de perfectionnement*, et reçut des attributions considérables, notamment celle de préparer des programmes pour les Écoles d'Application, « de manière que l'enseignement y fût en harmonie et entièrement coordonné avec celui de l'École Polytechnique. » Les services publics intéressés étaient représentés dans le Conseil par des délégués chargés de présenter des propositions pour les programmes des écoles spéciales.

7. Le Conseil de perfectionnement s'attacha à faire ressortir l'importance du travail de coordination qui lui était confié : « De quoi eût-il servi sans cela, dit-il, d'accumuler tant de moyens d'instruction pour préparer des sujets, de les soumettre à tant d'épreuves, si, au sortir de ce noviciat, ils étaient obligés de remanier avec dégoût et sans fruit les mêmes matières [*] ? »

Bien que Prony fût membre du Conseil, son plan d'instruction reçut des modifications qui le dénaturaient complètement : on conserva toutes les parties de l'enseignement, mais leur répartition entre les trois professeurs de l'École des Ponts et Chaussées fut faite d'une manière très-différente. La Stéréotomie, au lieu d'être l'objet d'un cours spécial, se trouva réunie à la Construction pour les routes, les ponts et la navigation intérieure; ensuite toutes les considérations sur l'enseignement de la coupe des pierres et de la coupe des bois furent supprimées.

Le Conseil avait d'ailleurs compris la Stéréotomie dans le programme du cours de *Géométrie descriptive pure* de l'École Polytechnique, affirmant ainsi sa volonté d'en maintenir l'enseignement à cette école.

Prony vaincu fit paraître en brochure ses discours de l'an VII et de l'an VIII, qui cependant avaient déjà été imprimés dans les comptes rendus des séances. Il eut soin de préciser l'époque de cette publication en en faisant connaître non-seulement l'année, mais encore le mois,

[*] Rapport du Conseil de perfectionnement du 3 nivôse an IX.

Le retard des opérations du Conseil tient probablement à ce que la loi fixait sa réunion en brumaire, et, comme elle avait été rendue en frimaire, il fallait attendre une année.

qui est celui où le Conseil de perfectionnement trancha la question; on lit sur la page du titre : « Nivôse an IX » [*]. Enfin Prony modifia le second des passages que j'ai reproduits, de manière à mieux indiquer l'intention qu'il avait eue d'établir sans retard un enseignement sérieux de la Stéréotomie à l'École des Ponts et Chaussées [**].

Il me paraît impossible de ne pas voir une protestation dans cette réimpression.

Les propositions du Conseil de perfectionnement de l'École Polytechnique, pour la distribution des matières de l'enseignement dans les différents cours de l'École des Ponts et Chaussées, furent approuvées, et même insérées dans le décret d'organisation du corps des Ponts et Chaussées (7 fructidor an XII).

8. Tout ce que je viens de dire résulte de pièces imprimées et publiées. J'aurais probablement obtenu, sans peine, de consulter les procès-verbaux des délibérations des Conseils des Écoles Polytechnique et des Ponts et Chaussées et toutes les archives des études, mais cela ne m'a pas paru nécessaire, et même j'ai cru qu'il y aurait quelque inconvénient à procéder ainsi.

Les documents qui sont à la disposition de tout le monde suffisent pour faire connaître l'opinion de Prony qui, géomètre et ingénieur, professeur à l'École Polytechnique depuis sa fondation et directeur de l'École des Ponts et Chaussées, pouvait, mieux que personne peut-être, apprécier la question sous tous ses aspects.

Prony s'était familiarisé avec l'art de la maçonnerie par la construction de divers ouvrages et notamment du pont de la Concorde, dont il avait dirigé l'exécution sous les ordres de Perronet, après en avoir fait les projets de détail. A cette époque tous ses travaux scientifiques concernaient l'art des constructions et principalement la Statique des voûtes [***]. Enfin une circonstance particulière permet d'établir qu'il s'était beaucoup occupé du trait.

Prony a publié en 1788 le programme d'un travail étendu qu'il se pro-

[*] *Opuscules*, t. IV, p. 211.

[**] Au lieu de : « que bientôt », on lit « qu'en l'an IX ».

[***] *Notice sur les Travaux et les services de Prony* (*Opuscules*, 3^e vol., p. 113).

posait d'écrire sur la science de l'ingénieur des Ponts et Chaussées. Dans cette pièce il insiste sur l'importance de la coupe des pierres et annonce l'intention de la traiter avec soin. Il apprécie ensuite les *Traité*s de La Rue et de Frézier, comme ouvrages didactiques, en des termes que je trouve sévères, mais qui témoignent d'une connaissance approfondie du sujet [*].

9. Le Comité des Fortifications a eu, dans l'origine, des discussions avec l'École Polytechnique, mais on ne voit pas qu'il ait réclamé contre le mode d'enseignement adopté pour la Stéréotomie.

Pendant sa session de l'an IX, le conseil de perfectionnement régla le programme pour les Écoles de l'Artillerie et du Génie. On lit dans cette pièce, à la colonne des exercices que l'on devait demander aux élèves :

« Résolution graphique de différents problèmes de coupe de pierres et de charpenterie, avec les considérations qui tiennent aux procédés de l'art des constructions; calcul des poussées et portées; rédaction de toutes les épures lavées et coloriées; mémoire raisonné sur les moyens d'exécution. »

Les corps militaires paraissent avoir pensé que pour la Stéréotomie on devait, dans les écoles spéciales, compléter seulement l'instruction que les élèves avaient acquise à l'École Polytechnique. On ne doit pas être surpris que le Génie ait accepté sans difficulté l'établissement d'un mode d'enseignement qui avait pris naissance à l'École de Mézières. D'ailleurs les ingénieurs militaires étaient engagés, pour d'autres sujets, dans une lutte assez vive avec l'École Polytechnique, et devaient, par suite, éviter les discussions sur toutes les questions qu'ils pouvaient regarder comme étant d'un intérêt secondaire.

10. Le système d'enseignement de Monge a d'abord été peu remarqué en dehors des services publics. Dans son important ouvrage sur l'*Art*

[*] L'exemplaire que l'on trouve dans les *Opuscules* (1^{er} vol., p. 9) porte, en remplacement de la première page, un carton sur lequel le style a été modifié d'après les idées républicaines, et qui peut induire en erreur sur la date réelle.

L'Administration des Ponts et Chaussées a envoyé ce programme à tous les ingénieurs, en leur demandant de fournir à Prony les renseignements qui lui seraient utiles.

Le célèbre ingénieur, incessamment chargé de travaux urgents et difficiles, n'a pas pu accomplir son projet.

de bâtir, publié de 1802 à 1817, Rondelet suit un mode d'exposition très-différent : il parle d'abord des matériaux, puis de la maçonnerie; il fait ensuite connaître les principaux résultats donnés par l'expérience sur la stabilité des voûtes, et il n'aborde la description des appareils que lorsqu'il peut justifier les dispositions adoptées.

L'ouvrage de Rondelet a été parfaitement accueilli : plusieurs éditions en ont été faites et les Architectes le consultent souvent; mais peu à peu les disciples de Monge ont introduit dans les établissements où leur influence s'est étendue la méthode qui consiste à commencer l'enseignement de la Construction par l'exposition des tracés de la Stéréotomie.

Je suis entré dans ces détails un peu minutieux, parce qu'il est important de savoir comment une méthode qui paraît avoir de grands inconvénients, et dans laquelle les études suivent un ordre contraire à celui du développement naturel des connaissances, a pu se faire accepter dans notre pays.

11. Je me propose maintenant de rechercher quels ont été les résultats. Une circonstance particulière permet de les apprécier avec une certaine exactitude.

L'établissement des chemins de fer a nécessité la construction de ponts sous des obliquités plus grandes que celles qui étaient autrefois admises. L'art des arches biaises s'est constitué dans un pays où les doctrines et la méthode d'enseignement de Monge n'avaient pas pénétré; mais il a reçu en France quelques modifications, et de nombreux Mémoires ont été publiés à son occasion. Leur lecture fait connaître les diverses opinions sur les principes qui doivent diriger l'architecte dans la division d'une voûte en voussoirs.

Plusieurs ingénieurs pensent qu'il faut seulement se préoccuper d'avoir des pierres terminées par des angles droits. En général, cependant, les auteurs considèrent la question comme étant au moins en partie du domaine de la Mécanique. Les uns regardent que les pressions qui se développent doivent être dirigées vers les points d'appui par un appareil convenable; les autres croient que ces forces ne dépendent pas de l'appareil; enfin ces derniers ne sont nullement d'accord sur la direction dans laquelle les poussées s'établissent.

On remarque des divergences tout aussi grandes dans les procédés d'investigation : quelques ingénieurs présentent des raisonnements de simple Géométrie; d'autres consultent la théorie de l'élasticité; beaucoup recourent à la Mécanique des solides invariables; enfin quelques-uns pensent que l'expérience peut seule donner des indications certaines. La discussion n'a fait qu'augmenter la confusion; chacun raisonne d'après son principe, et les arguments se croisent sans se répondre [*].

Je désirerais beaucoup que les personnes qui s'intéressent à l'enseignement de la Stéréotomie parcourussent les principaux Mémoires publiés sur l'appareil de l'arche biaise. J'ai donné des indications qui peuvent faciliter ce travail [**]. Je crois qu'on sera surpris de la profonde divergence des opinions, et cependant en théorie l'appareil d'une arche droite ou biaise est relativement simple, parce que toutes les pierres ne sont soumises qu'à des forces de compression.

12. Je suis convaincu que l'on aurait obtenu de meilleurs résultats si la coupe des pierres avait été professée conformément aux idées de Prony, de manière que le professeur de Stéréotomie, en parlant des escaliers, des trompes, des plates-bandes, etc...., eût pu faire connaître les résultats de l'expérience sur l'établissement de ces divers ouvrages, et discuter les cas où des moyens artificiels de consolidation deviennent nécessaires.

Cet enseignement, imité des anciens auteurs et analogue au mode d'exposition adopté par Rondelet, se serait progressivement amé-

[*] J'ai été engagé dans cette discussion, et les critiques ne m'ont pas été épargnées. On a dit, notamment, que mes raisonnements étaient excellents pour un cours de Géométrie descriptive, mais que je négligeais diverses circonstances dont les ingénieurs doivent tenir compte. Je crois que ce reproche n'avait aucun fondement, et qu'on ne me l'adressait que parce que je professe la Géométrie descriptive. Je me suis défendu de mon mieux.

J'ai reçu, pour la Stéréotomie, l'enseignement géométrique établi par Monge, et j'en ai naturellement subi l'influence dans une certaine mesure. Si ces premières leçons ont réellement fait sur moi une impression durable, je n'en dois désirer que plus vivement de voir l'enseignement de la Construction rétabli sur ses véritables bases.

[**] *Mémoire sur l'appareil de l'arche biaise, suivi d'une analyse des principaux ouvrages publiés sur cette question.* Paris, Baudry, 1872.

lioré; les diverses opinions eussent été examinées et classées, et la confusion qui existe maintenant n'aurait pas pu se produire.

Il me semble certain que, si la Stéréotomie avait été enseignée à des élèves connaissant les conditions de l'établissement des maçonneries, un professeur ayant à présenter des considérations sur l'appareil des voûtes aurait été obligé d'avoir égard à l'action de la pesanteur, et n'aurait pas pu admettre, pour la division en voussoirs, une solution indépendante de la direction de cette force. Au besoin, les auditeurs l'eussent averti, et l'article de Monge sur les lignes de courbure n'aurait pas attiré l'attention en France plus qu'il ne l'a fait à l'étranger.

Je reviens à cet article, parce que j'y trouve un témoignage d'une haute valeur sur les inconvénients de l'enseignement de la Stéréotomie à un point de vue purement géométrique. Les ouvrages contemporains pourraient peut-être me fournir d'autres témoignages, mais je ne veux pas m'engager dans une semblable discussion.

13. Philibert de l'Orme, qui a révélé les tracés de la coupe des pierres, avait conçu le plan d'un Traité rationnel de Stéréotomie. « J'emploierai, dit-il, le temps qui me sera plus à propos à revoir Euclide et accommoder sa théorie avec la pratique de notre Architecture, lui accompagnant Vitruve et le réduisant à une certaine méthode. »

Il me paraît difficile de mieux définir les conditions que l'on doit se proposer de remplir dans un Traité de coupe des pierres. La première difficulté, l'explication géométrique des traits doit être considérée comme résolue depuis la publication de l'ouvrage de Frézier. Personne n'a encore satisfait complètement à la seconde condition, et Monge s'est éloigné du but parce qu'il a abandonné Vitruve.

14. En Angleterre, la Stéréotomie est restée jointe à la Construction. Les Traités de coupe des pierres de Nicholson et de Dobson, qui sont, je crois, les plus répandus, ont pour titres, le premier : *A popular and practical Treatise on masonry and Stonecutting*; le second, *The rudiments of masonry and Stonecutting*. Je ne prétends pas que ces ouvrages soient au-dessus de toute critique, mais les conditions essentielles de l'art y sont beaucoup moins négligées que dans les traités des auteurs de l'école de Monge.

Il importe de remarquer que nous avons devancé de deux siècles les Anglais pour des publications sur la coupe des pierres. Le *Traité d'Architecture* de Philibert de l'Orme est de 1567, et le livre du général Vallancey, qui paraît être en Angleterre le plus ancien ouvrage sur le trait, n'a été publié qu'en 1766.

15. Si maintenant nous examinons l'enseignement de la coupe des pierres d'un point de vue plus modeste, et comme ayant uniquement pour but de familiariser avec la pratique de l'art de l'appareilleur, nous trouverons que la méthode de Monge présente deux inconvénients.

Le premier consiste en ce que, dans les exercices qu'on propose aux élèves, on ne peut faire porter le problème que sur des détails secondaires. Il est impossible de demander à des personnes étrangères à l'art des constructions une étude sérieuse comprenant, pour un appareil un peu difficile, la détermination générale de la forme de l'ouvrage, et sa répartition en voussoirs, de manière que les diverses pierres aient toutes une résistance suffisante, et qu'il soit facile de les tailler et de les poser. Or ce sont les travaux de ce genre qui sont les plus profitables.

Le second inconvénient résulte de ce que l'enseignement de la Stéréotomie se trouve confiné aux premières études [*]. Au moment où les élèves arrivent sur les chantiers comme architectes ou ingénieurs, leur attention n'a pas été appelée sur les tracés depuis plusieurs années. Ils sont obligés de revoir ces questions avec soin, et si quelques-uns négligeaient de le faire, ils se trouveraient dans la nécessité de confier à des subalternes diverses études de détail ; ils ne pourraient guider un contre-

[*] Les idées qui ont présidé à l'organisation de l'enseignement à l'École Polytechnique sont exposées dans une pièce officielle publiée sous le titre de : *Développement sur l'enseignement adopté pour l'École centrale des Travaux publics*. On y lit, à l'article de la seconde année : « Le deuxième et le troisième mois seront consacrés à l'étude de la construction des ponts. Il ne sera plus question du trait que tous les élèves auront appris dans la première année, mais de tous les travaux relatifs à la construction.... »

D'après Fourcy, la main de Monge est fortement empreinte dans ce document (*Hist. de l'École Polytechnique*, p. 41).

maître embarrassé ni, à plus forte raison, former des appareilleurs.

Je soumetts ces observations aux ingénieurs qui ont construit de grands ouvrages de maçonnerie.

16. J'ai entendu quelques personnes dire que l'ingénieur et l'architecte n'ont pas besoin de connaître toutes les ressources du trait, et qu'ils doivent se réserver pour des travaux d'un ordre plus élevé.

Monge n'envisageait certainement pas les choses de cette manière quand il a organisé l'enseignement des arts graphiques. Je crois d'ailleurs que certaines questions de Stéréotomie doivent être rangées parmi les problèmes difficiles de l'art des constructions [*]. Quoi qu'il en soit, j'ai raisonné dans l'hypothèse que l'instruction des ingénieurs sur le trait devait être égale à celle des bons appareilleurs.

Ce serait, au moins en apparence, un singulier paradoxe que de donner aux ingénieurs des connaissances mathématiques élevées, comme on le fait, à des degrés divers, dans la plupart des écoles, et de ne pas les familiariser avec la Géométrie des chantiers.

Si l'on adoptait l'opinion que je viens d'indiquer et que du reste je veux pas discuter plus longuement, on pourrait diminuer considérablement le travail des élèves, et cependant leur donner des *notions* exactes sur la coupe des pierres.

Examen de l'article de Monge sur l'emploi des lignes de courbure en Stéréotomie.

17. La théorie de Monge pour l'emploi des lignes de courbure de l'intrados comme lignes d'assise a été la première et la plus remarquable des productions de la méthode dans laquelle on considère la Stéréotomie comme une science presque entièrement géométrique. On sait depuis longtemps que cette théorie n'est pas exacte; cependant l'article dans lequel le célèbre géomètre arrive à conclure que « la division d'une voûte en voussoirs doit toujours être faite suivant les lignes de cour-

[*] Je place dans ce nombre toutes les constructions qui, sous le rapport de l'appareil, ne rentrent pas dans les types connus et classés : par exemple, l'établissement d'une arche avec des conditions notablement différentes de celles que l'on rencontre dans la pratique ordinaire, pour le biais, le surbaissement et la pente des lignes de naissance.

bure de la surface de la voûte » est encore regardé par quelques personnes comme un modèle, et on le place assez souvent sous les yeux des commençants. Je crois en conséquence qu'il est utile de le discuter minutieusement. J'examinerai d'abord la partie où une question de Mécanique est transformée en un problème de Géométrie, et ensuite les passages où Monge développe des considérations de Géométrie et de construction.

18. La base de la théorie de Monge est exposée dans la phrase suivante [*] : « Une des principales conditions auxquelles la forme des joints des voussoirs doit satisfaire, c'est d'être partout perpendiculaires à la surface de la voûte que ces voussoirs composent. Car, si les deux angles qu'un même joint fait avec la surface de la voûte étaient sensiblement inégaux, celui de ces angles qui excéderait l'angle droit serait capable d'une plus grande résistance que l'autre, et, dans l'action que deux voussoirs consécutifs exercent l'un sur l'autre, l'angle plus petit que l'angle droit serait exposé à éclater, ce qui, au moins, déformerait la voûte, et pourrait même altérer sa solidité et diminuer la durée de l'édifice. »

Il est important, sans doute, que les angles des voussoirs n'éclatent pas, mais ce résultat est tout à fait insuffisant pour assurer la stabilité d'une construction. L'angle droit n'a d'ailleurs en lui-même et par sa nature aucune vertu pour produire l'équilibre; il n'est utile qu'autant qu'on le place d'une manière convenable par rapport aux pressions qui doivent se développer. Si l'on ne s'inquiète pas de la direction de ces forces, les appareils qu'on pourra imaginer en enchâssant les unes auprès des autres des pierres taillées sous des faces rectangulaires n'auront absolument aucune valeur.

De ce que dans le tassement des maçonneries d'une plate-bande les angles aigus des claveaux sont quelquefois brisés, il ne s'ensuit pas qu'on puisse assurer l'équilibre en établissant les lits perpendiculaires à la face plane qui forme la douelle. Les angles droits que les pierres auraient alors ne sauraient en effet les empêcher de tomber.

[*] L'article de Monge est à la fin de sa *Géométrie descriptive*. Il est trop connu pour que je regarde comme nécessaire de le reproduire en entier.

Je pourrais multiplier les exemples de ce genre. Celui d'une plate-bande n'offre aucun autre avantage que la simplicité [*].

Dans un appareil quelconque, on doit rechercher d'abord les conditions qui assurent la stabilité; ensuite, si cela est nécessaire, on fait disparaître par divers artifices les angles trop aigus que certaines pierres pourraient présenter.

Après la phrase que j'ai citée, Monge passe à la division d'une voûte en voussoirs : sa seule préoccupation est d'avoir des pierres comprises sous des faces orthogonales et d'une taille facile.

Le problème ainsi posé est du ressort de la Géométrie.

19. Pour obtenir des voussoirs ayant des angles droits, Monge divise l'intrados par des lignes de courbure, et forme les lits et les joints avec des surfaces engendrées par des normales à la douelle.

La position des courbes de tête sur l'intrados est une des données du problème, et n'a aucune relation nécessaire avec les lignes de courbure. Il en résulte que, dans la disposition prescrite par Monge, les voussoirs des têtes, qui sont très-importants, peuvent avoir des angles de toutes les grandeurs.

Monge raisonne comme si l'intrados était une surface géométrique complète. Les voussoirs qu'il définit ont en réalité des angles droits, quand les courbes de tête et les lignes de naissance sont des lignes de courbure, et que d'ailleurs l'intrados n'est pas interrompu par des lunettes; mais ce n'est là qu'un cas très-particulier.

20. D'après Monge, on ne peut avoir des surfaces convenables pour les lits et les joints que si l'on a divisé l'intrados par des lignes de courbure.

Le célèbre géomètre commence par dire : « Lorsqu'il est nécessaire que les joints des voussoirs soient des surfaces courbes, on les compose, autant qu'il est possible, de surfaces développables »; puis, après avoir posé le principe de l'angle droit, il ajoute : « Lors donc que la surface d'un joint doit être courbe, il convient de l'engendrer

[*] J'ai examiné cette question avec quelque soin, dans mon *Mémoire sur l'appareil de l'arche braise*.

par une droite qui soit partout perpendiculaire à la surface de la voûte; et si l'on veut de plus que la surface du joint soit développable, il faut que toutes les normales à la surface de la voûte, et qui composent, pour ainsi dire, le joint, soient consécutivement deux à deux dans un même plan. »

Je crois voir là une inattention : une surface réglée peut couper une seconde surface à angle droit, sans que ses génératrices lui soient normales.

Considérons une courbe tracée sur un intrados et d'ailleurs quelconque : l'enveloppe d'un plan tangent à cette ligne, et normal à la douelle à son point de contact, est une développable qui rencontre à angle droit l'intrados, bien que ses génératrices rectilignes lui soient obliques. On trouve, par cette surface, une solution approximative du problème géométrique que Monge s'est posé.

Que l'on trace sur un intrados deux séries de lignes rectangulaires, les unes normales aux courbes des têtes et continues, les autres composées de segments limités aux premières; que, par ces lignes, on fasse passer des surfaces développables engendrées comme il vient d'être indiqué, et l'on aura une division de la voûte satisfaisant *à peu près* aux conditions prescrites par Monge.

Cette solution peut, en général, être adoptée pour les berceaux simples, avec têtes planes ou légèrement courbes; car alors les pressions sont sensiblement parallèles à l'intrados et aux têtes, même dans le cas où il y a du biais. Il en résulte que, si les faces des voussoirs se coupent sous des angles droits, les lits se trouvent à peu près normaux aux pressions.

21. On doit d'ailleurs remarquer qu'il n'est nullement nécessaire qu'une surface soit rigoureusement développable par son mode de génération, pour que, dans l'étendue qui correspond à un voussoir, on puisse en faire le développement, avec le degré d'exactitude que comportent les opérations de la Stéréotomie. L'École de Monge est très-sévère sur ce point [*], mais les meilleurs appareilleurs admettent

[*] Voyez Eisenman (*Journal de l'École Polytechnique*, cahier II, p. 100); Vallée (*Spécimen de la coupe des pierres*, p. 118).

dans certains cas le développement de surfaces qui ne sont même pas exactement réglées, telles que les douelles d'un berceau tournant, quand les arcs de la méridienne compris entre deux lignes d'assise ne diffèrent pas sensiblement de segments de droites. Frézier a présenté sur ce sujet des observations judicieuses dans le quatrième livre de son *Traité*.

La condition d'avoir pour les joints des surfaces lieux de normales à la douelle et pouvant être développées laisserait en réalité une certaine latitude pour le tracé des lignes de division de l'intrados. Du reste, le plus souvent on ne se préoccupe en aucune manière d'avoir des joints développables.

Dans un appareil important, celui des arches biaises, on a été conduit, en cherchant à diminuer les difficultés de la taille, à prendre pour lits des surfaces gauches, tandis que la théorie indique des cylindres.

22. Je passe maintenant aux considérations relatives à la Construction. On doit se rappeler qu'elles sont présentées à des élèves qui, étant encore étrangers à l'Architecture, ne peuvent corriger ce que les énoncés ont d'insuffisant ou de défectueux.

Dans une voûte bien construite, deux des quatre faces latérales d'un voussoir ordinaire sont à peu près normales aux pressions; les deux autres leur sont parallèles. On appelle les premières *lits* et les secondes *joints* [*]. L'exactitude de la taille est plus nécessaire pour les lits que pour les joints [**]. Cette distinction est capitale en Stéréotomie. Ainsi, dans la taille par biveaux on doit éviter d'établir un lit ou une douelle d'après sa position par rapport à un joint.

On lit dans un *Rapport sur les cintres du pont d'Iéna*, fait par Prony, le 16 mars 1810 : « Les ciments n'ont pas seulement pour objet de

[*] Quelques architectes emploient les dénominations de *joints horizontaux*, *joints montants*; on dit aussi *joints continus* et *joints discontinus*.

[**] Dans les grands ouvrages, Perronet voulait que les pierres fussent taillées sans démaigrissement sur toute l'étendue des lits, mais, en général, il n'exigeait une aussi bonne exécution sur les joints que pour les deux tiers de leur longueur. (Art. 75 et 76 du devis du pont Louis XVI, art. 54 du devis du pont de Neuilly.)

Je cite Perronet, parce que ses ouvrages, encore très-consultés aujourd'hui, faisaient autorité du temps de Monge.

faire adhérer les pierres les unes aux autres, mais encore de former entre les cours de voussoirs des espèces de coussins qui doivent être assez épais pour que les voussoirs ne s'appuient jamais à nu les uns contre les autres; car, si un pareil contact avait lieu sous des pressions aussi énormes que celles qui s'exercent dans de semblables circonstances, la rupture des arêtes des voussoirs et celle des voussoirs eux-mêmes en résulteraient nécessairement [*]. »

Dans les joints le mortier est moins utile que dans les lits : il sert à lier les pierres et à empêcher qu'il n'y ait des vides, mais non pas à transmettre ni à répartir les pressions.

Après avoir présenté ces détails pour ceux des lecteurs qui ne seraient pas familiarisés avec la Construction, je reviens à Monge.

23. On lit dans son article :

« Chaque voussoir a plusieurs faces qui exigent la plus grande attention dans l'exécution : 1^o la face qui doit faire parement, et qui, devant être une partie de la surface visible de la voûte, doit être exécutée avec la plus grande précision : cette face se nomme *douelle*; 2^o les faces par lesquelles les voussoirs consécutifs s'appliquent les uns contre les autres : on les nomme généralement *joints*. Les joints exigent aussi la plus grande exactitude dans leur exécution; car, la pression se transmettant d'un voussoir à l'autre perpendiculairement à la surface du joint, il est nécessaire que les deux pierres se touchent par le plus grand nombre possible de points..... »

Monge dit dans un autre passage que les joints d'un même voussoir doivent être rectangulaires entre eux. Il confond donc sous la dénomination générale de *joints* toutes les faces d'application des voussoirs. D'après cela, sa théorie de la transmission des pressions normalement au joint n'offre pas un sens bien clair.

Selon Prony, les voussoirs de deux cours ne doivent pas s'appuyer à nu les uns contre les autres, et Monge regarde comme *nécessaire* qu'ils se touchent par le plus grand nombre possible de points.

On voit que ces deux hommes célèbres ne sont jamais d'accord dans les questions relatives à l'art de l'ingénieur.

[*] *Papiers du baron de Prony*, portefeuille 50, dossier 1, pièce 21 bis (bibliothèque de l'École des Ponts et Chaussées).

Les raisonnements de Monge concernent un genre de maçonnerie dans lequel les pierres seraient posées sans cales ni mortier et devraient être à peu près polies. Les anciens ont employé cette méthode, et avant que l'usage des bons ciments se fût répandu, quelques auteurs ont conseillé d'y revenir pour éviter les tassements; mais de semblables procédés ne paraissent possibles que quand les faces d'application des voussoirs sont planes : or les considérations que Monge développe se rattachent à une théorie générale des joints courbes.

En fait, à l'époque où Monge a écrit, on posait les pierres d'appareil sur des cales ordinairement en bois et quelquefois en plomb. On fichait ensuite le mortier. Après le décintrement, la pression était transmise entre les voussoirs des différentes assises, par l'intermédiaire du mortier et des cales.

Je ne m'arrêterai pas à examiner les divers modes de pose employés maintenant. Cette question n'aurait ici aucun intérêt.

Le passage que j'ai reproduit pouvait donner de fausses idées aux commençants, et notamment les induire en erreur sur le degré d'exactitude nécessaire dans la taille des différentes faces d'un voussoir.

24. Je continue les citations :

« Quant aux convenances particulières, il y en a de plusieurs sortes, et notre objet n'est pas ici d'en faire l'énumération; mais il y en a une principale : c'est que les lignes de division des voussoirs qui, comme nous venons de le voir, sont de deux espèces [*], et qui doivent se rencontrer toutes perpendiculairement, doivent aussi porter le caractère de la surface à laquelle elles appartiennent. Or il n'existe pas de ligne sur la surface courbe qui puisse remplir en même temps toutes ces conditions que les deux suites de lignes de courbure, et elles les remplissent complètement. »

La Stéréotomie est une science positive; elle a pour base l'expérience, pour guides la Mécanique et la Géométrie. On ne peut sans de graves inconvénients introduire dans ses spéculations des appréciations vagues et incertaines comme celles qui précèdent.

[*] Monge dit en effet que certaines lignes divisent la voûte en assises, et d'autres une même assise en voussoirs; mais il se borne à cette simple énonciation.

25. On lit plus loin : « Avant la découverte des considérations géométriques sur lesquelles tout ce que nous venons de dire est fondé, les artistes avaient un sentiment confus des lois auxquelles elles conduisent, et, dans tous les cas, ils avaient coutume de s'y conformer. Ainsi, par exemple, lorsque la surface de la voûte était de révolution, soit qu'elle fût en sphéroïde, soit qu'elle fût en berceau tournant, ils divisaient ses voussoirs par des méridiens et par des parallèles, c'est-à-dire par les lignes de courbure de la surface de la voûte.

» Les joints qui correspondaient aux méridiens étaient des plans menés par l'axe de révolution ; ceux qui correspondaient aux parallèles étaient des surfaces coniques de révolution autour du même axe ; et ces deux espèces de joints étaient rectangulaires entre eux, et perpendiculaires à la surface de la voûte. Mais, lorsque les surfaces des voûtes n'avaient pas une génération aussi simple, et quand leurs lignes de courbure ne se présentaient pas d'une manière aussi marquée, comme dans les voûtes en sphéroïdes allongés, et dans un grand nombre d'autres, les artistes ne pouvaient plus suffire à toutes les convenances, et ils sacrifiaient, dans chaque cas particulier, celles qui leur présentaient les difficultés les plus grandes. »

L'appareil d'une voûte en sphéroïde est déterminé par la direction de la pesanteur, et non par les courbures de la douelle.

Si l'intrados à peu près hémisphérique et limité à un plan de naissance horizontal appartenait à une surface de révolution dont l'axe s'inclinerait vers l'horizon de 45 degrés, on ne prendrait pas des méridiens ni des parallèles pour lignes d'appareil ; on établirait des assises horizontales divisées par des joints verticaux.

Les intrados sont soumis à de certaines conditions, tant pour leur forme que pour leur position par rapport à la direction verticale ; mais on ne saurait trouver à ces surfaces un caractère général et précis qui puisse devenir la base d'une théorie sur la division d'une voûte en voussoirs. Il arrive que dans deux ou trois cas très-simples on prend des lignes de courbure pour lignes d'appareil. Cette circonstance méritait d'être signalée.

La dernière phrase du passage qui précède peut faire penser que les anciens appareilleurs ne procédaient qu'en hésitant : il n'en est rien. L'Art était parvenu à une grande perfection, en ce sens que l'on avait

des tracés sûrs pour les divers problèmes que présentait l'Architecture. De nouveaux besoins ont fait surgir des questions qui n'avaient été que peu ou point étudiées, et c'est alors que les incertitudes ont paru.

26. Ainsi que je l'ai déjà dit (art. 17), Monge conclut que « *la division d'une voûte en voussoirs doit toujours être faite par les lignes de courbure de la surface de la voûte;* » mais il n'a pas cherché à appliquer cette règle. Les épures de coupe des pierres que l'on trouve dans la collection de l'École Polytechnique sont établies d'après les anciens traits. Ainsi, dans le *biais passé gauche*, l'*arrière-vousure de Marseille*, la *voûte d'arêtes en tour ronde* et l'*escalier vis à jour*, les lignes d'assise sur l'intrados gauche sont des droites; dans la *porte biaise ratchetant un berceau cylindrique*, on voit des coupes obliques sur la douelle du grand berceau; le *biais passé cylindrique*, la *trompe biaise* [*], la *vis Saint-Gilles* présentent également des dispositions contraires à la règle des lignes de courbure.

Les quatre éditions de la *Géométrie descriptive* du célèbre géomètre contiennent l'article où l'emploi de ces lignes est prescrit d'une manière absolue, et chaque année on faisait à l'École Polytechnique un tirage des planches de la Collection, sans accommoder les appareils à la nouvelle théorie.

Lorsqu'on entreprend de le faire, on rencontre des difficultés de tout genre. Dans le *biais passé* et l'*arrière-vousure de Marseille*, par exemple, on trouve pour lits, au lieu de plans perpendiculaires aux têtes, des surfaces d'une description compliquée qui arrivent obliquement aux plans de tête; de sorte que cette méthode, qui se présente comme devant donner des angles droits et des joints d'un tracé facile, conduit quelquefois à des obliquités excessives et à des tailles impossibles.

Quant à la stabilité, il ne peut en être question. Se figure-t-on une lunette, une arche d'un grand biais ou un escalier à vousures rampantes ayant des appareils tout différents de ceux à l'aide desquels on parvient aujourd'hui à les établir?

27. En résumé, je crois que l'idée capitale de l'article de Monge

[*] L'exemple de la *trompe biaise* est particulièrement remarquable, parce que, d'après Eisenman, on expliquait aux élèves l'application de la loi des lignes de courbure à cette voûte (*Journal de l'École Polytechnique*, cahier III, p. 440).

est inadmissible; que les considérations secondaires sont les unes peu exactes, les autres dépourvues de précision; que les indications sur la construction des voûtes dénotent l'absence de connaissances suffisantes dans l'art de la maçonnerie; enfin que la conclusion est en contradiction avec les résultats les plus certains acquis à l'Architecture.

Je regarde d'ailleurs que cet article a une grande importance en ce qu'il permet d'apprécier les préoccupations sous l'empire desquelles Monge a établi l'enseignement géométrique de la coupe des pierres, et les conséquences de ses leçons pour l'instruction des élèves.

Dans un enseignement bien ordonné, chaque branche des connaissances est exposée après les études nécessaires, et avec tous les développements convenables. Les élèves comprennent alors les questions, et ne se laissent pas entraîner par des assertions gratuites.

Je crois devoir parler avec netteté, parce que la question est importante et qu'une discussion sérieuse me paraît indispensable.

28. J'ajouterai quelques mots, moins sur l'article de Monge que sur la question même de la division d'une voûte en voussoirs.

Les mortiers ont une grande importance pour la stabilité des voûtes. Les bons ciments dont on dispose aujourd'hui établissent une grande adhérence entre les pierres, et diminuent beaucoup le tassement [*]. On peut par suite adopter pour l'appareil des dispositions plus hardies, et, d'un autre côté, accepter plus facilement des voussoirs avec des crossettes, ou en état de charge.

Pour certains biais, une arche doit être établie avec des assises droites, si l'on a de bons ciments, et il est nécessaire de recourir à des assises hélicoïdales quand on ne dispose que de mortiers ordinaires.

On doit aussi avoir égard à la qualité et aux dimensions des pierres que fournissent les carrières.

Dans son article, Monge ne dit rien des mortiers. Les anciens auteurs, il est vrai, n'en parlent pas beaucoup, mais le point de vue est différent.

La Rue et Frézier écrivent pour des architectes; ils présentent une

[*] Les voûtes de plusieurs ponts récemment construits n'ont eu que des tassements insignifiants. Dans trois des cinq arches du pont de Tilsitt, élevé à Lyon par M. Kleitz, avec quelques soins particuliers, la clef n'a pas éprouvé d'abaissement appréciable (arc de cercle ayant 22^m, 84 d'ouverture et 2^m, 75 de flèche).

série d'appareils, et leurs ouvrages sont, en réalité, plutôt des Recueils que des Traités; Monge s'adresse à des commençants et prétend établir une théorie générale.

Comme professeur, j'expose des considérations sur la division d'une voûte en voussoirs, à la dernière leçon du cours, en faisant une revue des appareils. S'il me fallait résumer les règles dans une formule, je dirais, après Prony, que *l'on doit avoir égard aux conditions assez nombreuses qui dérivent des lois de la Statique, de la stabilité et de l'économie.*

Dans certaines constructions où la stabilité est facile à assurer, telles que les voûtes sphériques, on se préoccupe aussi quelquefois de l'effet que l'appareil produira pour la décoration.

Coupe des bois.

29. Pour les tracés de la charpente on emploie souvent un seul plan de projection, toujours horizontal, et l'on place au-dessus de lui, dans diverses positions, la pièce que l'on veut tailler. Les lignes ne sont pas reportées sur le bois de la même manière que sur la pierre. Les différences entre le trait de la charpente et celui de la coupe des pierres sont donc assez grandes au point de vue du métier; mais il n'y a pas de distinction sérieuse à faire sous le rapport de la Géométrie, et l'on a pu appliquer sans effort la Géométrie descriptive à la coupe des bois.

Cet art est moins intimement lié à la composition des charpentes que la coupe des pierres à l'établissement des maçonneries. Connaître les principes de la mise sur ligne et du piqué des bois, savoir les tracés des entures et des assemblages habituellement employés, déverser et délarder une pièce rectangulaire, établir l'épure d'une pièce courbe telle qu'un limon d'escalier, voilà ses parties essentielles [*]; je dois reconnaître qu'elles sont presque entièrement géométriques, et qu'on a pu, sans grand dommage, transporter la coupe des bois dans la Géométrie, et maintenir la composition des charpentes dans la Construction. Toutefois cette division d'un même art en deux parties,

[*] L'établissement des cintres des voûtes compliquées, et les constructions en charpente par lesquelles on cherche à imiter les voûtes en pierres, présentent quelques problèmes difficiles; mais ces questions se rattachent à la coupe des pierres.

dont les études sont ordinairement séparées par un assez long intervalle de temps, présente divers inconvénients que je crois utile de signaler.

50. Dans les épures d'exercice, qu'elles soient faites au crayon sur du papier ou à la craie sur un tableau, on est obligé d'employer deux échelles différentes, l'une pour les dimensions transversales des pièces, l'autre plus petite pour les longueurs. Sans cela, l'échelle unique que l'on devrait adopter, eu égard à l'étendue dont on dispose, réduirait tellement les petites parties des assemblages que la figure serait peu distincte [*].

Les dessins de la coupe des bois donnent ainsi aux élèves étrangers à la Construction des idées fausses sur les proportions des pièces. On peut sans doute tracer des brisures pour rappeler la convention faite; on peut aussi montrer des modèles en relief, et l'on ne néglige pas de le faire; mais, malgré ces soins, les épures de charpente établies avant toute étude d'Architecture conduisent, en général, à des appréciations inexactes sur les grandeurs.

31. Depuis que la coupe des bois est séparée de la composition des charpentes, certains auteurs ont introduit des tracés différents de ceux qui sont adoptés [**), et quelquefois on les a présentés aux élèves sans les prévenir de l'innovation. Je pourrais en citer plusieurs exemples; je me borne à indiquer l'emploi d'un paraboloïde dans le tracé des assemblages d'un limon d'escalier à courbe rampante.

Dans un Cours on doit exposer un art tel qu'il existe, sauf à signaler ses imperfections et à faire connaître les modifications qui paraissent utiles [***]. On aurait sans doute toujours observé cette règle pour la

[*] Voir les observations présentées sur ce sujet par Emy, au commencement du chapitre XIV de son remarquable *Traité de l'Art de la Charpenterie*.

[**] On lit dans M. Ch. Dupin : « Les épures de charpente de l'École Polytechnique doivent à M. Ferry les améliorations importantes qui les distinguent des tracés ordinaires des charpentiers. » (*Essai historique sur les services et travaux scientifiques de Gaspard Monge*, p. 249.)

Je crois que ces modifications n'ont pas été adoptées sur les chantiers.

[***] C'est ainsi que procèdent les ingénieurs qui ont écrit sur l'Art de la Charpenterie (Voir par exemple Emy, t. I, p. 500, et *passim*).

coupe des bois, si on l'avait enseignée au point de vue du métier; mais, du moment qu'elle faisait partie de la Géométrie, les tracés ne présentaient plus que des problèmes graphiques, que l'on croyait pouvoir modifier à son gré, sans se préoccuper de diverses circonstances collatérales dont la pratique seule révèle l'importance.

Monge voulait que l'on fit connaître aux élèves les tracés adoptés sur les chantiers. On lit en effet dans les *Développements* (art. 15, note) qu'un appareilleur et un charpentier distingués dans l'art du trait doivent être attachés à l'École, et donner en grand des leçons sur la coupe des pierres et la coupe des bois [*].

Ces idées témoignent d'excellentes intentions, mais l'enseignement a subi l'influence inévitable de la méthode adoptée.

En résumé, je pense qu'il n'est pas sans inconvénient d'enseigner la coupe des bois à des élèves complètement étrangers à l'Architecture, mais que cette disposition des études n'a eu aucune influence appréciable sur les développements de l'Art de la Charpente dans notre pays.

52. Monge a publié, dans le premier cahier du *Journal de l'École Polytechnique*, un article où, par des considérations relatives à la coupe des bois, il cherche à justifier la méthode de l'enseignement préalable de la Stéréotomie.

« L'Art de la Charpenterie, dit-il, a, quant à son objet, le plus grand rapport avec celui de la coupe des pierres; quant aux moyens et aux

[*] Je ne veux pas discuter, dans ce travail, la question de l'utilité que peuvent avoir des exercices en grand sur la coupe des pierres et la coupe des bois; je me bornerai à indiquer l'opinion à laquelle j'ai été conduit par une étude attentive.

Je ne crois pas que l'on puisse établir avec avantage des travaux de ce genre dans une école qui n'aurait pas un caractère tout à fait industriel et à laquelle ne seraient pas annexés des chantiers permanents.

Je regarde comme très-utile de mettre des modèles entre les mains des élèves, mais je n'attache que peu d'importance à la taille de petits morceaux de bois ou de plâtre. Prony prescrivait de semblables exercices; ne voulant pas engager une discussion sur ce sujet, j'ai cru inutile de reproduire la partie de son programme qui y est relative.

Je suis convaincu que les élèves se familiariseront promptement avec les procédés pratiques du trait, si, après avoir reçu les explications qu'un professeur peut leur donner à l'amphithéâtre, ils ont des facilités pour suivre des travaux de construction dans leurs détails; tous les autres moyens d'instruction me paraissent insuffisants.

procédés d'exécution, il en est très-différent. Il n'y a pas d'art dans lequel la Géométrie ait été employée avec autant de succès; il n'y en a pas dans lequel on fasse autant de sacrifices à la loi de continuité; et, quelque extraordinaire que cela paraisse, on peut dire que la meilleure école préliminaire pour l'Architecture est l'étude de l'Art de la Charpenterie: il est, pour ainsi dire, une application continuelle des principes rigoureux de la Géométrie aux règles flexibles des convenances de plusieurs genres. »

Il me semble résulter de la première phrase, et même de tout le passage, qu'en disant « l'Art de la Charpenterie » Monge veut désigner *la coupe des bois*. Je trouve fort remarquable l'appréciation qu'il fait du trait de charpente considéré en lui-même; mais si, comme je le pense, il a entendu que la coupe des bois doit être enseignée avant toutes les autres parties de l'Architecture, je ne peux voir dans cette proposition qu'une assertion complètement gratuite.

La loi de continuité est évidente dans certains traits de la Charpenterie [*], mais j'avoue que je ne saisis pas bien son application à l'Architecture, même après avoir étudié les explications données par Eisenman sur ce sujet. (*Journal de l'École Polytechnique*, 3^e cahier.)

DESSIN GÉOMÉTRIQUE.

53. J'ai dit (art. 16) que diverses personnes regardent la connaissance du trait comme assez peu utile aux ingénieurs. Une opinion du même genre, mais moins répandue, existe, je crois, à l'égard du dessin. Je vais reproduire quelques lignes écrites par Navier sur cette question.

« M. Bruyère, qu'assurément personne n'accusera de n'avoir pas une idée juste de l'esprit que les ingénieurs doivent apporter dans l'exercice de leur profession, pensait qu'ils devaient former leur goût dans une étude assidue des arts du dessin, et se maintenir, comme il l'a fait lui-même, jusqu'aux derniers instants de sa vie, dans l'habitude d'exprimer leurs idées et d'en étudier les combinaisons par le moyen du dessin; méthode d'investigation bien plus puissante que celle qui

[*] Je crois que la *continuité* dont parle Monge est la disposition géométrique qui a pour expression, en Charpenterie, la *loi des homologues*. (Voir Emy, t. I, p. 496 et suiv.)

consisterait à se borner à une simple contemplation intellectuelle. Ajoutons que tous les ingénieurs qui ont acquis de la réputation en France dans le dernier siècle, MM. Perronet, de Cessart, Gauthey, ont agi d'après les mêmes principes, ainsi que les ingénieurs anglais les plus célèbres. » (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1833, 2^e semestre.)

Je m'occuperai des différents modes de dessin géométrique. Le dessin pittoresque et le lavis sont utiles à l'ingénieur, mais ils ne rentrent pas dans le cadre de cette étude.

Perspective.

34. Le trait de Perspective comprend tous les tracés qui servent à établir, sur un plan, la projection conique d'un objet donné dans les conditions nécessaires pour obtenir une bonne représentation; à faire sur cette projection les diverses constructions utiles dans le dessin, notamment la détermination des ombres; enfin à revenir d'une perspective aux figures géométrales, lorsque cela est possible. Les tracés des bas-reliefs dépendent encore du trait de Perspective. Je ne parle pas des tableaux courbes, parce qu'en général on les obtient en craticulant d'après des perspectives planes.

Ces opérations constituent un art important, très-utile à l'architecte, qui sur des figures géométrales ne pourrait apprécier que d'une manière imparfaite les effets que produira l'édifice qu'il a projeté. Les saillies disparaissent sur une élévation; on cherche, il est vrai, à les rendre sensibles, par des traits ressentis ou par des ombres, mais ces deux procédés sont insuffisants. D'un autre côté, dans le dessin ordinaire de l'Architecture, les diverses parties d'un édifice sont représentées sur des élévations distinctes, et, quand il y a des différences entre les décorations de deux façades contiguës, ce qui arrive souvent, on prévoit difficilement les contrastes et les harmonies qui se produiront dans une vue oblique.

35. En Perspective, l'exactitude relative doit être surtout recherchée. On peut, sans grand inconvénient, augmenter ou diminuer les dimensions d'un perron ou même le déplacer légèrement, mais les arêtes parallèles doivent converger vers un même point, et il est essentiel que les hauteurs des marches d'une part et leurs girons de

l'autre correspondent à des longueurs égales. Quand on dessine une arcade, l'œil n'aperçoit pas les petits défauts que peuvent avoir les courbes des deux têtes; mais il est choqué si ces lignes ne représentent pas dans l'espace des arêtes identiques.

La perspective des moulures a une grande importance; car, dans l'étude d'un édifice considérable, il est essentiel que l'architecte puisse apprécier l'effet que l'ornementation produira de différents points de vue. Or les lignes d'une corniche sont très-rapprochées les unes des autres, et des erreurs même peu considérables dans leurs positions relatives en perspective modifieraient d'une manière sensible la modénature.

D'après cela, pour que l'on obtienne de bons résultats, le trait doit présenter des constructions *bien liées*, c'est-à-dire telles qu'en général chacune des petites erreurs que l'on commet quand on opère rapidement déplace simultanément tous les points d'un groupe, et non pas un seul d'entre eux.

Il est ensuite à désirer que l'on ait des vérifications dans le cours du travail, pour que les inexactitudes soient promptement reconnues.

Les figures géométrales qui servent à l'établissement d'une perspective ont souvent des échelles différentes. Quelquefois certains détails d'une façade sont donnés à une échelle plus grande que l'élévation générale. Les tracés doivent pouvoir s'accommoder sans effort à ces diverses circonstances.

On voit que le trait de Perspective présente des difficultés d'une nature assez délicate. En Stéréotomie, les données sont toujours introduites de la même manière; on opère par épures régulières et sinon constamment rigoureuses, du moins complètement géométriques: les opérations graphiques de ces deux arts sont dans des conditions très-différentes.

36. Quand Monge s'est occupé de la Perspective, le trait de cet art n'avait pas atteint le degré de perfection et d'unité auquel celui de la coupe des pierres était parvenu; mais cependant plusieurs problèmes difficiles avaient été résolus. Ainsi l'on trouve de bons tracés pour la détermination directe des ombres sur un tableau, dans le Traité écrit en 1642 par un Parisien de la Compagnie de Jésus. L'ouvrage de Jeurat, qui est de 1750, donne, de plus, la construction des images par réflexion

dans divers cas, et la détermination du contour apparent d'une surface, comme enveloppe des perspectives de ses lignes génératrices [*].

Monge, ayant érigé le trait de la coupe des pierres en trait universel, devait naturellement l'appliquer à la Perspective. Nous possédons de lui sur cette question un Mémoire qu'il a composé à Mézières [**], une leçon recueillie et publiée par Brisson et les épures de la Collection de l'École Polytechnique.

Lorsqu'un objet est déterminé par des figures géométrales, on peut par les procédés ordinaires de la Géométrie descriptive construire sa perspective sur un plan donné et pour un point de vue connu. Les tracés doivent être faits avec une grande exactitude, parce qu'ils manquent de ce genre de précision d'ensemble dont j'ai parlé à l'art. 35. Ils présentent d'ailleurs des difficultés d'une nature spéciale.

Presque toujours, dans le dessin d'un édifice, on représente deux façades. Or chacune d'elles est donnée par une élévation distincte: il faut en conséquence, pour établir une perspective, considérer des projections sur un plan horizontal et deux plans verticaux. Souvent le tableau n'est perpendiculaire à aucun de ces derniers.

Comme, d'ailleurs, le point de vue se trouve ordinairement en dehors de la feuille de dessin, et que les figures géométrales sont quelquefois à des échelles différentes, la méthode conduit à des tracés très-pénibles, dans la plupart des applications sérieuses. Il n'est pas possible de l'employer, quand on veut déterminer directement, sur un tableau, des ombres, des images par réflexion, des intersections de voûtes, etc. Enfin elle ne donne aucun procédé pour restituer les figures géométrales d'un objet, d'après sa perspective.

37. Les disciples de Monge ont développé sa méthode de Perspective; mais plusieurs d'entre eux en reconnaissaient les inconvénients.

En 1807, Hachette a publié, sur la *Méthode des points de concours*, c'est-à-dire sur l'ancien trait, un article qui contient le passage suivant :

« Dans l'enseignement de cet art (l'Architecture) tel qu'il se fait à

[*] Il est possible que l'on trouve ces traits dans des ouvrages plus anciens. Je n'affirme rien à cet égard.

[**] On doit la connaissance de ce travail à Olivier, qui l'avait trouvé dans les Archives de l'École de Metz (*Application de la Géométrie descriptive*, p. 161).

l'École Polytechnique, on emploie les dessins géométraux pour la composition des monuments, et l'on fait sentir aux élèves l'utilité des dessins perspectifs pour juger de l'effet des compositions. Il serait donc à désirer que ceux de Messieurs les élèves qui désirent cultiver plus particulièrement l'Architecture connussent les méthodes de perspective plus faciles et moins longues que la méthode générale qui est l'objet d'une partie de mon *Cours de Géométrie descriptive*. Je me suis proposé de leur faire connaître la méthode *des points de concours*. Les auteurs des Traités de Perspective l'ont bien indiquée, mais mon objet est d'éviter à nos élèves la lecture longue et pénible des livres qui ont été écrits sur cette matière, et de leur faire voir comment cette méthode pratique se déduit de nos principes de Géométrie aux trois dimensions. » (*Correspondance sur l'École Polytechnique*, vol. I, p. 313.)

Après avoir lu ce passage, on se demande pourquoi on n'enseignait pas à tous les élèves la *méthode pratique*, celle qui était *la plus facile et la moins longue*.

38. Vallée émet des opinions analogues à celles de Hachette, et les appuie de considérations très-judicieuses. En parlant de la méthode de Perspective par les procédés de la Géométrie descriptive, il dit :

« Elle est simple, facile à se mettre dans la mémoire, et la seule qui soit applicable aux tableaux courbes [*].

» Mais elle n'est pas sans inconvénients : elle exige, quand le point de vue est éloigné, des constructions très-étendues; elle donne une ligne droite par le moyen de points qui se construisent un à un, ce qui rend les petites erreurs inséparables de chaque opération, souvent très-préjudiciables à l'effet du résultat; enfin on ne peut s'en servir facilement qu'en construisant préalablement des projections de l'objet sur lesquelles le tableau soit représenté d'une manière extrêmement simple.

» Ce dernier inconvénient est surtout très-grave.... » (*Science du dessin*, art. 217.)

Il est assez remarquable de voir une méthode aussi sévèrement critiquée par les auteurs mêmes qui l'exposent et la développent.

Les observations de Vallée, sur les petites erreurs qui deviennent

[*] J'ai déjà dit que l'on construit les perspectives sur tableaux courbes, en craticulant d'après des perspectives planes.

très-préjudicables à l'effet du résultat, confirment les observations que j'ai présentées à l'article 35.

39. Les idées de Monge sur la Perspective n'ont pas pénétré dans les Écoles de dessin ni dans les ateliers des artistes. Plusieurs auteurs ont publié des ouvrages dans lesquels l'ancien trait est exposé et appliqué à de nouveaux problèmes, notamment à la représentation des objets éloignés, question importante, dans laquelle les tracés ordinaires ne donnent pas une exactitude suffisante. L'art de la Perspective a ainsi continué de progresser dans notre pays.

Les établissements peu nombreux dans lesquels la méthode par la Géométrie descriptive a été adoptée n'ont pas obtenu, je crois, des résultats bien avantageux. Les élèves ont appris à discuter les formes singulières que présentent les cônes circonscrits aux surfaces, mais ils ne se sont pas familiarisés avec les tracés pratiques [*].

Les conséquences sont faciles à apprécier.

Les ouvrages écrits sur l'Art des constructions dans le dernier siècle contiennent, en général, des perspectives qui en facilitent beaucoup l'étude [**), et l'on ne trouve plus que des figures géométrales dans les ingénieurs de l'école de Monge.

La photographie ramène les perspectives; elle rend de grands services, mais on ne peut l'employer que pour représenter un objet qui existe, vu d'un point dont l'accès est facile.

La perspective par le trait permet seule à un ingénieur d'apprécier et de faire facilement comprendre le caractère et les dispositions de l'édifice qu'il a projeté, et de dessiner l'édifice qu'il a construit, du point de vue (accessible ou inaccessible) d'où l'on en saisit le mieux l'ensemble et les principaux détails.

40. La Perspective ne doit pas être séparée du Dessin. La recherche

[*] Dans les exercices que présentent certains auteurs, on trouve les procédés de Monge combinés avec l'ancien trait. Les tracés ainsi obtenus ne mériteraient quelque attention que s'ils formaient une méthode, ce qui n'est pas.

Je crois que le seul résultat de ces tentatives a été de jeter de la confusion dans l'esprit des élèves.

[**] Voir Régemortes, Cessart, Perronet, Pitrou, etc.

de la *distance* la plus convenable dans chaque cas, la discussion des apparences qu'un même tableau présente à divers spectateurs, l'étude des dérogations qui peuvent être nécessaires doivent, je crois, tenir une place importante dans l'enseignement. On ne peut apprécier des tracés que lorsqu'on s'est rendu compte des erreurs que l'œil reconnaît le plus facilement. Je pense, par suite, qu'il y aurait de graves inconvénients à considérer la Perspective comme une simple branche de la Géométrie.

Cela paraît cependant avoir été fait à l'École Polytechnique; car on lit dans les *Développements*: « Elle (la Perspective linéaire) est entièrement du ressort de la Géométrie descriptive; les règles générales en sont simples; on peut facilement les apprendre dans un jour et se les rendre familières dans un mois ».

Je crois qu'il est plus difficile que ne le pensait Monge d'apprendre la Perspective. Il ne suffit pas de connaître les principes d'une bonne méthode, il faut encore en faire des applications variées et assez nombreuses. Si l'on voulait que cet art fût connu des ingénieurs, on devrait demander aux élèves de joindre aux figures géométrales, et suivant les circonstances, des vues de différents genres (de front, obliques, à vol d'oiseau, cavalières), dans leurs exercices d'Architecture et de Construction [*].

Les hommes qui embrassent la carrière d'ingénieur sont laborieux et intelligents. Ils peuvent tous apprendre le dessin géométrique, qui n'exige pas, comme le dessin pittoresque, un sentiment artistique développé. Si sur ce point leur instruction laisse à désirer, c'est que l'enseignement est défectueux.

[*] Dans l'enseignement établi par Monge, on demandait aux élèves une série d'efforts sur différents sujets que l'on abandonnait ensuite entièrement (*voir les Développements*). Tous les Arts graphiques étaient compris dans un cours de la première année, et dans la suite des études on ne devait plus parler du trait (art. 15, note). Après un mois, l'enseignement de la Perspective était considéré comme complet; de même pour les ombres, etc. Je crois que cette méthode présente de graves inconvénients. Il s'agit ici beaucoup moins de la quantité de travail à demander aux élèves que de sa répartition.

Perspective cavalière.

41. Les machines, les voussoirs, les pièces de charpente en fer ou en bois ont quelquefois des formes compliquées, dont on doit se rendre un compte exact et que les figures géométrales n'indiquent pas d'une manière suffisamment claire.

Pour cette étude des formes, les anciens architectes employaient souvent le mode de projection oblique, connu sous le nom de *Perspective cavalière*. La Rue en donne des exemples remarquables : sur chacune des planches de son *Traité de coupe des pierres*, il a placé de belles perspectives qui représentent des voussoirs dont la taille est parvenue à divers degrés d'avancement. Les lignes de front sont à l'échelle des figures géométrales, et les lignes fuyantes ne sont pas réduites. Ces dispositions rendent les comparaisons très-faciles.

Un *Traité des Ombres*, provenant de Mézières et publié par Olivier, qui l'avait trouvé dans les archives de l'École de Metz, nous apprend que, sur les épures de charpente de l'ancienne École du Génie, on avait employé avec succès la Perspective cavalière, pour indiquer la forme des pièces (*Applications de la Géométrie descriptive*, p. 9).

42. Monge et ses disciples n'ont rien écrit sur la Perspective cavalière, mais, en fait, ils la repoussaient [*].

Les épures de Stéréotomie de la collection de l'École Polytechnique ont été extraites de l'ouvrage de La Rue et des cahiers manuscrits de l'École de Mézières [**]. Ces dessins portaient les uns et les autres des perspectives cavalières; elles furent toutes supprimées. On tâchait de suppléer par des modèles au manque de clarté des épures.

Les reliefs sont certainement utiles pour les études de Stéréotomie, mais dans un amphithéâtre ils présentent de graves inconvénients : afin de rendre les voussoirs maniables, on est obligé de les réduire

[*] Quelques auteurs de l'école de Monge ont employé, dans diverses circonstances, des figures qui ont une apparence de Perspective cavalière, mais ils ne font pas connaître les tracés à l'aide desquels ils les ont établies, et l'on peut douter qu'ils se soient assujettis à une règle précise.

On trouve des figures de ce genre dans la *Géométrie descriptive* de Monge.

[**] Voir la préface de la *Géométrie descriptive* de Hachette.

considérablement, et alors quelques-unes de leurs parties deviennent trop petites pour être facilement distinguées par tous les auditeurs. Il est d'ailleurs quelquefois difficile de saisir la concordance des diverses arêtes du modèle avec les lignes de l'épure, par suite de la différence des proportions.

Lorsqu'un professeur établit géométriquement des perspectives cavalières en expliquant les tracés, il fait comprendre à la fois l'agencement des différentes faces du voussoir, l'ordre des opérations de la taille et l'emploi de figures spéciales pour discuter des formes compliquées.

43. Le rejet de la Perspective cavalière me semble être une conséquence naturelle de la doctrine de Monge.

Ce mode de dessin a un trait qui lui est propre. Le trait de la coupe des pierres étant érigé en trait universel, il fallait ou abandonner la Perspective cavalière, ou en faire tous les tracés par les procédés généraux de la Géométrie descriptive, ce qui introduisait une complication extrême. Le choix ne pouvait être douteux.

De nouveaux modes de perspective rapide qui, dans mon appréciation, ne présentent pas autant d'avantages que la Perspective cavalière, se sont répandus depuis un certain nombre d'années en Angleterre et en Allemagne. Les ingénieurs de ces pays savent en tirer un excellent parti.

La Perspective conique est préférable sans doute à tout autre mode de dessin, quand on veut apprécier l'effet que produira un édifice; mais, lorsqu'on se propose seulement d'étudier l'agencement des différentes pièces d'une machine ou des parties d'une construction, une figure cavalière me paraît plus avantageuse, parce qu'on l'établit facilement et qu'elle peut être accompagnée d'une échelle.

Représentations ombrées.

44. La détermination des ombres dépend du trait spécial du dessin sur lequel on opère. Les procédés de la Géométrie descriptive s'appliquent immédiatement au tracé des lignes d'ombre sur les figures géométrales. Pour un tableau, il faut recourir au trait de Perspective.

Dans le dessin géométral, les ombres sont employées pour suppléer à l'insuffisance des indications que fournit une figure considérée isolément, et en rendre l'intelligence plus facile.

Ce résultat n'est pas obtenu quand les objets ont des formes compliquées : le tracé des ombres est alors laborieux et il devient difficile de les interpréter.

Quelques dessinateurs ne représentent pas toutes les ombres portées. Je comprends bien qu'on puisse modifier légèrement les contours obtenus lorsqu'ils ont une forme bizarre; mais une convention par laquelle on indique certaines ombres, tandis qu'on en supprime d'autres qui sont tout aussi apparentes, ne me semble satisfaisante sous aucun rapport. Après avoir étudié un grand nombre de dessins, je suis arrivé à conclure qu'il est convenable de ne marquer les ombres que lorsqu'on peut le faire d'une manière rationnelle, sans introduire de la confusion.

L'école de Monge a adopté l'emploi des figures géométrales ombrées, sans doute parce que dans ce mode de dessin les tracés sont de simples applications des procédés ordinaires de la Géométrie descriptive.

Dans la Perspective cavalière, les ombres se développent sur les différents plans de front et ne produisent, en général, aucune confusion.

Une grande exactitude n'est jamais nécessaire dans les problèmes d'ombre, et les tracés réellement utiles sont simples, au moins lorsqu'on opère sur des figures géométrales ou cavalières.

45. Monge s'est occupé de la direction qu'il convient de donner aux tailles, qui, dans la gravure en taille-douce, servent à exprimer les ombres et le modelé. Il affirme que les contours les plus propres à donner une idée de la courbure d'une surface sont les projections de ses lignes de courbure. Le célèbre géomètre n'a présenté, du reste, aucun raisonnement à l'appui de son assertion.

Les intensités relatives des teintes aux différents points d'un corps dépendent non-seulement de la forme de la surface, mais encore de sa position par rapport au spectateur, et de la direction des rayons de lumière. D'après la loi de Monge, ces deux dernières circonstances pourraient influencer sur la largeur et l'espacement des tailles, mais non sur leur forme. Il me semble que l'on ne devrait accorder quelque attention à un semblable résultat, si les disciples du grand géomètre en avaient donné une explication plausible, ou une vérification d'après les œuvres des bons artistes.

Je crois que l'article de Monge n'a eu aucune influence sur l'art de la Gravure, mais on le reproduit encore dans des ouvrages didactiques, ce que je regarde comme regrettable.

ARTS GRAPHIQUES DIVERS.

46. J'ai adopté dans ce Mémoire l'expression d'*Arts graphiques* parce qu'elle est employée, mais je la trouve assez impropre; elle correspond à l'idée d'après laquelle des arts ayant tous une partie graphique plus ou moins importante, et d'ailleurs de natures très-diverses, avaient été compris dans le cours de Géométrie descriptive de l'École Polytechnique [*].

Cette disposition offrait, je crois, l'inconvénient de donner dans l'enseignement un rôle trop considérable à la Géométrie. La Gnomonique et la Géographie ne se présentent pas avec le même caractère lorsqu'on les regarde comme des branches de la Géométrie descriptive ou comme des dépendances de l'Astronomie et de la Géodésie.

La Géographie emploie plusieurs modes de projection, et chacun d'eux a un trait particulier. On ne voit pas bien comment on pouvait rattacher tous ces traits à celui de la coupe des pierres, suivant la conception de Monge.

Je ne veux pas présenter ici une étude sur l'enseignement de la Géographie et de la Gnomonique, parce que ces sciences, considérées au point de vue des opérations graphiques, ne sont pas utiles à l'ingénieur pour ses travaux ordinaires.

Par suite des progrès de l'horlogerie et du développement de la télégraphie électrique, les cadrans ont perdu une grande partie de leur importance. On n'enseigne actuellement la Gnomonique que dans un petit nombre d'établissements, et partout, je crois, on l'a rattachée à l'Astronomie; c'est là sa véritable place.

[*] On lit dans le programme du cours de *Géométrie descriptive pure*, annexé au Rapport du Conseil de perfectionnement, du 3 nivôse an IX : « Cette partie de la *Géométrie descriptive* comprendra les principes, la Coupe des pierres, la Charpente, les Ombres, la Perspective, la Géométrie, le Lavis, la Géographie, la Gnomonique et l'application de l'Analyse à la Géométrie des trois dimensions.

On a également séparé de la Géométrie descriptive, avec beaucoup de raison, la Géographie et le Lavis, qui y étaient compris dans l'organisation de Monge.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

47. Je crois avoir établi qu'on ne doit pas résoudre par une même méthode les problèmes que présentent les différents arts graphiques; mais, l'idée d'un trait universel étant rejetée, il reste à rechercher si l'enseignement de chaque art doit être divisé en deux parties comprenant: la première, l'exposition abstraite du trait, et la seconde son application.

J'examinerai d'abord cette question pour la coupe des pierres.

Par suite des travaux de Monge et de Lacroix, la partie géométrique de la Stéréotomie proprement dite [*] est extrêmement simplifiée. La coupe des pierres, réduite pour les tracés à une description des appareils, peut être séparée de la Géométrie et rattachée à la Construction. Ce résultat serait, je crois, très-avantageux.

Si l'enseignement de la Stéréotomie doit rester purement géométrique, l'exposition préalable du trait ne me paraît pas très-utile. Ce mode d'enseignement permet, il est vrai, de discuter sur un petit nombre de questions les diverses combinaisons graphiques que les tracés peuvent offrir, mais il présente en lui-même bien plus de difficultés. Lorsqu'on s'occupe directement des appareils, plusieurs des parties les plus importantes de l'épure sont d'une évidence intuitive. Ainsi un commençant conçoit immédiatement ce que sont le plan et l'élévation d'une voûte, et comment on peut établir ces deux figures sur une même feuille, tandis qu'on est obligé de recourir à de minutieuses explications pour faire comprendre le rabattement du plan vertical sur le plan horizontal.

[*] Autrefois l'expression de Stéréotomie ne désignait pas seulement la coupe des pierres et des bois, mais aussi le trait considéré en lui-même (*Voir* Frézier, La Rue, etc.). Cette signification a été conservée pendant quelque temps après les travaux de Monge. Ainsi Hachette et Prony parlent de la « Stéréotomie appliquée aux ombres et à la perspective. »

48. Ce que je viens de dire concerne l'enseignement dans les écoles. Je crois que, lorsqu'on s'adresse à des tailleurs de pierres, il est toujours préférable de laisser de côté la Géométrie descriptive et d'expliquer les tracés de la Stéréotomie aussitôt après avoir fait connaître les principaux théorèmes de la Géométrie du plan et de l'espace. Les ouvriers ont, en effet, quelquefois de la peine à saisir les abstractions; comme d'ailleurs ils connaissent les constructions, il n'y a aucun motif de retarder pour eux l'enseignement de la Stéréotomie.

On suit souvent une marche différente de celle que je viens d'indiquer, mais je doute que les résultats soient bien satisfaisants.

Vallée a écrit, en 1853 : « Les arts qui tiennent au dessin linéaire, à la perspective, aux ombres, ont fait d'immenses acquisitions...; mais nous avons à regretter, il faut le reconnaître, quelques bonnes pratiques qui s'exerçaient autrefois par le compagnonnage.... Aussi, depuis la suppression des maîtrises, ne s'est-il formé que peu d'appareilleurs aussi instruits que ceux que l'on avait auparavant. » (*Spécimen de la coupe des pierres*, p. 120, 121.)

Vallée était un des disciples les plus dévoués de Monge; il avait eu une carrière très-active dans les Ponts et Chaussées, et, par suite, il connaissait bien les chantiers. J'attache beaucoup d'importance à son témoignage sur la diminution du nombre des bons appareilleurs, pendant que la Géométrie descriptive se répandait de plus en plus.

La constitution de cette branche de la Géométrie a coïncidé avec la suppression des maîtrises. Il est difficile d'apprécier l'influence de chacune de ces deux circonstances dans les résultats obtenus. Je n'ai pas à m'occuper des maîtrises en elles-mêmes, mais je crois que les méthodes adoptées pour l'instruction dans le compagnonnage ne sont pas à dédaigner. Je suis convaincu qu'au lieu de fatiguer les ouvriers par des études abstraites, comme on le fait quelquefois, il vaut mieux leur expliquer les tracés des voûtes qu'ils construisent.

La question a de l'importance : si d'un côté les ingénieurs s'occupent seulement des grands problèmes de l'Architecture (art. 16), et que de l'autre les méthodes suivies pour l'instruction des ouvriers ne produisent pas de bons appareilleurs en nombre suffisant, l'art des constructions souffrira évidemment.

Ces observations concernent exclusivement la coupe des pierres; la

charpenterie n'a jamais manqué de bons contre-mâîtres, parce que les tracés étant faits, non dans des salles d'épure, mais sur le chantier même, sous les yeux des ouvriers, ceux d'entre eux qui ont de l'intelligence et de l'application sont bientôt familiarisés avec le trait.

49. Jusqu'à présent les différents tracés de la Perspective et leur application ont été exposés dans les mêmes ouvrages. Cette méthode me paraît bonne. Si l'on présentait une étude abstraite du trait de Perspective dans son ensemble, il serait à craindre que cette Géométrie ne reçût peu à peu des développements qui seraient sans utilité pour la pratique et qui surchargeraient l'enseignement.

Les perspectives rapides ne présentent pas de tracés difficiles. Lorsque les élèves ont étudié la Géométrie descriptive, on peut leur exposer brièvement tout ce qu'il y a d'utile dans ces divers modes de représentation en faisant ressortir leurs différences.

50. En résumé, je crois que, pour enseigner un art graphique, il n'est nullement nécessaire d'en exposer d'abord le trait; mais que cette méthode présente des avantages certains, lorsqu'on s'adresse à des hommes habitués aux considérations abstraites; elle permet, notamment, de dégager de la Géométrie l'exposition de l'art, de manière que ses conditions essentielles restent plus apparentes. D'un autre côté, on peut craindre qu'un trait étant séparé de l'art auquel il se rapporte, on ne lui donne dans l'enseignement une extension peu utile. Dans tous les cas, il importe de faire remarquer aux élèves que la coordination des tracés d'une même méthode graphique ne constitue pas une création, et que les personnes qui veulent bien connaître le trait doivent remonter aux sources et lire les anciens ouvrages.

Les disciples de Monge étaient dans des idées très-différentes.

51. Il n'est pas sans intérêt de rappeler comment le grand géomètre appréciait son enseignement. En parlant des leçons qu'il avait données à l'École Polytechnique, au commencement de l'an IV, il dit : « Dans le Cours préliminaire, on a eu occasion, pour la Stéréotomie elle-même, comme pour toutes les autres parties de l'enseignement, de développer plusieurs idées neuves, générales et fécondes; en sorte que ce Cours, considéré dans toutes les parties qui l'ont composé, a été réellement une

des choses extraordinaires que la Révolution a produites en si grand nombre. » (*Journal de l'École Polytechnique*, cahier I, p. 10.)

Les élèves partageaient cet enthousiasme calme; ils croyaient que les Arts graphiques ne présentaient avant Monge qu'incertitude et confusion, et ils pensaient avoir des méthodes et des principes propres à lever toutes les difficultés.

Ainsi, après avoir présenté sur la Perspective quelques considérations des plus élémentaires, Brisson ajoute : « Ces diverses observations suffisent pour mettre les personnes qui sont au courant de la Géométrie descriptive en état d'abrèger, dans un grand nombre de cas, et de simplifier beaucoup les opérations qu'exige la pratique de la Perspective linéaire. »

Les élèves de Monge ne traitent pas l'ancienne Stéréotomie mieux que l'ancienne Perspective. Cependant, sans sortir de Paris, on peut voir un grand nombre de constructions qui datent des xvii^e et xviii^e siècle, et indiquent un art très-avancé. Nos bibliothèques contiennent une série de bons ouvrages sur la coupe des pierres et la coupe des bois, à partir du *Traité d'Architecture* de Philibert de l'Orme. Quelques-uns des anciens traits ont dû être corrigés; mais ces améliorations sont d'une importance secondaire, et les seuls progrès considérables de la Stéréotomie consistent dans des appareils pour des constructions d'un genre nouveau.

Desargues, qui vivait dans le xvii^e siècle, a résolu les problèmes les plus difficiles comme mécanisme de projection.

En 1728, l'architecte de La Rue a employé le trait de la coupe des pierres pour diverses questions de Géométrie, telles que l'intersection du cône et du cylindre oblique par un plan, le développement de ces surfaces, le tracé des courbes transformées, etc.

Leroy ne connaissait probablement pas ces travaux, lorsqu'en parlant du livre de Frézier, dont le premier volume n'a été publié qu'en 1737, il a écrit : « Cet ouvrage, qui eut un grand succès à l'époque où il parut, mérite bien encore d'être étudié; et pour conserver à Frézier la part qui lui revient dans les progrès de la Science, il est juste de faire remarquer qu'il employait déjà les projections horizontales et verticales pour définir les voussours. » (*Traité de Stéréotomie, Avertissement.*)

Frézier employait ces projections comme tous les auteurs qui ont écrit sur la Stéréotomie avant ou après lui. On ne connaît pas d'autre méthode pour les tracés de la coupe des pierres.

Je ne peux du reste que me joindre à l'opinion de Leroy sur le mérite de Frézier. Ce savant ingénieur a donné l'explication géométrique de tous les traits et même de la *manière* de Desargues, qui n'avait pas été comprise par ses contemporains; il a corrigé plusieurs inexactitudes dans les tracés adoptés; enfin on lui doit la solution de diverses questions très-déliées que La Rue n'avait pas abordées, notamment la détermination des points d'inflexion de la transformée par développement de la base d'un cône oblique.

Si Olivier avait suivi le sage conseil de Leroy, s'il avait lu les observations de Frézier sur la manière de Desargues, il n'aurait pas proposé le changement des plans de projection, comme procédé général de solution pour les problèmes de la Géométrie descriptive, sans chercher à réfuter les critiques dont cette méthode avait été l'objet [*].

CONCLUSION.

52. Lorsqu'on examine les premiers documents relatifs à l'École Polytechnique, on voit que ses fondateurs regardaient les Arts graphiques comme ayant pour l'ingénieur une importance extrême, et qu'ils voulaient donner à leur étude une vive impulsion.

Sous tous les autres rapports l'École Polytechnique a largement répondu aux espérances que sa création avait fait naître; mais, dans ma conviction, le but spécial que je viens d'indiquer n'a pas été atteint. Comme d'ailleurs beaucoup d'établissements d'instruction ont adopté les méthodes introduites par Monge dans cette École célèbre, mes observations concernent d'une manière générale l'état des Arts graphiques, dans notre pays, pour tous les travaux de la Construction et de l'Industrie.

On remarque sur divers points des indices d'une utile réaction contre les idées de Monge, mais la situation est toujours à peu près la même pour la Stéréotomie: on parle encore quelquefois avec éloge des

[*] J'ai examiné cette question dans l'Avant-Propos de mon *Traité de Géométrie descriptive*.

lignes de courbure, et beaucoup de personnes pensent que la coupe des pierres et la coupe des bois doivent être enseignées avant les premiers éléments de l'Architecture. Je crois même voir une tendance à abandonner les petites modifications qui ont pu être faites dans le sens des idées de Prony.

Il importe de savoir si la coupe des pierres appartient à la Géométrie pure ou à l'Art des maçonneries. Dans sa session de l'an IX, le conseil de perfectionnement de l'École Polytechnique a prononcé sans donner aucune explication, et la question est restée au point où l'a laissée la protestation de Prony.

Une opinion soutenue par celui qui, d'après Arago, était en France « la personnification de l'Art de l'ingénieur » mérite d'être examinée.

Je sais que Prony n'a pas recommencé la lutte, bien qu'aux deux réorganisations de l'École Polytechnique, dans les années 1816 et 1830, les circonstances pussent paraître favorables sous un certain point de vue; mais il est facile d'expliquer son silence.

En 1816, l'École, création d'une assemblée révolutionnaire, était discutée, et il y avait de la sagesse à ne pas soulever des difficultés sur son enseignement. Ensuite Prony était en disgrâce [*].

En 1830, Prony faisait partie de la Commission de réorganisation. J'ignore le langage qu'il y a tenu : il parcourait sa soixante-seizième année, et se trouvait en présence de disciples de Monge qui ont sans doute défendu l'œuvre de leur maître, si elle a été attaquée.

La situation d'ailleurs s'était bien modifiée. Il ne s'agissait plus de maintenir et de développer une bonne méthode; il eût fallu réagir contre des idées acceptées et des habitudes prises.

J'ai cherché si l'on pourrait trouver quelque indication sur la pensée de Prony dans la manière dont le souvenir de son opposition au mode d'enseignement établi par Monge a été conservé.

Les deux éditions des discours de l'an VII et de l'an VIII (art. 5 et 7) sont dans le tome IV des *Opuscules*. Ce volume contient diverses pièces

[*] Prony, professeur à l'École Polytechnique depuis sa fondation, ne fut pas compris dans le corps enseignant établi pour cette École, par l'ordonnance du 5 septembre 1816. La démission de Legendre permit heureusement de le rappeler après un court délai (25 septembre).

Il était vivement blessé de l'injure qui lui avait été faite (*voyez* ARAGO).

de 1829, dont une de la fin de l'année (*Les paroles prononcées le 5 décembre sur la tombe de Lemaçon*).

On voit que Prony a arrêté au plus tôt en 1830 la composition du quatrième volume des *Opuscules* [*]. En insérant ses discours, et notamment la brochure de l'an IX, dans une collection qui devait attirer l'attention des ingénieurs, il voulait sans doute empêcher ces pièces de tomber dans l'oubli; il eût pu facilement les faire disparaître: je n'en connais aucun exemplaire en dehors de l'École des Ponts et Chaussées.

Je pourrais peut-être dire que Prony a affirmé sa protestation après 1829; je me borne à conclure qu'aucun indice ne donne lieu de supposer qu'il ait modifié son opinion dans la dernière partie de sa carrière.

Le temps a d'ailleurs apporté de nouveaux éléments à la discussion; il ne s'agit plus seulement de savoir quelles sont les véritables bases de l'art d'appareiller les voûtes, mais encore de rechercher quels résultats a donnés la méthode d'enseignement introduite par Monge il y a quatre-vingts ans.

Enfin je regarde comme nécessaire que l'œuvre de Monge pour l'enseignement soit examinée dans toute son étendue; non que je désire des changements brusques, ni même que je les croie possibles, mais parce qu'on ne pourra espérer des améliorations continues dans l'étude des Arts graphiques que si l'opinion des ingénieurs est fixée sur le but à atteindre.

[*] La pagination des quatre volumes et les tables des deux derniers sont de la main de Prony. La reliure a été faite après sa mort; on pense qu'elle remplace des cartonnages qui dataient de diverses époques. La place naturelle des discours de l'an VII et de l'an VIII était dans le premier volume, près du *Plan d'instruction*.

On ne trouve dans les *Opuscules* aucun écrit postérieur à 1830; ainsi on n'y voit pas le *Rapport sur un projet de barrages* que Prony a publié dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, en 1831 (1^{er} semestre).

D'après cela, on peut penser que le quatrième volume a été composé en 1830, ou au commencement de 1831. Ne serait-ce pas après un effort infructueux près de la Commission de réorganisation que Prony aurait pris la résolution de conserver les témoignages de sa lutte avec Monge?

Paris, 19 janvier 1874.

