



HAL
open science

**Pour une histoire de l'aménagement et de la
construction. Trois essais sur les figures structurantes de
la pensée technique**

Antoine Picon

► **To cite this version:**

Antoine Picon. Pour une histoire de l'aménagement et de la construction. Trois essais sur les figures structurantes de la pensée technique. [Rapport de recherche] 616/89, Ministère de l'équipement, du logement, des transports et de la mer / Bureau de la recherche architecturale (BRA); Ecole d'architecture de Paris-Villemin. 1989. hal-01906407

HAL Id: hal-01906407

<https://hal.science/hal-01906407>

Submitted on 26 Oct 2018

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

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

616
Antoine Picon

**Pour une histoire de l'aménagement et de la
construction**

**Trois essais sur les figures structurantes
de la pensée technique.**

Bureau de la Recherche Architecturale

Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme

Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports et de la Mer.

Octobre 1989.

Antoine Picon

**Pour une histoire de l'aménagement et de la
construction**

**Trois essais sur les figures structurantes
de la pensée technique.**

Bureau de la Recherche Architecturale

Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme

Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports et de la Mer.

Octobre 1989.

Le présent document constitue le rapport de fin d'études d'une recherche effectuée pour le compte du Bureau de la Recherche Architecturale, Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports et de la Mer. Les jugements et opinions émis par les responsables de la recherche n'engagent que leurs auteurs.

Introduction.

Les trois essais qu'on va lire font suite au rapport remis il y a deux ans au Bureau de la Recherche Architecturale sur les concepts généraux de l'histoire des techniques¹. Dans ce rapport intitulé *Pour une histoire de l'aménagement et de la construction Réflexions sur l'histoire des techniques*, nous soulignons l'intérêt d'une histoire des techniques distincte de celle des inventions et des procédés, une histoire qui conserve en même temps son autonomie vis-à-vis de l'histoire générale des faits socio-économiques. La construction de cette histoire demeure au centre de nos préoccupations. Elle nous paraît en effet susceptible de clarifier la question du progrès technique.

Si les inventions et les procédés constituent la mesure du progrès technique, ils ne permettent pas d'en appréhender tout le dynamisme. L'évolution menant des machines hydrauliques de l'âge classique aux moteurs d'aujourd'hui n'est pas le résultat d'un seul et même programme de recherche-développement régi par une sorte de nécessité naturelle à laquelle les inventeurs et les industriels du passé se seraient conformés les uns après les autres, sans toujours en avoir clairement conscience. Des lignées technologiques homogènes existent sans doute - des premières pompes à feu aux machines à vapeur du siècle dernier par exemple - mais des ruptures se produisent de temps à autre et des choix interviennent alors. Rendre compte de ces choix constitue l'une des tâches de l'historien des techniques.

X ¹ A. Picon, *Pour une histoire de l'aménagement et de la construction Réflexions sur l'histoire des techniques*, Paris, Ecole d'Architecture de Paris-Villemain, février 1987.

Ces choix sont parfois dictés par le contexte socio-économique dont nous ne songeons nullement à nier le caractère explicatif. Mais ce contexte ne saurait rendre compte à lui seul de certains mécanismes pourtant fondamentaux, comme la constitution et l'organisation des connaissances techniques. Contrairement à ce qu'affirme Terry Shinn², la mathématisation des savoirs de l'ingénieur à la charnière des XVIII^e et XIX^e siècles est difficilement réductible aux stratégies d'une corporation polytechnicienne qui recrute ses membres dans la bourgeoisie et qui est animée des mêmes ambitions qu'elle au sortir de la Révolution. Comme l'histoire des sciences, l'histoire des connaissances techniques se déroule selon des lignes de force et à un rythme qui échappent en partie aux déterminations sociales et économiques.

Une histoire des techniques distincte de celle des inventions et des procédés et autonome par rapport à l'histoire générale nous semble devoir être placée sous l'égide d'une notion de rationalité technique dont il nous faut dire quelques mots à présent. Intuitivement, la rationalité technique se rapporte à la conduite des acteurs de la production. On parle en effet de conduite rationnelle lorsqu'un acteur se conforme à des règles dictées par les connaissances dont il dispose sur le monde physique ainsi que par le diagnostic qu'il porte sur l'organisation existante du travail. Plus précisément, la rationalité d'une conduite réside dans l'ajustement qu'elle réalise à des fins d'efficacité entre les contraintes physiques et les prescriptions liées au mode de production dominant. Dans la définition de l'efficacité optimum comme dans le regard porté sur l'organisation existante du travail s'introduit bien entendu un élément subjectif dont il faut tenir compte³.

² Shinn T., "Des corps de l'Etat au secteur industriel: genèse de la profession d'ingénieur, 1750-1820", in *Revue française de sociologie*, vol. XIX, 1978, pp. 39-71, *L'Ecole Polytechnique 1794-1794*, Paris, Presses de la fondation nationale des sciences politiques, 1980.

³ Cette dimension subjective n'implique pas nécessairement un retour à la psychologie individuelle. Nous nous référons ici à des acteurs collectifs définis à partir de leurs critères de rationalité.

Ainsi envisagée, la notion de rationalité technique recouvre toute une série de comportements qui peuvent être assez différents les uns des autres, selon la position qu'occupent les acteurs concernés dans les processus de production. Ayant recours à des savoirs spécifiques, disposant de possibilités d'intervention assez étendues qui conditionnent son analyse de l'organisation du travail, l'ingénieur adhère par exemple à des critères de rationalité distincts de ceux qu'adoptent le contremaître ou l'ouvrier soumis à ses ordres. On peut parler à ce propos de rationalités dominantes et dominées, à condition de rester conscient des liens qui continuent à unir ces rationalités par delà leurs clivages. Car elles s'enracinent dans des représentations communes du monde physique et de l'organisation sociale du travail, représentations qui garantissent une compréhension minimale entre acteurs indispensable au bon fonctionnement de l'appareil productif⁴.

L'existence de cette compréhension minimale peut conduire à une seconde définition de la rationalité technique comme l'ensemble des évidences partagées par les acteurs de la production. D'une rationalité comportementale, on passe ainsi à une rationalité de système caractéristique d'un état moyen de la connaissance du monde physique et de l'organisation sociale du travail. En étendant encore la notion de rationalité, on peut enfin considérer l'ensemble des critères rationnels de conduite qui coexistent au sein d'un même appareil de production. Dans ce cas, la rationalité technique n'embrasse plus seulement les évidences partagées par les différents acteurs; elle exprime également leurs divergences⁵.

⁴ Sous cet angle, la rationalité technique caractérise l'engagement collectif des acteurs de la production. Elle peut s'assimiler au "paradigme" auquel adhèrent ces derniers, en prenant ce terme dans l'un des sens que lui donne T.-S. Kuhn: "l'ensemble de croyances, de valeurs reconnues et de techniques qui sont communes aux membres d'un groupe donné." T.-S. Kuhn, *La structure des révolutions scientifiques*, Chicago, 1962, trad. fr. Paris, Flammarion, 1983, p. 238.

⁵ La rationalité technique correspond dans ce cas au système formé par les différents projets de rationalisation en présence au sein de l'appareil de production. L'engagement collectif des techniciens ne saurait faire disparaître leurs rivalités. Sur le modèle de la

Les trois niveaux de rationalité précédents ont en commun de prendre en compte simultanément le contexte matériel, l'ensemble des inventions et des procédés disponibles et les stratégies des acteurs de la production. Cette prise en compte simultanée permet d'écrire une histoire des techniques, ou plutôt une histoire de la rationalité technique, distincte de celles des deux volets dont elle réalise l'articulation.

Il ne saurait y avoir de rationalité sans projet de rationalisation sous-jacent, que ce projet soit porté par un ou plusieurs acteurs, qu'il fasse l'objet d'un certain consensus ou qu'il se dégage au terme de conflits. Cette dimension du projet nous paraît essentielle à la compréhension des mécanismes du progrès technique. L'évolution des techniques se laisse aussi décrire comme une succession de projets, tantôt couronnés de succès, tantôt voués à une disparition rapide.

Les deux premiers essais de ce rapport représentent des contributions à l'histoire de la rationalité de l'ingénieur à la charnière des XVIII^e et XIX^e siècles. Consacré à la mathématisation des savoirs techniques dans les domaines de l'aménagement et de la construction au cours de la période s'étendant approximativement de 1750 à 1830-1850, le premier tente de cerner le projet de rationalisation qui sous-tend ce phénomène ainsi que les attitudes successives au travers desquelles il s'exprime. A la critique encore désordonnée des évidences traditionnelles de l'art de l'ingénieur caractéristique de la réflexion technologique des Lumières succèdent des débats révélateurs des enjeux de la mathématisation. Celle-ci participe d'une redéfinition très globale des rapports entre théorie et pratique dont on a cherché à rendre compte.

Le second essai est consacré à l'un des épisodes de ce processus de redéfinition dont il explore les multiples significations. Dans les dernières années du XVIII^e siècle, différents techniciens s'intéressent

"cité savante" chère à Bachelard, on peut imaginer une "cité technicienne" où la reconnaissance mutuelle s'accompagne de débats et d'affrontements parfois violents.

à l'analyse des idées, à cette "méthode de l'esprit humain" chère aux idéologues, Garat et Destutt de Tracy en tête. Certains comme Prony y voient un moyen de résorber l'écart qui se creuse entre théorie et pratique, entre la science naissante et l'art de l'ingénieur. Plus généralement, les préoccupations analytiques des Lumières participent d'un désir de maîtrise de la production qui atteint son paroxysme sous la Révolution avec les fabrications de guerre. Il convient de ne pas perdre de vue ce contexte en interprétant l'idéal analytique des ingénieurs dans les années 1780-1800.

Ces deux textes privilégient la rationalité des ingénieurs sur celle de leurs partenaires et sur celle du système dans lequel ils s'insèrent. A la charnière des XVIII^e et XIX^e siècles, cette rationalité prend un tel ascendant qu'elle semble acquérir une objectivité jusque là réservée aux seuls savoirs scientifiques. Sans nier l'efficacité des nouveaux outils conceptuels dont se dotent à l'époque les ingénieurs, on a voulu déconstruire l'objectivité apparente de leur démarche pour en restituer les ambitions véritables.

Le dernier essai propose une réflexion beaucoup plus générale sur la notion de rationalité technique. L'histoire de la rationalité technique pourrait bien se confondre avec celle des figures dans lesquelles elle s'incarne successivement: économies du savoirs, modèles et paradigmes dont l'enchaînement constitue à notre sens l'une des composantes essentielles du progrès. En nous inspirant de l'œuvre de Kuhn, nous avons en particulier tenté de définir une notion de paradigme technique opératoire par rapport à nos objectifs⁶.

De nombreux thèmes circulent entre l'étude de la mathématisation, celle de l'idéal analytique des ingénieurs des Lumières et la tentative de construction des figures structurantes de la pensée technique sur laquelle se clôt le présent travail. Tout d'abord, le changement de rythme radical que l'on qualifie généralement de Révolution

⁶ Voir notamment T.-S. Kuhn, *op. cit.*

industrielle se place au cœur de nos préoccupations. Presque toujours décrit sous l'angle de la succession des innovations ou en privilégiant les données socio-économiques immédiatement quantifiables⁷, il représente un défi adressé à l'histoire de la rationalité technique. Comment rendre compte en effet de son caractère brutal et surtout irréversible qui contraste avec la progressivité de la transformation des structures mentales? On peut toutefois penser que l'une des conditions des innovations en cascade auxquelles on assiste au début de l'ère industrielle réside dans l'apparition de nouveaux critères de rationalité. Il se pourrait ainsi que les projets de rationalisation des acteurs de la production, ingénieurs en tête, représentent un facteur essentiel de progrès et que le temps réversible des stratégies, des savoirs et des modèles débouche sur l'irréversibilité de la croissance.

Le passage progressif de l'âge classique à l'ère industrielle nous semble d'autre part marqué par l'émergence d'une attitude beaucoup plus analytique vis-à-vis des problèmes techniques. Au XVIII^e siècle, ce regard conserve une portée très générale, à l'instar de la définition de l'analyse donnée par Condillac: "L'analyse est (...) la décomposition entière d'un objet, et la distribution des parties dans l'ordre où la génération devient facile⁸." De même que les philosophes tentent de décomposer les idées complexes en leurs éléments constitutifs afin de mieux comprendre les mécanismes de la pensée et du langage, de même les techniciens décomposent-ils les ouvrages et les séquences de la production avant de les recombinaisonner aussi rationnellement que faire se peut. L'idéal analytique d'un ingénieur comme Prony doit être replacé dans ce contexte. Le phénomène majeur demeure toutefois l'intérêt grandissant porté aux possibilités de l'analyse mathématique par les techniciens. En parlant de la mathématisation des techniques à

⁷ L'ouvrage de D.-S. Landes, *L'Europe technicienne ou le Prométhée libéré Révolution technique et libre essor industriel en Europe occidentale de 1750 à nos jours*, Chicago, 1969, trad. fr. Paris, Gallimard, 1975, constitue une admirable synthèse de ces deux aspects.

⁸ Cité par G.-G. Granger, *La mathématique sociale du marquis de Condorcet*, Paris, 1956, rééd. Paris, O. Jacob, 1989, p. 39.

la charnière des XVIII^e et XIX^e siècles, on désigne en réalité la généralisation d'emploi du calcul intégral et différentiel aux dépens de la géométrie qui représentait jusque-là le principal instrument de conception technique. Tout se passe comme si les préoccupations analytiques diffuses des Lumières n'avaient fait que préparer le succès durable de l'analyse mathématique.

Il nous semble essentiel de mieux comprendre les raisons de ce succès et d'en approfondir surtout la signification. La question de l'analyse se retrouve ainsi dans les trois textes qui composent ce rapport. Les nouveaux outils dont se dotent les ingénieurs entre 1750 et 1850 environ induisent de nouvelles représentations de la production et de ses contraintes, un nouvel état d'esprit. La rationalité technique moderne nous semble analytique au même titre que l'espace qu'elle produit. La critique de ce caractère analytique pourrait bien se révéler riche d'enseignements sur cet espace.

I. Les ingénieurs et la mathématisation
L'exemple du génie civil et de la
construction.

Généralités.

A la charnière des XVIII^e et XIX^e siècles, le phénomène de la mathématisation ne concerne pas seulement les sciences; il touche aussi les techniques, en provoquant de nombreux échanges sur le rôle que doivent jouer les mathématiques dans la formation et dans le métier d'ingénieur. Afin de mieux comprendre la signification de ce phénomène, on voudrait retracer ici quelques uns des débats qui l'accompagnent dans les domaines du génie civil et de la construction, en se référant plus particulièrement à l'Ecole des Ponts et Chaussées où se forment les ingénieurs d'Etat français chargés de la réalisation et de l'entretien des grandes infrastructures territoriales: routes, ponts et canaux, sans parler des nombreux équipements publics qui leurs sont confiés concurremment aux architectes¹. Cet objet d'étude revêt nous semble-t-il un caractère exemplaire, comme on tentera de le montrer en évoquant certains des problèmes généraux qu'il permet de poser.

Il convient peut-être de souligner au préalable l'une des caractéristiques majeures du génie civil et de la construction: l'extrême complexité des données physiques auxquelles on se trouve confronté, complexité qui rend les outils mathématiques d'un maniement plus délicat que dans d'autres secteurs, comme en témoignent les nombreuses incertitudes subsistant en pratique, de la mécanique des sols au comportement des voûtes. Ces incertitudes sont toutefois compensées par l'évidence sensible des objets manipulés. Une telle situation semble promouvoir une approche des questions constructives mêlant appréhension des formes et intuition du comportement physique de la matière. Il pourrait ainsi sembler que le génie civil et la construction relèvent pour l'essentiel d'un art de l'ingénieur qui n'aurait recours qu'à des mathématiques élémentaires,

¹ Sur l'histoire du corps des Ponts et Chaussées, lire par exemple: J. Petot, *Histoire de l'administration des Ponts et Chaussées 1599-1815* (Paris, M. Rivière, 1958) et A. Brunot, R. Coquand, *Le corps des Ponts et Chaussées* (Paris, C.N.R.S., 1982).

à une géométrie habitée par des considérations de mécanique et de résistance des matériaux.

Un art en crise.

Inexacte de nos jours, une telle supposition correspond assez bien à la réalité qui prévaut encore à la fin du XVIII^e siècle. Lorsqu'il n'est pas sorti de la prestigieuse Ecole du Génie de Mézières, comme Coulomb, Dubuat ou Carnot², l'ingénieur demeure dans bien des cas un "artiste" faisant usage d'outils mathématiques assez simples. Entre la science et les problèmes concrets subsiste un important décalage que révèle assez bien Bélidor dans son *Architecture hydraulique*, en reprochant à Parent, l'un des premiers physiciens à s'être intéressé au problème du frottement avec Amontons, de s'être contenté de "calculs algébriques à perte de vue", capables d'effrayer les professionnels les mieux disposés, au lieu d'en avoir "dédit des conséquences en forme de maximes" que l'on aurait suivies "avec la confiance que l'on a ordinairement pour tout ce que l'on sait être établi sur des principes de mathématiques, quoique l'on ignore la voie par laquelle on y est arrivé³".

L'art de l'ingénieur consiste précisément à savoir se servir de ces "maximes" auxquelles fait allusion Bélidor en négociant au mieux avec les contraintes particulières à chaque projet⁴. Dans ce contexte, il est difficile de parler d'une application de la science physico-

² L'Ecole du Génie de Mézières est probablement l'école d'ingénieur qui dispense la formation scientifique la plus poussée au Siècle des Lumières. Cf. R. Taton, *L'Ecole Royale du Génie de Mézières, Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIII^e siècle* (Paris, 1964, rééd. Paris, Hermann, 1986), 559-615.

³ B. Forest de Bélidor, *Architecture hydraulique* (Paris, 1737-1739, rééd. Paris, Jombert jeune, 1782), I, 70. Livre de chevet des ingénieurs des Lumières, l'ouvrage de Bélidor restera d'un usage courant parmi les techniciens jusque dans les années 1820-1830.

⁴ Cette négociation consiste le plus souvent à augmenter ou diminuer un peu les épaisseurs des parties d'ouvrages.

mathématique aux réalités de la construction, car les "maximes" ou plutôt les formules dont se servent les techniciens possèdent une grande autonomie par rapport à la théorie. Malgré cela les mathématiques jouissent auprès des ingénieurs d'un prestige sans commune mesure avec leur efficacité réelle. Ce prestige provient pour une part de la vieille croyance en une architecture générale du monde, en une "proportion" d'origine divine dont les calculs des savants constitueraient l'expression la plus élevée, mais qui se retrouverait également dans les tâches de dimensionnement accomplies par les ingénieurs. La fréquence avec laquelle le terme "proportion" apparaît encore dans les traités des Lumières témoigne de la vigueur que garde cette conception qui présente l'avantage de légitimer à la fois le savant et l'ingénieur sans chercher à résorber la distance qui les sépare. De par les liens qu'il suggère avec la théorie des ordres en architecture, le terme "proportion" rappelle en outre le statut d'artiste que conserve l'ingénieur⁵.

Au cours de la seconde moitié du XVIII^e siècle ce statut se trouve progressivement remis en cause par un ensemble de facteurs au premier rang desquels figure la pénétration graduelle du monde des techniques par la science physico-mathématique. En dépit de leur retentissement limité, les résultats concernant la poussée des terres et le calcul des voûtes exposés par Coulomb dans son "Essai sur l'application des règles de maximis et minimis à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture" de 1773 ou les *Principes d'hydraulique* de Dubuat témoignent des progrès de la mathématisation⁶. La multiplication d'ouvrages s'adressant à un

⁵ Parue en 1729, *La science des ingénieurs* de Bélidor comporte d'ailleurs un livre entier consacré aux proportions des ordres d'architecture, tandis que *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction des voûtes et autres parties des bâtiments civils et militaires* de Frézier s'ouvre sur une *Dissertation historique et critique sur les ordres d'architecture* qui sera publiée séparément en 1769.

⁶ Sur l'*Essai* de Coulomb, lire bien sûr: C. Stewart Gillmor, *Coulomb and the evolution of physics and engineering in eighteenth-century France* (Princeton, Princeton University Press 1971), 80-117. Sur Dubuat et les progrès de l'hydrodynamique appliquée au XVIII^e siècle, lire: S. Ince, H. Rouse, *History of hydraulics* (Iowa Institute of Hydraulic Research, 1957), 113-138.

public composé à la fois de savants et de techniciens s'inscrit en réalité dans un vaste mouvement que viendra sanctionner la création de l'Ecole Polytechnique en 1794.

Sur un plan beaucoup plus empirique, les tentatives de quantification de la réalité technique représentent un autre phénomène essentiel. Parallèlement aux progrès de la science physico-mathématique, les ingénieurs accumulent les expériences sur la force des bois, de la pierre et du métal⁷, mais aussi sur la productivité du travail humain à laquelle s'intéressent des personnalités aussi différentes que Perronet et Coulomb⁸. Résistance des matériaux et travail humain: cette double direction de quantification renvoie à la constitution d'un nouvel espace de référence que l'on peut qualifier de proto-économique. Des préoccupations de maîtrise dynamique des coûts dépassant la pensée simplement comptable des techniciens de l'âge classique se font jour, sous l'égide de cette notion d'utilité dont se réclament tous les ingénieurs sans exception⁹.

Un dernier phénomène réside enfin dans l'apparition de réalisations particulièrement hardies, qui se situent aux frontières des évidences véhiculées par la tradition constructive. Les grands ponts d'un Perronet ou l'église Sainte-Geneviève, l'actuel Panthéon, de Soufflot, sont porteurs d'une critique implicite des règles de dimensionnement

⁷ On trouvera un bon résumé des expériences de résistance des matériaux des Lumières dans: J.-A. Borgnis, *Traité complet de mécanique appliquée aux arts* (Paris, Bachelier, 1818).

⁸ Perronet étudie la fabrication des épingles dans cette perspective. Il rédige à ce propos deux mémoires dont certains aspects seront repris dans l'*Encyclopédie* et l'*Encyclopédie Méthodique*: E.N.P.C. MS 2385, *Description de la façon dont on fait les épingles à Laigle en Normandie* (1740), E.N.P.C., MS 2383, *Explication de la façon dont on réduit le fil de laiton à différentes grosseurs dans la ville de Laigle en Normandie* (1739). Sur les recherches de Coulomb sur le travail humain, voir: C. Stewart Gillmor, *op. cit.*, 78, ainsi que: B. Doray, *Le taylorisme, une folie rationnelle?* (Paris, Dunod, 1979), 96.

⁹ Lire: F. Etner, *Histoire du calcul économique en France* (Paris, Economica, 1987).

classiques, avec leurs grandes portées, leurs piles et leurs colonnes d'une minceur contraire aux formules consacrées¹⁰.

Cet ensemble de menaces qui pèsent sur l'art de l'ingénieur conduit les professionnels les plus lucides à une critique systématique des résultats consacrés par l'usage. De toutes parts se fait sentir, de manière parfois paradoxale, un besoin de renouvellement du cadre théorique et des outils concrets de résolution des problèmes.

La création de Polytechnique représente un début de réponse à cette attente. Bien que l'application des leçons de Lagrange, Laplace et même Monge aux cas concrets rencontrés par les ingénieurs demeure des plus incertaines, il se produit une rupture par rapport à l'enseignement centré sur la pratique du projet que dispensaient encore à la veille de la Révolution des établissements comme l'Ecole des Ponts et Chaussées¹¹. Par la suite vont devoir cohabiter des ingénieurs de deux types: les "artistes" formés dans les dernières années de l'Ancien Régime et leurs cadets passés par Polytechnique et possédant en conséquence une culture scientifique beaucoup plus étendue. Reste à savoir comment articuler cette culture avec les réalités beaucoup plus prosaïques du métier. Comment définir en d'autres termes les modalités d'application de la science physico-mathématique aux techniques? Telle pourrait bien être la question.

¹⁰ Cf. A. Picon, *Solidité et construction quelques aspects de la pensée constructive des Lumières, L'idée constructive en architecture* (Paris, Picard, 1987), 73-106.

¹¹ Sur l'enseignement dispensé à l'Ecole des Ponts et Chaussées au cours de la seconde moitié du XVIII^e siècle, lire: F. de Dartain, *Notice sur le régime de l'ancienne Ecole des Ponts et Chaussées et sur sa transformation à partir de la Révolution, Annales des Ponts et Chaussées* (1906, 1-11), 5-143. Voir également: G. Serbos, *L'Ecole Royale des Ponts et Chaussées, Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIII^e siècle*, 345-363.

Prony et l'idéal analytique.

Cette question se pose avec acuité à l'Ecole des Ponts et Chaussées, devenue école d'application de Polytechnique à partir de 1795. Prise en étau entre les certitudes de la formation initiale reçue par les élèves à Polytechnique et les pesanteurs du métier d'ingénieur, l'Ecole des Ponts doit faire évoluer les objectifs et le contenu de son enseignement.

Devenu directeur de l'Ecole en 1798, Prony s'attaque au problème avec son *Plan d'instruction des élèves de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées pour l'an 7* dont les présupposés méritent quelques commentaires. Membre du corps des Ponts et Chaussées, auteur d'une *Nouvelle architecture hydraulique* en deux volumes et professeur de mécanique à Polytechnique, le nouveau directeur est en effet l'un des premiers ingénieurs à tenter de dépasser l'ancienne doctrine des proportions en repensant les modalités d'application de la science physico-mathématique¹².

Pour Prony qui fréquente à cette époque les idéologues et qui partage nombre de leurs conceptions, les sciences et les arts ne sont jamais que des "combinaisons d'idées et des signes"¹³, combinaisons dont l'idéologie a précisément pour ambition de démonter les mécanismes, en décrivant la formation des idées et leurs filiations depuis la simple sensation source de toute connaissance jusqu'aux jugements les plus complexes. Aux yeux de l'ingénieur qui déclare par exemple en

¹² Sur la vie et l'oeuvre de Gaspard Riche de Prony (1755-1839), lire par exemple: M. Bradley, *Prony the bridge-builder*, thèse de doctorat du Coventry Polytechnic (Coventry, 1984), Y. Chicoteau, A. Picon, C. Rochant, Gaspard Riche de Prony ou le génie "appliqué", *Culture Technique*(12, 1984), 171-183.

¹³ E.N.P.C. MS 1056, G. Riche de Prony, *Réflexions sur l'organisation d'une académie qui auroit pour objet la perfection et l'enseignement de l'art de la construction*. Dans ce manuscrit non daté mais qui remonte à coup sûr aux premières années de la Révolution, l'ingénieur trace un plan de formation qui constitue une première ébauche de son *Plan d'instruction* de l'an 7. L'influence des idéologues y est particulièrement nette. En l'an 8 encore Prony placera la mécanique sous la dépendance directe de "la métaphysique ou idéologie": *Mécanique philosophique*(Paris, impr. de la République, an 8), 3.

1790 que "la langue d'une partie importante de la science est devenue analytique¹⁴" les mathématiques ne constituent jamais qu'une expression particulière de cette combinatoire qui est aussi au principe de la langue. Il peut alors placer l'art de l'ingénieur sous la dépendance directe des mathématiques et de la mécanique, en se réclamant de la généralité d'une analyse des sensations et des idées qui viendrait réconcilier théorie et pratique, formation et exercice du métier.

Si l'on adopte un tel point de vue, la notion d'application ne doit plus faire de difficulté, puisque partant des combinaisons les plus générales d'idées et de signes une gradation presque insensible doit mener aux circonstances qui se rencontrent concrètement dans les constructions. Tel est bien l'esprit dans lequel Prony conçoit l'articulation des cours de stéréotomie, de mécanique et de construction prévus dans son *Plan d'instruction* qui constituent l'essentiel de l'enseignement magistral prévu à l'intention des élèves des Ponts et Chaussées¹⁵. Ce triptyque se présente tout d'abord comme l'application raisonnée des enseignements de géométrie descriptive, de mécanique analytique et de construction générale dispensés à Polytechnique. Mais il représente aussi une sorte de répétition générale de la pratique de l'ingénieur: décrire grâce à la stéréotomie, calculer selon les lois de l'équilibre et du mouvement, construire en respectant la spécificité des matériaux et des façons. A tous les niveaux de la formation des ingénieurs triomphe un processus fondé sur la classification des problèmes et leur traitement par

¹⁴ G. Riche de Prony, *Nouvelle architecture hydraulique* (Paris, F. Didot, 1790-1796), II, 152.

¹⁵ G. Riche de Prony, *Plan d'instruction des élèves de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées pour l'an 7* (Paris, impr. de la République, an 7). L'évolution est nette par rapport à l'Ecole de l'Ancien Régime qui ne comportait pas de cours magistraux régulièrement organisés, la majeure partie de l'enseignement se faisant sur le tas.

étapes, processus qui se veut un exemple de cette "méthode de l'esprit humain¹⁶" recherchée avec tant d'ardeur par les idéologues.

En dépit de son indéniable séduction intellectuelle, cette conception va connaître un échec rapide à l'Ecole des Ponts et Chaussées dont les liens avec Polytechnique demeureront longtemps conflictuels, tandis que l'articulation des cours magistraux avec la pratique se révélera toujours aussi délicate à réaliser. Cet échec n'est jamais que l'un des aspects de la faillite plus générale de l'utopie analytique, de la recherche d'une méthode générale de résolution des problèmes concernant à la fois la théorie et la pratique¹⁷. Il est significatif qu'au moment où Prony rédige son *Plan d'instruction*, son collègue Pierre-Simon Girard se contente de définir l'ingénieur comme "placé entre les arts et les sciences¹⁸", sans donner plus de détails sur cette position. Dans un esprit très encyclopédique, son *Traité analytique de la résistance* des solides se contente de juxtaposer les données théoriques et les expériences de ses prédécesseurs sans entreprendre de les réduire à un même cadre commun. Son intérêt pour les solides d'égalité de résistance rend un son légèrement différent cependant, avec l'exigence de rigueur à laquelle il conduit, exigence qui prend la suite des interrogations des constructeurs des Lumières sur la possibilité de dimensionner au plus juste les ouvrages.

Le mélange de tolérance à l'égard des inadaptations de la théorie et d'exigence de rigueur qui caractérise l'attitude de Girard est assez représentatif des positions que vont occuper de nombreux ingénieurs dans les premières années du XIX^e siècle. En aval du "paradigme

¹⁶ L'expression figure dans la première leçon d'"Analyse de l'entendement" professée par Garat à l'Ecole Normale. *Séances des Ecoles Normales recueillies par des sténographes et revues par les professeurs* (Paris), I, 148.

¹⁷ Au delà du cas de Prony et de l'Ecole des Ponts et Chaussées, cette utopie analytique nous semble constitutive de tout un ensemble d'aspects de la politique scientifique et technique de la Révolution. Cf. A. Picon, Les Ingénieurs et l'idéal analytique à la fin du XVIII^e siècle, article à paraître dans: *Sciences et techniques en perspective* (1988, 13).

¹⁸ P.-S. Girard, *Traité analytique de la résistance des solides* (Paris, F. Didot, Du Pont, 1798), xlix.

laplacien" qui règne alors en maître sur l'enseignement de Polytechnique¹⁹ et des incertitudes de la formation dispensée à l'Ecole des Ponts et Chaussées, on assiste à la coexistence de deux démarches qui ne se recouvrent que partiellement.

La poursuite de l'effort de quantification des Lumières mobilise tout d'abord de nombreux ingénieurs. Duleau s'intéresse ainsi à la force des fers, tandis que Boistard multiplie les expériences sur la main d'oeuvre des travaux publics²⁰. On retrouve toujours le couple formé par l'étude du comportement des matériaux et l'analyse du travail de l'homme sur les chantiers.

Des tentatives d'application plus ou moins ambitieuses de la théorie physico-mathématique aux réalités du génie civil et de la construction se font jour en parallèle. Navier rédige par exemple en 1812 un *Mémoire sur les constructions en pierres perdues exécutées dans la mer* dans lequel il tente de modéliser en se servant des résultats de Lagrange l'effet de la houle afin de déterminer la meilleure pente à donner aux digues par enrochements²¹. Pour Girard ou Prony, les problèmes posés par la construction du canal de l'Ourcq constituent une incitation permanente à théoriser sur l'hydraulique²². Ce qui se produit, c'est une familiarisation avec les méthodes analytiques s'exprimant notamment par leur application souvent désordonnée aux sujets les plus divers. Les mathématiques semblent

¹⁹ Nous nous référons bien sûr à l'article de R. Fox: *The Rise and Fall of Laplacian Physics, Historical Studies in the Physical Sciences* (Princeton, Princeton University Press, 1975), 89-136.

²⁰ A. Duleau, *Essai théorique et expérimental sur la résistance du fer forgé* (Paris, 1820). L.-C. Boistard, *Expériences sur la main d'oeuvre de différents travaux dépendant du service des ingénieurs des Ponts et Chaussées, sur l'adhérence des mortiers de sable et de ciment employés à l'air et sous l'eau et sur l'usage des machines à épuiser* (Paris, Merlin, 1804).

²¹ E.N.P.C. MS 1389, C.-L.-M.-H. Navier, *Mémoire sur les constructions en pierres perdues exécutées dans la mer* (Paris, 1812).

²² Cf. A. Picon, *Il canal de l'Ourcq Una controversia tecnica, Rassegna* (29, 1987), 48-59.

offrir une panoplie d'outils permettant d'envisager des usages plus précis que par le passé.

Ces essais d'application demeurent toutefois bien isolés dans un contexte de production qui n'évolue que beaucoup plus lentement. Jusque dans les années 1820, l'aménagement et la construction demeurent pour l'essentiel fidèles aux orientations des Lumières. Science et/ou art de l'ingénieur: la question est loin d'être réglée, comme en témoignent les nombreux débats auxquels elle donne lieu à l'Ecole des Ponts et Chaussées.

Brisson et Navier, une controverse révélatrice.

L'un des débats les plus significatifs trouve sa source dans la demande adressée par Polytechnique à ses écoles d'application en 1825-1826 afin de connaître la teneur de leur enseignement. L'objectif est de mieux articuler cet enseignement avec la formation dispensée en amont aux polytechniciens. Interrogés sur le programme des études à l'Ecole des Ponts et Chaussées, Brisson, professeur de construction chargé en outre de la coordination des différents enseignements²³, et Navier, professeur de mécanique²⁴, émettent des avis profondément différents.

En fidèle disciple de Monge, Brisson déclare tout d'abord que la géométrie descriptive est la "partie la plus essentielle aux ingénieurs", étant d'un usage journalier et propre à les éclairer sur toutes les questions qui se rattachent à l'art de projeter et d'exécuter les travaux publics. Il regrette au passage que les polytechniciens

²³ Spécialiste des canaux, auteur d'un *Essai sur le système de navigation intérieure* de la France, Brisson avait été nommé professeur de construction à l'Ecole des Ponts et Chaussées en 1820 et inspecteur de l'Ecole l'année suivante. Il enseignera jusqu'à sa mort en 1828. Cf. A.N. F¹⁴ 2182¹, dossier d'ingénieur de Barnabé Brisson.

²⁴ Nommé professeur adjoint de mécanique appliquée à l'Ecole des Ponts en 1820, Navier sera également professeur à Polytechnique à partir de 1831. Cf. A.N. F¹⁴ 2289¹, dossier d'ingénieur de Claude-Louis-Marie-Henri Navier.

soient si faibles dans cette matière au point d'être incapables de résoudre les problèmes les plus simples. Il est vrai qu'on leur enseigne surtout l'analyse mathématique, bien qu'elle soit d'un usage moins fréquent que la géométrie²⁵.

L'opinion de Navier est toute autre. A ses yeux, il serait éminemment nécessaire de donner plus de développement aux études analytiques à l'Ecole des Ponts et Chaussées, "ce qui permettrait de traiter plusieurs questions relatives à l'équilibre et au mouvement des corps solides et fluides, à la distribution de la chaleur, aux applications du calcul des probabilités (particulièrement à l'usage des instruments), dont la connaissance serait sans doute très intéressante et très utile²⁶". Avant tout préoccupé par la matière qu'il est chargé d'enseigner, le professeur de mécanique de l'Ecole des Ponts n'a pas un mot pour la géométrie descriptive.

Réagissant à la lecture de la note dans laquelle l'avis de son confrère se trouve consigné, Brisson s'élève avec vigueur contre toute idée de renforcement de l'enseignement de l'analyse mathématique; "on a pour but de faire des ingénieurs savants", si l'on adoptait ce parti "on aurait des savants et non des ingénieurs²⁷", ajoute-t-il.

Géométrie descriptive d'un côté, analyse mathématique de l'autre: l'affrontement de Brisson et Navier semble préfigurer l'opposition que développera Théodore Olivier dans la préface de ses *Mémoires de géométrie descriptive, théorique et appliquée* de 1851 entre l'esprit d'ouverture sur les problèmes concrets de l'enseignement de Monge et

²⁵ E.N.P.C. Archives non inventoriées, B. Brisson, *Note relative à l'enseignement de l'Ecole des Ponts et Chaussées*. Grand admirateur de Monge dont il avait d'ailleurs épousé une nièce, Brisson réédite la *Géométrie descriptive* en 1827. Son avis n'a donc rien d'étonnant.

²⁶ E.N.P.C. Archives non inventoriées, C.-L.-M.-H. Navier, *Note sur le perfectionnement des études de mécanique à l'Ecole des Ponts et Chaussées* (1827).

²⁷ E.N.P.C. Archives non inventoriées, B. Brisson, *Note supplémentaire aux observations cy-dessus*.

le caractère excessivement abstrait imprimé par la suite à l'Ecole Polytechnique par Laplace, Poisson et Cauchy. Dans l'esprit d'Olivier, l'un des fondateurs de l'Ecole Centrale, Polytechnique aurait ainsi failli à sa mission, laissant aux centraliens le soin de reprendre le flambeau d'une utilité dédaignée par les théoriciens purs²⁸. Brisson se montre assez proche de cette recherche permanente de l'utilité lorsqu'il écrit que "l'on devrait (...) toujours diriger vers des réalités l'esprit des jeunes gens qu'on destine à former des ingénieurs, aiguïser leur sagacité en les accoutumant à résoudre des problèmes, diriger toutes leurs facultés vers l'application des connaissances exactes à la pratique des arts de constructions, leur donner enfin l'esprit géomètre, l'habitude de la précision de la tête et de la main, qu'on obtient plus des considérations géométriques que des abstractions analytiques²⁹".

A y regarder de plus près cependant, les positions de Brisson et Navier ne sont pas aussi tranchées qu'il pourrait y paraître. Même s'il affirme la primauté de l'"esprit géomètre", Brisson ne songe nullement à nier l'intérêt de l'analyse mathématique qu'il maîtrise d'ailleurs parfaitement³⁰; de façon similaire Navier ne cherche pas à remettre en cause l'apprentissage de la géométrie descriptive. Les deux ingénieurs se montrent tout aussi préoccupés l'un que l'autre par les applications concrètes et Navier envisage dans cette perspective la création d'un véritable laboratoire d'essais afin de compléter ses cours³¹. Plus que sur la priorité accordée à la géométrie descriptive

²⁸ Sur les positions de Théodore Olivier, lire: J. Hubbel Weiss, *The Making of Technological Man The Social Origins of French Engineering Education* (Cambridge, Massachusetts, Londres, The MIT Press, 1982), 157-174.

²⁹ B. Brisson, *Note relative à l'enseignement de l'Ecole des Ponts et Chaussées*, *op. cit.*

³⁰ Certains travaux d'analyse de Brisson auraient même inspiré Cauchy. B. Belhoste, *Cauchy 1789-1857 un mathématicien légitimiste au XIXe siècle* (Paris, Belin, 1985), 183.

³¹ C.-L.-M.-H. Navier, *op. cit.* L'absence de laboratoires d'essai constitue l'une des carences les plus graves de l'enseignement technique français. Il faudra attendre les années 1850 pour qu'un véritable laboratoire de résistance des matériaux voie le jour à l'Ecole des Ponts et Chaussées.

ou à l'analyse, plus que sur les objectifs de la formation dispensée aux élèves de Polytechnique et des Ponts et Chaussées, Brisson et Navier s'affrontent en réalité autour de la question de l'organisation des savoirs de l'ingénieur.

Pour le professeur de mécanique de l'Ecole des Ponts, l'accent mis sur les méthodes analytiques renvoie à l'existence d'une science de l'ingénieur unique dont elles constituent l'armature. Comprenant quelques hypothèses générales sur la structure de la matière, cette science s'implique par degrés dans les problèmes techniques concrets, grâce à la puissance des mathématiques et en recourant bien-sûr à l'expérience. Selon ce schéma on doit ainsi trouver sur le chemin menant de la théorie à la pratique l'hypothèse moléculaire de Laplace, des résultats généraux obtenus grâce au calcul analytique, des expériences permettant de déterminer par exemple les paramètres d'élasticité de tel ou tel matériau³². A cette conception hiérarchique des rapports entre science et art de l'ingénieur s'oppose l'approche plus pragmatique de Brisson. Loin de former une science unique, les "connaissances exactes" auxquelles se réfère ce dernier s'organisent prioritairement en fonction des types d'application rencontrés que la géométrie descriptive a simplement pour tâche d'articuler. Ainsi envisagée, la science de l'ingénieur devient une collection de savoirs dont l'économie se subordonne aux problèmes qui se posent en pratique³³.

Dans l'esprit des Ingénieurs des Ponts et Chaussées ce second modèle va progressivement l'emporter sur les préoccupations unitaires d'un Navier, comme en témoignent les débats ultérieurs entre direction, professeurs et élèves des l'Ecole des Ponts. En 1830 notamment se

³² Les travaux poursuivis par Navier dans le domaine de la résistance des matériaux constituent bien sûr le prototype de cette démarche d'application.

³³ Constituée de 1821 à 1825 sous la direction de Brisson et destinée à l'instruction des élèves des Ponts, la *Nouvelle collection de 530 dessins ou feuilles de textes relatifs à l'art de l'ingénieur et lithographiés à l'Ecole Royale des Ponts-et-Chaussées* semble indiquer la voie à suivre pour réorganiser la science de l'ingénieur en fonction des applications.

réunit une Commission d'organisation chargée de préparer un nouveau règlement et de redéfinir le contenu de l'enseignement. Les différents rapports élaborés par les membres de cette Commission permettent d'apprécier la portée de l'évolution qui s'amorce et qui va permettre d'apporter un début de réponse à la question des relations entre théorie et pratique, science et art de l'ingénieur.

Vers une "technologie" de l'ingénieur.

Parmi les membres de la Commission de 1830 figurent Prony et Navier, mais aussi les ingénieurs Bérigny, Jousset, Girard, Vauvilliers, Vallot, Duleau, Coriolis, Bommart et Minard qui donnent chacun leur avis³⁴. Certains clivages rappellent l'opposition traditionnelle entre théoriciens et praticiens ou celle plus subtile d'un Brisson et d'un Navier attachés tous deux aux mathématiques sans leur accorder pour autant le même rôle dans la structuration des savoirs de l'ingénieur. Tandis que Navier réitère ses propositions antérieures, Minard et Coriolis exposent par exemple des projets pédagogiques radicalement différents. Successeur de Brisson, Minard insiste sur les aspects pratiques de la formation et sur l'initiative à laisser aux élèves des Ponts et Chaussées³⁵; Coriolis défend par contre une conception plus autoritaire de l'enseignement³⁶. Par delà ces divergences quelques lignes de force se dégagent néanmoins.

Presque tous les membres de la Commission s'accordent à reconnaître en premier lieu le caractère inexorable de l'accroissement de la masse des connaissances nécessaires à un ingénieur, accroissement

³⁴ Voir: A.N. F¹⁴ 11057, E.N.P.C. MS 2629 bis, 2630 bis.

³⁵ A.N. F¹⁴ 11057, C. Minard, *De quelques améliorations dans l'Enseignement de l'Ecole des Ponts et Chaussées* (Paris, 1831). Légèrement postérieur aux travaux de la Commission, ce mémoire reprend à l'intention du Directeur des Ponts et Chaussées les positions défendues par Minard.

³⁶ A.N. F¹⁴ 11057, G.-G. Coriolis, *Note sur l'Organisation de l'Ecole des Ponts et Chaussées et Bases d'un Règlement pour l'Ecole des Ponts et Chaussées*.

entraîné par la multiplication des théories physico-mathématiques et des objets d'application: machines à vapeur, ponts suspendus, chemins de fer. Minard parle à ce propos d'un "moment de turgescence qui rend l'enseignement bien difficile, puisque les préceptes sont incertains³⁷". Il se pourrait bien, le progrès scientifique et technique aidant, que la science et l'art de l'ingénieur des Ponts et Chaussées soient amenés à se scinder. Décelables dès 1825-1830 dans le domaine du génie civil et de la construction, les premiers symptômes de l'industrialisation semblent ainsi s'opposer à la constitution d'un corpus de connaissances unitaire.

En face d'une telle situation, l'attitude la plus réaliste consiste à se laisser guider par les applications en privilégiant une approche en termes de processus de production et de filière, processus de production des ouvrages et filières technico-économiques dont la maîtrise importe au premier chef à l'ingénieur. Pour parvenir à cette maîtrise, la plupart des membres de la commission jugent utile de créer des cours de droit administratif, de comptabilité et d'économie politique. A l'idéal de cohérence intellectuelle auquel souscrivait encore un Navier succède une certaine forme d'éclectisme; il s'agit de combiner les éléments les plus hétérogènes dans un dessein d'efficacité: lois physiques, quantités, lois économiques et coûts prévisionnels. Dans ce contexte, les mathématiques ne peuvent prendre qu'un statut de plus en plus instrumental. En même temps que leur emploi se généralise dans l'art des constructions, elles perdent une partie de leur ascendant. A partir de 1830 l'évolution de l'Ecole des Ponts et Chaussées reflète assez bien ce relatif désenchantement. La démultiplication du cours de construction qui s'opère ainsi que l'importance grandissante prise par le droit et l'économie vont dans le même sens³⁸. Ce qui cherche à se constituer, c'est une connaissance

³⁷ C. Minard, *op. cit.*

³⁸ En 1832 le cours de construction est scindé en un cours de routes et ponts et un cours de navigation bientôt complétés par des leçons sur les chemins de fer. Le droit administratif est enseigné à partir de 1830, l'économie politique fait son apparition dans les années 1840.

globale des processus techniques permettant de résorber l'ancienne opposition entre science et art de l'ingénieur, une connaissance que l'on serait tenté de qualifier de "technologique" en reprenant un terme employé par la Commission de 1830 dans ses conclusions³⁹. A en juger par ses ambitions, un tel projet pourrait bien constituer pour l'Ecole des Ponts et Chaussées l'équivalent de la "science industrielle" à laquelle aspirent à peu près au même moment la direction et les professeurs de l'Ecole Centrale⁴⁰. Rendu possible par la domestication discrète de l'outil mathématique, ce projet marque en tout cas l'extinction d'un certain type de débat entre théorie et pratique caractéristique de la transition entre l'âge classique et l'ère industrielle naissante.

Hypothèses sur la mathématisation du génie civil et de la construction.

Au terme de ce rapide survol des principaux débats dont s'est accompagnée l'introduction des outils analytiques dans la formation dispensée par l'Ecole des Ponts et Chaussées, il faut peut-être essayer d'en retirer quelques enseignements de portée générale, comme semble nous y inciter le parallèle que l'on peut établir avec certains épisodes du développement de l'Ecole Centrale.

Comme on l'a déjà souligné, le génie civil et la construction constituent un domaine où la mathématisation semble moins nécessaire qu'ailleurs. Pour comprendre qu'elle ait pu s'effectuer aussi rapidement il faut par conséquent la resituer dans un éventail plus large de préoccupations.

³⁹ E.N.P.C. MS 2630bis, Projet de règlement pour l'Ecole des Ponts et Chaussées proposé par la Commission d'organisation. La Commission prévoit un cours de "technologie du constructeur" consacré à la description des arts et métiers relatifs au génie civil et à la construction dont la structure pourrait s'appliquer à l'ensemble du programme pédagogique qui tente de se mettre en place à l'Ecole des Ponts et Chaussées.

⁴⁰ Cf. J. Hubbel Weiss, *op. cit.*, 89-122.

Parmi ces préoccupations, les considérations économiques jouent un rôle de tout premier plan. Les essais de quantification encore désordonnés des ingénieurs des Lumières cèdent progressivement la place à des réflexions plus assurées sur la maîtrise dynamique des coûts, la prise en compte des taux d'amortissement et le calcul de la rentabilité des ouvrages⁴¹. Parallèlement à leurs activités d'ingénieurs et de professeurs à l'Ecole des Ponts, Navier, Brisson ou Minard s'intéressent ainsi aux questions économiques et comptables qui prennent une importance grandissante à l'Ecole des Ponts et Chaussées⁴². La mathématisation des phénomènes physiques et les tentatives de constitution d'une économie des travaux publics doivent être en réalité pensées simultanément.

Cette simultanéité annonce l'instauration d'un espace de flux et de mouvements que l'ingénieur a pour tâche de contrôler. On passe d'un cadre conceptuel encore très statique à un univers mental fondé sur une dynamique des processus techniques à laquelle tente de s'adapter une institution comme l'Ecole des Ponts.

La transformation de la notion de solidité entre la fin de l'âge classique et le début de l'ère industrielle permet de mieux appréhender le contenu de cette évolution⁴³. A l'exigence traditionnelle de solidité qui consistait à vouloir élever des monuments impérissables en se laissant guider par des règles de dimensionnement réduites en "maximes" et au moyen d'une minutie de

⁴¹ Lire: F. Etner, *Histoire du calcul économique en France, op. cit.*, 125-156. Voir également du même auteur: Le calcul économique et le corps des Ponts et Chaussées entre les deux Napoléon, *Annales des Ponts et Chaussées* (19, 1981), 104-109.

⁴² Navier étudie par exemple la rentabilité des investissements routiers. Dans son cours de construction Brisson fait intervenir assez systématiquement le coût d'amortissement des ouvrages. Minard est enfin l'un des principaux promoteurs de la cartographie statistique.

⁴³ Sur la notion traditionnelle de solidité, voir: A. Picon, *Solidité et construction* quelques aspects de la pensée constructive des Lumières, *op. cit.* Voir également: W. Szambien, *Symétrie Goût Caractère Théorie et terminologie de l'architecture à l'âge classique 1500-1800* (Paris, Picard, 1986), 131-140.

chaque instant se substitue un idéal de maîtrise des techniques, des coûts de construction et d'amortissement, conduisant à raisonner plutôt sur le moyen terme que sur le face à face de l'éternité et de l'instant. A près de 40 ans d'intervalle, deux attitudes, deux conceptions de la solidité des ouvrages résument assez bien cette opposition. Attaché aux exemples prestigieux de l'Antiquité dans ses *Réflexions sur les grands ouvrages en général* de 1810, l'ingénieur en chef des Ponts et Chaussées Lapeyre pouvait encore souhaiter que l'on construise "d'un seul bloc de granit, qui durerait autant que le monde"⁴⁴ les ponts et les écluses sans reculer devant la dépense. Définissant en effet l'économie d'un ouvrage "en raison inverse du prix divisé par le temps de sa durée"⁴⁵, il en déduisait qu'une construction monolithique permettait de réaliser une économie substantielle. La critique adressée par le professeur d'architecture de l'Ecole des Ponts, Léonce Reynaud, à l'encontre de l'"excès de solidité" donnée par les anciens à leurs monuments sonne par contre le glas des convictions véhiculées sous une forme caricaturale mais révélatrice par Lapeyre⁴⁶. "Plus habiles constructeurs, meilleurs économistes", les modernes savent proportionner la durée d'un édifice à son usage, affirme Reynaud dans son *Traité d'architecture* de 1850-1858⁴⁷. C'est dans cette juste proportion que réside désormais la solidité, plus que dans des masses imposantes de matériaux échaffaudés à grand peine.

Pour parvenir à ce résultat, l'analyse mathématique se révèle l'instrument idéal. A la différence de la géométrie et de son caractère statique, ne permet-elle pas de modéliser les lois de comportement de la matière et d'approcher en même temps les coûts marginaux en autorisant ainsi une gestion différenciée des processus techniques?

⁴⁴ J. Lapeyre, *Réflexions sur les grands ouvrages en général, et particulièrement sur les travaux maritimes qui sont confiés aux ingénieurs des Ponts et Chaussées* (Le Havre), 12.

⁴⁵ *Ibid.*, 11.

⁴⁶ L. Reynaud, *Traité d'architecture* (Paris, Carilian-Goeury et V. Dalmont, 1850-1858), I, 15.

⁴⁷ *Ibid.*

Au carrefour des problèmes de dimensionnement et des préoccupations d'économie les transformations de la notion de solidité viennent également rappeler l'importance prise par certains ouvrages innovants comme les ponts suspendus, introduits en France dans les années 1820, qui constituent probablement l'un des premiers types de construction entièrement calculables⁴⁸. Est-ce un hasard si un Navier se trouve chargé de leur étude par la Direction Générale des Ponts et Chaussées peu après avoir jetté les bases de la résistance des matériaux? Publié en 1823 à l'instigation de l'administration, son *Rapport à Monsieur Becquey, Conseiller d'Etat et Directeur des Ponts et Chaussées et des Mines; et Mémoire sur les ponts suspendus* illustre assez bien la nouvelle approche des problèmes constructifs qui se fait jour grâce à l'analyse mathématique⁴⁹. Des lois de comportement remplacent désormais les proportions d'antan. Par dessus tout se développe un état d'esprit plus normatif, grâce à la définition d'intervalles de validité, de techniques d'approximation, de coefficients de sécurité. Comme le souligne Navier, dans la plupart des recherches relatives à l'art des constructions "les résultats des solutions répondent ordinairement à des limites que les effets naturels ne peuvent dépasser, (...) la connaissance des ces limites suffit presque toujours au constructeur⁵⁰". Ainsi, au lieu de représenter une sorte de centre de gravité de la pratique comme les "maximes" traditionnelles que l'ingénieur pouvait interpréter assez librement, l'analyse prétend déterminer a priori la marge de liberté

⁴⁸ Sur l'histoire des ponts suspendus en France, lire: B. Lemoine, D. Amouroux, L'âge d'or des ponts suspendus en France 1823-1850, *Annales des Ponts et Chaussées* (19, 1981), 53-63.

⁴⁹ Cf. A. Picon, Navier and the Introduction of Suspension Bridges in France, *Construction History* (4, 1988) 21-35. Le rapport de Navier rend compte des conclusions de son enquête en Grande-Bretagne sur la technique des ponts suspendus. Ces derniers seront autorisés peu après en France par l'administration des Ponts et Chaussées.

⁵⁰ C.-L.-M.-H. Navier, *Rapport à Monsieur Becquey, Conseiller d'Etat et Directeur des Ponts et Chaussées et des Mines; et Mémoire sur les ponts suspendus* (Paris, impr. Royale, 1823), xvj.

laissée au praticien; les expériences menées par ce dernier sont désormais encadrées par les résultats du calcul.

Contrastant avec l'aura de mystère qui entourait autrefois les théories scientifiques, la fonction normative dont se trouvent de plus en plus investies les mathématiques va de pair avec ce désenchantement dont on a pu mesurer concrètement les effets à l'Ecole des Ponts et Chaussées. Même si Navier cherche à préserver la validité d'une science de l'ingénieur unitaire, le pragmatisme qui s'instaure va bientôt conduire à une sorte de mise à plat du savoir.

Cette mise à plat sera compensée il est vrai par une circulation incessante des outils et des méthodes de résolution des problèmes, ainsi que par l'influence grandissante de figures et de thèmes "nomades" empruntés au vocabulaire analytique - il suffit de songer pour s'en convaincre à la fortune des notions d'équilibre mécanique ou d'équation aux limites chez les ingénieurs.

Avec ses différentes strates: étude des lois physiques, modélisation des comportements économiques, connaissance des processus techniques, avec ses enjeux professionnels dont on a peu parlé mais qui expliquent aussi l'intérêt porté par les ingénieurs au calcul analytique qu'ils sont seuls à maîtriser parmi les techniciens⁵¹, la mathématisation du génie civil et de la construction pourrait bien se révéler assez représentative du phénomène général d'acclimatation et de mise en circulation dans le champ des techniques d'outils, de méthodes, de figures et de thèmes issus de la science physico-mathématique, qui se produit à la charnière des XVIII^e et XIX^e siècles.

⁵¹ La maîtrise de l'outil mathématique permet en particulier aux ingénieurs des Ponts et Chaussées de maintenir les conducteurs de travaux dans une étroite sujettion. Voir à ce propos: A. Guillerme, *Corps à corps sur la route Les routes, les chemins et l'organisation des services au XIX^e siècle* (Paris, Presses des Ponts et Chaussées, 1984).

**II. Les ingénieurs et l'idéal analytique
à la fin du XVIII^e siècle.**

1. INTRODUCTION.

A la fin du XVIIIème siècle, le vieux rêve d'une méthode universelle, s'adressant à toutes les branches de la connaissance et de l'activité humaine, semble ressusciter avec la notion d'Analyse (1), dont se réclament de nombreux philosophes et savants, malgré les ambiguïtés et les incompréhensions qui en résultent parfois. Pour les idéologues qui s'en font les théoriciens, Destutt de Tracy ou Garat en tête, l'Analyse s'applique surtout à l'étude de l'esprit humain et des lois qui le gouvernent. En permettant notamment d'observer et de décrire la formation des idées, *"comme l'on observe et l'on décrit une propriété d'un minéral ou d'un végétal, ou une circonstance remarquable de la vie d'un animal"* (2), elle contribue à fonder une nouvelle science, héritière des travaux pionniers, quoiqu'imparfaits, de Locke et Condillac. Mais sa fécondité ne s'arrête pas là, puisqu'elle structure depuis longtemps déjà la géométrie ou la mécanique ; dans son cours d'Analyse de l'entendement professé aux Ecoles Normales de l'an 3, Garat parle à ce propos de la *"méthode des géomètres"*. Véritablement universelle, une telle méthode *"ne s'applique pas seulement à quelques genres de connaissances; elle s'applique à toutes : chaque science a des signes et des procédés qui lui sont propres ; mais tous leurs procédés et tous leurs signes, quand ils sont exacts, sont conformes à cette méthode qui est celle de l'esprit humain"* (3).

Négligeant l'inventaire exhaustif de ce vaste programme, pourtant revendiqué par la plupart des tenants de l'Analyse, les historiens ne retiennent le plus souvent que des formulations philosophiques ou

(1) Dans la suite de cet article nous distinguerons l'Analyse, avec une majuscule, qui incarne le désir d'une méthode universelle de résolution des problèmes, proche parente de l'Idéologie, de l'analyse mathématique.

(2) A.L.- C. Destutt de Tracy, *Elémens d'idéologie. Première partie Idéologie proprement dite*, Paris, 1801, rééd. Paris, 1817, p. xv.

(3) J. Garat, *"Analyse de l'entendement. Programme et Première leçon"*, in *Séances des Ecoles Normales recueillies par des sténographes et revues par les professeurs*, Paris, s. d., t.1, pp. 138-169, p. 148 en particulier.

scientifiques assez générales, au détriment de secteurs comme les techniques, où l'idéal analytique joue pourtant un grand rôle. C'est ce rôle que l'on voudrait essayer de mieux cerner dans les pages qui vont suivre, en insistant sur le caractère de transition qu'il revêt, entre l'organisation technologique héritée de l'âge classique et les redéploiements du savoir et de la pratique technique précédant immédiatement l'âge industriel. On peut parler à ce propos d'une sorte d'utopie analytique, particulièrement sensible chez certains ingénieurs, qui constitue à la fois l'indice le plus sûr d'une crise de la tradition classique et l'amorce de son dépassement.

2. LA "METHODE DE L'ESPRIT HUMAIN", LA SCIENCE ET L'ART DE L'INGENIEUR

L'influence exercée par l'Analyse sur les ingénieurs semble difficilement compréhensible au premier abord, cependant. La *"méthode des géomètres"* ou *"méthode de l'esprit humain"* que Garat prétend exposer aux élèves des Ecoles Normales se révèle des plus floues. Elle peut bien résider dans *"l'art de multiplier et d'étendre les sensations distinctes et bien vérifiées ; de diriger les opérations de l'esprit, conformément à la nature de ses facultés"*, et surtout *"de posséder le secret de la formation des idées de tous les genres, pour voir toujours clairement comment on les a faites"* (4), on perçoit mal son contenu concret. Sous couvert d'observer la formation des idées, la plupart des idéologues cherchent à constituer en réalité une grammaire générale philosophique, dépositaire de la connaissance des lois du langage et des règles de validité du raisonnement. Mais cette perspective peut-elle mobiliser des techniciens, avant tout préoccupés d'applications matérielles ? Par sa généralité, la méthode analytique permet toutefois de revendiquer de nouvelles transversalités entre théorie et pratique, qui intéressent précisément les ingénieurs, confrontés à la difficulté de faire coïncider calcul et expérience.

"Méthode de l'esprit humain", l'Analyse caractérise aussi bien l'étude

(4) Ibid., p. 147.

de la formation des idées, que leur enchaînement au sein d'une conscience agissante. Elle permet ainsi de résorber l'écart entre théorie du sujet pensant et pratique de ce sujet. Au principe de cette réconciliation du théorique et du pratique, on trouve la notion de sensation, qui permet d'en étendre la portée, en dépassant la sphère du langage, même si cette dernière constitue le terrain privilégié de la méthode analytique. La sensation n'est-elle pas à la fois à l'origine de nos idées et de nos actes, comme l'avait déjà montré Condillac, dans son *Traité des sensations* de 1754 ? Telle est en particulier l'opinion d'ingénieurs comme Prony, membre du corps des Ponts et Chaussées et directeur de l'Ecole des Ponts à partir de 1798, pour lequel les sciences ne sont jamais que des "*combinaisons d'idées et de signes*", renvoyant toujours aux moyens qu'emploie la nature pour instruire les hommes en même temps qu'elle les pousse à l'action : "*le plaisir et la douleur qui dérivent de la sensibilité physique*" (5).

Pour les ingénieurs des Lumières, la notion de théorie embrasse avant tout le calcul mathématique, même embryonnaire, la pratique désignant un ensemble complexe, où se mêlent la connaissance des besoins de la société auxquels il convient d'apporter une réponse, l'expérience des matériaux et des façons, l'art de négocier avec toutes sortes de contingences locales. Entre théorie et pratique subsiste un écart important, que les auteurs de traités et de manuels techniques s'accordent tous à déplorer. Si Bélidor se révèle assez enthousiaste à l'égard de la théorie mathématique vers 1730 (6), Prony se montre plus réservé quant à son efficacité, dans une dissertation rédigée alors qu'il était encore élève de l'Ecole des Ponts et Chaussées, en rappelant qu'on ne saurait

(5) G. Riche de Prony, *Réflexions sur l'organisation d'une académie qui auroit pour objet la perfection et l'enseignement de l'art de la construction*, E.N.P.C., MS 1056. Dans ce manuscrit non daté, mais qui remonte à coup sûr aux premières années de la Révolution, l'ingénieur trace un plan de formation qui constitue une première ébauche de son *Plan d'instruction...* de l'an 7, à l'intention des élèves de l'Ecole des Ponts et Chaussées. Voir infra. Sur la vie et l'oeuvre de Gaspard Riche de Prony (1755-1839), auquel on aura souvent l'occasion de se référer par la suite, on peut lire par exemple : M. Bradley, *Prony the bridge-builder*, thèse de doctorat du Coventry Polytechnic, Coventry, 1984 ; Y. Chicoteau, A. Picon, C. Rochant, "*Gaspard Riche de Prony ou le génie "appliqué"*", in *Culture Technique*, n°12, 1984, pp. 171-183.

(6) B. Forest de Bélidor, *La Science des ingénieurs*, Paris, 1729, livre premier, pp. 2,3.

"entreprendre un ouvrage important sur la simple foi d'une formule" (7). Auteur d'un **Mémoire sur différentes questions de la science des constructions publiques et économiques**, publié en 1790, l'ingénieur Aubry précise quant à lui que "*les connaissances spéculatives, même celles fondées sur des observations faites dans la solitude, peuvent induire à beaucoup d'erreurs lorsqu'elles ne sont pas enchaînées avec des expériences prises dans les opérations de la nature même*" (8).

"Prises dans les opérations de la nature même" : la séduction exercée par la méthode analytique sur certains ingénieurs commence à s'éclairer. En remontant à la sensation, source de la théorie et de la pratique et contact immédiat entre l'homme et le monde, opération de la nature par excellence, l'Analyse ne replace-t-elle pas les connaissances spéculatives et l'usage des mathématiques dans leur véritable perspective, celle d'un enchaînement harmonieux avec l'expérience ? La dénonciation des "erreurs" de l'esprit de système renvoie ce faisant à une ambition de redéfinition du rôle joué par les mathématiques, révélatrice de la situation de transition entre classicisme et première modernité qui prévaut tout au long du XVIII^e siècle. En effet, il ne serait jamais venu à l'esprit d'un technicien de l'âge classique d'"entreprendre un ouvrage important sur la simple foi d'une formule". Souvent fondés sur la géométrie et l'usage des proportions, les savoirs traditionnels ne fournissaient que des méthodes indicatives et des valeurs moyennes, véritables recettes, qui devraient être adaptées à chaque cas particulier, au cours d'une négociation délicate, qui faisait de l'ingénieur un "artiste", raisonnant à la manière d'un architecte. Entre la théorie des ordres d'architecture et les procédures de dimensionnement employés par les ingénieurs, les passerelles étaient d'ailleurs nombreuses, comme en témoigne encore l'utilisation par Bélidor d'une module pour décrire la construction des écluses, dans son **Architecture Hydraulique** (9). La

(7) G. Riche de Prony, dissertation d'élève, Concours de Style de 1779, E.N.P.C., MS n.c.

(8) Aubry, **Mémoire sur différentes questions de la science des constructions publiques et économiques**, Lyon, 1790, p. i.

(9) "*A l'imitation des Architectes qui divisent le demi diamètre de la colonne en un certain nombre de parties égales afin de déterminer les membres d'un Ordre, nous avons divisé la largeur des écluses en 12 modules pour fixer les leurs*". B. Forest de Bélidor, **Architecture Hydraulique**, Paris, 1737-1739, rééd. Paris, 1810, t.3, p. V.

méfiance de certains ingénieurs des Lumières à l'égard des formules toutes faites héritées du passé, traduit en définitive le rejet d'un contexte de négociation fondé sur la liberté d'augmenter ou de diminuer un peu les proportions consacrées par l'usage, en fonction des circonstances, ainsi que l'espoir de parvenir à une théorie renouvelée, investie désormais d'une valeur normative à l'égard de la réalité.

Plus exigeante que les savoirs techniques traditionnels, cette théorie peut être qualifiée de science, une science de l'ingénieur entretenant un type de rapport inédit avec la pratique, et permettant de définir une nouvelle figure : celle de l'ingénieur moderne, dont la possibilité se dessine tout juste, au travers d'incertitudes et de tâtonnements. Chargé dans les années 1780 de l'élaboration du volume de l'*Encyclopédie Méthodique* de Panckoucke consacré aux Ponts et Chaussées (10), Prony rédige un *Discours préliminaire* qui précise les enjeux à la fois scientifiques et professionnels que l'on voit se profiler à l'horizon.

"L'expérience qui a été le fruit de ces grands travaux, a fait sentir que l'Ingénieur chargé de les diriger ne pouvait être suppléé par des hommes qui ne seraient qu'Architectes, ou Géomètres, ou Physiciens ; qu'il fallait que cet ingénieur eût une éducation particulière, un système de connaissances théoriques & pratiques, absolument propres à l'état qu'il choisissait. Ce système embrasse presque tous les arts & toutes les sciences, & les branches qui le composent, quoiqu'appartenant à des tiges connues, forment, soit par leur assemblage, soit par leur application, une science particulière & nouvelle" (11).

Selon Prony, l'Analyse est au principe de ce "système de connaissances théoriques & pratiques", qui s'assimile à une "science particulière & nouvelle". On notera au passage que l'éducation est indissociable de cette perspective de redéfinition des rapports entre théorie et pratique

(10) Cf. C.-J. Panckoucke, *Trois lettres à Prony relatives à l'impression du Dictionnaire des ponts et chaussées*, 1788, E.N.P.C., MS 1013 ; G. Riche de Prony, *Correspondance relative au Dictionnaire des ponts et chaussées*, 1788, E.N.P.C., MS 1015.

(11) G. Riche de Prony, *Discours préliminaire de la partie de l'Encyclopédie par ordres de matières*, intitulée : *Science de l'Ingénieur des Ponts et Chaussées, Turcies et Levées, Canaux et Ports maritimes*, s.l.n.d., p. 7.

qui conduit à résorber leurs différences au nom de la science de l'ingénieur naissante. Mais pour constituer cette dernière, bien des difficultés doivent être surmontées. Confronté à l'hétérogénéité des connaissances qu'il lui faut manipuler, l'ingénieur reste bien souvent un "artiste", tenant à la fois de l'architecte, du géomètre et du physicien. Annonciatrice de redéploiements importants, l'Analyse s'installe au préalable entre une science qui s'esquisse et un art encore rebelle à ses injonctions. Reste à savoir si cette situation n'est que transitoire, ou si elle traduit quelque impuissance fondamentale.

3. ANALYSE DES BESOINS, ACTION ET FORMATION DE L'INGENIEUR.

Si l'Analyse doit permettre de surmonter le divorce entre théorie et pratique, en garantissant ainsi la cohérence de la démarche de l'ingénieur, elle doit aussi répondre à d'autres exigences, qui concernent plutôt l'insertion de cette démarche dans le tissu social. Dans une perspective de légitimation de la figure de l'ingénieur, il lui faut en particulier conduire à une meilleure adéquation entre les besoins des hommes en société et l'activité technique. Pour réaliser ce programme, il s'avère à nouveau nécessaire de remonter aux sensations de plaisir et de douleur qui correspondent aux premiers besoins, avant de reconstituer la chaîne menant des conditions de survie les plus élémentaires aux contraintes plus sophistiquées des sociétés contemporaines. A la combinaison des sensations dont procèdent des besoins sans cesse plus complexes, doivent répondre les calculs des ingénieurs apportant à chaque fois une solution appropriée. Cette correspondance terme à terme peut alors prendre son véritable nom : l'utilité, dont se réclament les techniciens des Lumières pour justifier leurs prétentions. Reposant sur l'analyse des besoins de la société, l'utilité demande à présent un certain discernement de la part de l'ingénieur, chargé *"de donner les détails d'après lesquels on doit statuer sur le bonheur de ses semblables"*, comme l'exprime un élève de l'Ecole des Ponts et Chaussées dans une dissertation de 1779 (12). Mais ce discernement s'apprend, au même titre

(12) P. Planier, dissertation d'élève, Concours de Style de 1779, E.N.P.C., MS n.c.

que la théorie mathématique ou le projet, qui constituent les deux principaux volets de la formation technique. Par ce biais, l'attention se porte à nouveau sur la question de l'éducation, qui préoccupe les ingénieurs, qu'ils appartiennent au corps du Génie ou des Ponts et Chaussées.

Comment apprendre à de jeunes sujets les mathématiques, le maniement des formes et des assemblages, ainsi que ces qualités d'ordre et d'économie qui témoignent d'un indéfectible attachement aux canons d'une utilité bien comprise ? Cette question subsiste à l'arrière-plan de l'enseignement technique du XVIII^{ème} siècle, à plus d'un égard balbutiant. Elle s'exacerbe par la suite, sous la Révolution, lorsque se fait jour une volonté politique de réforme du système éducatif légué par l'Ancien Régime qui concerne les écoles d'ingénieurs (13). En 1794 est créée l'Ecole Centrale des Travaux Publics, qui devient peu après l'Ecole Polytechnique. Les objectifs de l'institution et la formulation qui en est donnée, portent clairement l'empreinte de l'idéal analytique qui imprègne les milieux politiques, scientifiques et techniques, même si c'est de manière plus ou moins diffuse.

4. LE PROGRAMME DE L'ECOLE POLYTECHNIQUE.

La création de l'Ecole Polytechnique constitue un événement trop connu pour qu'il soit nécessaire de s'y attarder ici (14). Le but assigné à l'Ecole par la Convention est de fermer au sein d'un même établissement les ingénieurs militaires, les géographes, les fonctionnaires des Mines et des Ponts et Chaussées, les ingénieurs constructeurs de la Marine,

(13) On trouvera un tableau d'ensemble de cette question dans : A. Léon, *La révolution française et l'éducation technique*, Paris, 1968.

(14) A côté d'ouvrages classiques comme l'*Histoire de l'Ecole Polytechnique* d'A. Fourcy, qui vient d'être rééditée avec une importante introduction et des annexes par J. Dhombres, on pourra consulter l'excellent ouvrage de J. Langins : *La République avait besoin de savants. Les débuts de l'Ecole Polytechnique : l'Ecole Centrale des travaux publics et les cours révolutionnaires de l'an III*, Paris, 1987.

enfin. On avait envisagé dans un premier temps de supprimer les écoles spécialisées qui pourvoient avant la Révolution aux besoins des différents corps techniques. Après une période de flottement, ces dernières sont rétablies en tant qu'écoles d'application de l'Ecole Polytechnique, dont le programme fait désormais figure de tronc commun, préalable à toute spécialisation.

Sans entrer dans les détails de ce programme, interrogeons-nous plutôt sur ses présupposés implicites. L'idée d'un tronc commun de connaissances, qui concerne toutes les branches de l'art de l'ingénieur, conduit tout d'abord à affirmer l'existence d'une classe de problèmes généraux, susceptible de s'organiser en une "*science particulière & nouvelle*", pour peu que l'on explicite sa cohérence. Cette cohérence pourrait bien résider quant à elle dans les outils dont apprennent à se servir les élèves de Polytechnique. Parmi ces outils, la Géométrie Descriptive et l'analyse mathématique occupent le premier rang, par leur caractère formalisé et l'étendue de leurs applications. Aux yeux de Monge en particulier, la Géométrie Descriptive constitue l'outil par excellence de l'ingénieur ; elle doit être cultivée par les élèves polytechniciens pendant les trois ans que dure leur formation (15). Mais l'analyse mathématique, qui permet de rendre compte des lois de l'équilibre et du mouvement des corps n'est elle pas également indispensable ? Il ne faut pas non plus négliger la physique et la chimie, tout aussi nécessaires à un ingénieur, même si leur présentation s'avère moins rigoureuse.

Aucun outil scientifique, dont l'acquisition figure au programme de l'Ecole Polytechnique, ne permet en réalité d'unifier l'ensemble des savoirs proposés aux élèves. La cohérence programmatique du nouvel établissement se situe sur un tout autre plan. Elle semble procéder d'un idéal analytique assez global, que l'on voit clairement à l'oeuvre dans les *Développemens sur l'enseignement adopté pour l'Ecole Centrale des Travaux Publics* et les *Programmes de l'enseignement polytechnique de*

(15) G. MONGE, ses idées sur la pédagogie à l'Ecole Centrale des Travaux Publics, extrait des Procès-verbaux des Séances du Conseil d'administration de l'Ecole Centrale des Travaux Publics du 20 pluviôse an 3 (8 février 1795), reproduit en annexe dans : J. Langins, op. cité, pp. 116-119.

l'Ecole Centrale des Travaux Publics, parus en 1794-1795 (16). Cet idéal s'exprime au travers de subdivisions et de classifications incessantes, touchant aussi bien les parties de la science et de l'art de l'ingénieur, que les besoins de la société auxquelles elles permettent de répondre. Dépassant maintenant le cadre de l'opposition entre savoir mathématique et réalisation des ouvrages, la distinction entre théorie et pratique se propage dans toutes les directions, cette prolifération de niveaux préluant à la recombinaison définitive du théorique et du pratique. Le *"Tableau indicatif de l'organisation de l'Ecole Centrale des Travaux Publics, et des connaissances qui y seront transmises aux élèves de cet établissement"*, placé en tête des **Développements sur l'enseignement...**, est à cet égard significatif. En indiquant l'organisation de l'Ecole, ne distingue-t-il pas d'emblée les objectifs généraux de l'institution : *"transmettre à des jeunes gens qui aient fait preuve d'intelligence, patriotisme et bonne conduite"*, les connaissances mathématiques et physiques du programme, des moyens d'exécution de ce dessein, qui comprennent aussi bien le personnel, que le mobilier attribué à l'Ecole ? Les objectifs de transmission du savoir ne constituent-ils pas une sorte de *"théorie"* de l'Ecole Polytechnique, tandis que les moyens d'exécution annoncent sa mise en pratique ? La présentation synoptique du tableau vient unifier des registres que tout sépare en apparence.

La *"théorie"* de l'Ecole engendre par la suite le programme des connaissances, tant mathématiques que physiques, avec leurs subdivisions qui se mettent également sous forme synoptique. Le choix de ce mode de présentation n'est pas neutre. Déjà adopté dans le *"Système figuré des connaissances humaines"* du **Prospectus de l'Encyclopédie**, il se rattache par là-même à la tradition de l'arbre encyclopédique inaugurée par Bacon. Partant des connaissances mathématiques et physiques les plus abstraites, pour déboucher sur les applications à la coupe des pierres et des bois, à l'architecture, aux ponts et chaussées et aux fortifications, le programme initial de l'Ecole Polytechnique entend résorber

(16) **Développemens sur l'enseignement adopté pour l'Ecole Centrale des Travaux Publics**, s.l.n.d. ; **Programmes de l'enseignement polytechnique de l'Ecole Centrale des Travaux Publics**, Paris, pluviôse an 3 (janvier-février 1795). Ces deux documents sont presque intégralement reproduits dans : J. Langins, op. cité, pp. 227-269 ; 126-198.

l'écart, ou plutôt tous les écarts entre théorie et pratique, qui peuvent surgir entre un besoin de jeunes gens instruits assez général, la science de l'art de l'ingénieur, et les besoins particuliers de la société. Il prend ainsi la relève de certains idéaux de l'*Encyclopédie*, même si le caractère hautement formalisé des savoirs proposés aux polytechniciens rompt avec l'empirisme qui prévalait encore dans la description des arts et métiers entreprise sous l'égide de d'Alembert et Diderot.

A l'époque révolutionnaire, l'Analyse permet de reformuler ces idéaux en leur conférant une nouvelle portée. Dans les programmes et dans les premiers enseignements de l'Ecole, on trouve de nombreux éléments qui se rattachent aux formes philosophiques de la réflexion analytique. N'est-il pas par exemple prévu que le professeur de mécanique insiste sur *"l'influence d'une langue bien faite sur l'étude & la perfection d'une science quelconque"* (17), la constitution de cette *"langue bien faite"* représentant, on le sait, l'un des principaux objectifs des idéologues. Pour Monge, cependant, la Géométrie Descriptive constitue la langue véritable de l'ingénieur. N'est-elle pas commune *"à l'homme de génie qui conçoit un projet, aux artistes qui doivent en diriger l'exécution, et aux ouvriers qui doivent l'exécuter"* (18). Mais sa frontière avec l'art du dessin, la fameuse ligne de démarcation entre objets *"susceptibles de définitions rigoureuses"* et non susceptibles, ne dépend-t-elle pas d'une démarche analytique qui lui demeure antérieure ? Quoiqu'il en soit, les ambitions de la Géométrie Descriptive sont aussi celles de l'Ecole Polytechnique, qui entend occuper une position inédite vis-à-vis de la pratique, en permettant à ses élèves de parcourir la longue chaîne menant des savoirs les plus abstraits aux applications concrètes.

L'Ecole Polytechnique ne doit pas être dissociée pour autant des autres volets du système éducatif que tente de mettre en place la Révolution. En amont de l'Ecole, l'enseignement primaire et secondaire mobilise les énergies les plus diverses. Dans le droit fil du *Rapport et projet de*

(17) Programmes..., reproduction dans : J. Langins, op. cité, p. 134.

(18) Développemens..., reproduction dans : J. Langins, op. cité, p. 230.

décret sur l'organisation générale de l'Instruction publique publié par Condorcet en 1792, les propositions de réforme se multiplient, même après que les Ecoles Centrales de la République soient venues remplacer les Collèges de l'Ancien Régime. Témoinant de l'audience conquise par les idéologues dans les milieux techniques les plus "éclairés", un ingénieur des Ponts et Chaussées, Joseph-Michel Dutens, rédige en l'an 8 un mémoire sur l'instruction publique fondé sur l'Analyse des idées et l'étude de leur filiation (19). En s'inspirant probablement du tableau présentant les activités de Polytechnique, ce dernier dresse un *"Tableau indicatif des Connaissances qui seront transmises dans les Ecoles Nationales Primaires, Intermédiaires et Divisionnaires"*, dans lequel il distingue les *"moyens moraux de transmission"* et les connaissances transmises, des *"moyens physique de transmission"*, selon un schéma très comparable à celui des *Développemens....*

Mais il ne suffit pas de *"nationaliser l'instruction"*, suivant l'expression de Dutens, en répandant les Lumières et en préparant les sujets les plus brillants au concours de Polytechnique. Il faut aussi qu'en sortant de cet établissement, les futurs ingénieurs trouvent dans les écoles d'application une spécialisation adaptée à la formation générale qu'ils ont reçue pendant trois ans. Un nouveau problème du type théorie/pratique se pose, s'agissant cette fois d'articuler l'enseignement polytechnicien avec celui de ses écoles d'application. Ce dernier problème est loin d'être évident, comme le montrera toute l'histoire de l'Ecole Polytechnique par la suite (20). Dans les premières années de l'Ecole, l'Analyse, toujours elle, semble toutefois permettre de le résoudre. Telle est du moins l'impression de Gaspard Riche de Prony, lorsqu'il devient directeur de l'Ecole des Ponts et Chaussées en 1798.

(19) J.-M. Dutens, *Des moyens de nationaliser l'instruction, et de sa doctrine*, Evreux, 1er floréal an 8 (21 avril 1800).

(20) Voir par exemple : A. Fourcy, op. cité.

5. 1799-1804. L'ECOLE DES PONTS ET CHAUSSEES, DE L'IDEOLOGIE AU PRAGMATISME.

De toutes les écoles d'application, l'Ecole des Ponts et Chaussées est la plus ancienne, celle dont la tradition s'éloigne le plus de la formation dispensée à Polytechnique. Elle constitue peut être, de ce fait, le meilleur terrain pour comprendre les espoirs que suscite l'Analyse chez les ingénieurs de la fin du XVIIIème siècle.

Fondée en 1747, et dirigée par le célèbre constructeur de ponts Jean-Rodolphe Perronet jusqu'à sa mort en 1794, l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées avait assuré à ses élèves une formation très empirique jusqu'à la Révolution (21). La culture scientifique des ingénieurs, qui en sortaient pour s'occuper de la construction et de l'entretien des routes et des ponts du royaume, demeurait très inférieure à celle de leurs grands rivaux, les ingénieurs du Génie, formés à l'Ecole de Mézières par des professeurs de la qualité de l'abbé Nollet ou de Monge (22). Si les ingénieurs des Ponts étaient progressivement parvenus à contrôler la plupart des grands travaux civils, en évinçant le corps du Génie, c'était surtout en raison de leur savoir-faire en matière de projet (23). A l'Ecole des Ponts et Chaussées, l'écart entre la théorie, même balbutiante, et la pratique du projet, s'était institutionnalisé,

(21) Pour plus de détail sur le contenu de cette formation, cf. A. Picon, Y. Chicoteau, C. Rochant, *Les concours techniques du XVIII^e siècle à l'Ecole des Ponts et Chaussées*, rapport de recherche C.N.R.S., programme S.T.S., avril 1984.

(22) Cf. R. Taton, *"L'Ecole royale du Génie de Mézières"*, in *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIII^e siècle*, Paris, 1964, réed. Paris, 1986, pp. 559-615. Par son haut niveau scientifique et grâce à la présence de Monge, l'Ecole du Génie de Mézières créée en 1748, préfigure sur plus d'un point l'enseignement de Polytechnique.

(23) Au cours de la seconde moitié du XVIIIème siècle, les ingénieurs des Ponts et Chaussées étaient notamment parvenus à s'assurer la maîtrise des aménagements portuaires, fiefs traditionnels du Génie. Sur la rivalité des deux corps et ses enjeux, cf. A. Picon, *"Génie militaire et génie civil à la fin du XVIIIème siècle. Crise de la fortification et naissance du territoire moderne"*, article à paraître dans le prochain numéro de la revue VRBI.

puisque l'essentiel de l'encadrement était assuré par deux "inspecteurs", chargés respectivement de superviser l'enseignement des mathématiques et celui des différentes sortes de dessins pour le projet (24). Hormis ces deux personnages, il n'y avait pas de professeurs régulièrement appointés. La majeure partie de l'enseignement se faisait sur le tas, sans cours magistral. L'inspecteur chargé du dessin, Pierre-Charles Lesage, confirme la chose dans son **Mémoire sur l'établissement primitif de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées...** du 20 nivôse an 3, précisant que l'on comptait "environ 60 à 80 élèves ou surnuméraires. Les plus instruits professaient depuis l'arithmétique jusqu'à l'hydraulique, le trait de charpente et la coupe des pierres et le calcul des terrassements" (25).

Caractéristique originale de l'institution dirigée par Perronet, ce système d'enseignement mutuel, décrit par Lesage, se révèle totalement inadapté à des élèves sortis de Polytechnique. Avant la création de cette dernière, l'Ecole de Ponts recevait en effet des jeunes gens qui ne possédaient guère que les rudiments de l'arithmétique, de la géométrie et du dessin, et qui pouvaient ainsi se satisfaire d'une formation sur le tas. Il en va tout autrement avec des sujets ayant déjà suivi des études scientifiques de haut niveau. Perronet mort en 1794, ses successeurs à la tête de l'Ecole des Ponts, Lamblardie et Chézy, s'émeuvent du problème (26). Mais la désorganisation de l'Ecole et le contexte

(24) Cf. Observations de l'assemblée des Ponts et Chaussées, sur la nécessité de préposer deux Inspecteurs à la surveillance de l'Ecole, Paris, 26 mai 1791, A.N. F14 11054.

(25) P.-C. Lesage, **Mémoire sur l'établissement primitif de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, son état actuel, son organisation et l'emplacement d'un local plus avantageux qu'il conviendrait de lui assigner**, mémoire présenté au nom de la Commission des travaux publics, 20 nivôse an 3 (9 janvier 1795), E.N.P.C., MS 2629 bis.

(26) Lamblardie, qui avait occupé peu de temps auparavant les fonctions de directeur de l'Ecole Polytechnique, avant de revenir à l'Ecole des Ponts, avait même rédigé un projet de règlement prévoyant des cours de mécanique et d'architecture civile. J.-E. Lamblardie, **Mémoire ou note historique sur l'Ecole des Ponts et Chaussées, projet de règlement**, 2 brumaire an 6 (23 octobre 1797), E.N.P.C., MS 2629 bis.

d'incertitude qui prévaut au même moment, les empêchent d'agir efficacement (27). Devenu directeur à la fin de 1798, Prony peut enfin prendre les mesures indispensables, résumées dans son **Plan d'instruction des élèves de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées pour l'an 7**, et approuvées par le Ministre de l'Intérieur, autorité de tutelle de l'Ecole.

Se plaçant d'emblée dans la perspective définie par Polytechnique (28), Prony considère que l'enseignement à mettre sur pied doit se proposer : "1°) de supprimer de l'enseignement les objets auxquels les élèves ont été appliqués à l'école polytechnique ; 2°) De mettre à profit, dans le nouveau travail qu'on exigera d'eux, toute l'instruction et toute l'aptitude qu'ils ont acquise avant et pendant leur séjour à l'école polytechnique ; 3°) De les occuper uniquement des objets d'application relatifs à la science et à l'art de l'ingénieur des Ponts et Chaussées, ce qui n'exclut pas et même nécessite quelques digressions sur les sciences et les arts qui y ont un rapport très immédiat, en classant et en coordonnant toutes les parties de l'enseignement de manière à ce qu'il fasse suite à celui de l'école polytechnique" (29).

Concrètement, trois chaires sont instituées : une chaire de mécanique appliquée, une chaire de stéréotomie appliquée aux arts du dessin, de la coupe des pierres et de la charpente, une enfin de construction (30). Mécanique, stéréotomie, construction : le lien avec l'Ecole Polytechnique est maintenant évident, puisque l'on applique tout d'abord l'enseignement de mécanique générale dispensé aux polytechniciens, que la stéréotomie se situe dans le droit fil de l'enseignement de Géométrie

(27) Sous la Terreur, l'Ecole avait notamment été désorganisée par le départ de nombreux élèves à la guerre. La création de Polytechnique et l'incertitude entretenue autour du sort des anciennes écoles d'ingénieur avant leur transformation en écoles d'application avait ajouté à la confusion.

(28) Prony n'éprouvait aucune difficulté à cela, puisqu'il enseignait en même temps l'analyse appliquée à la mécanique aux polytechniciens.

(29) G. Riche de Prony, **Plan d'instruction des élèves de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées pour l'an 7**, Paris, an 7, p.4.

(30) Les ingénieurs Eisenmann, Bruyère et Mandar, en sont respectivement responsables.

Descriptive, que la construction réordonne enfin les différentes branches de la science et de l'art de l'ingénieur en termes de projets concrets.

Dans son **Plan d'instruction ...**, Prony donne ensuite le détail des différents cours, destinés à remplacer l'enseignement mutuel de l'ancienne école. Pour résumer leur teneur, l'ingénieur s'inspire du tableau placé en tête des **Développemens sur l'enseignement polytechnique de l'Ecole Centrale des Travaux Publics**. Mécanique, stéréotomie et construction, se laissent ainsi décrire sous forme de tableaux synoptiques organisés hiérarchiquement. L'ordre des connaissances se déroule sur deux registres complémentaires. A côté d'une hiérarchie des fonctions du savoir, calquée sur celle du "*Tableau indicatif de l'organisation de l'Ecole Centrale des Travaux Publics ...*", d'autres divisions reprennent des idées précédemment exposées par Prony dans sa **Nouvelle Architecture Hydraulique** de 1790-1796 (31), ainsi que dans ses **Réflexions sur l'organisation d'une académie qui aurait pour objet la perfection et l'enseignement de l'art de la construction**, rédigées vers la même époque. Ces idées procèdent toujours des mêmes constatations : nécessité d'un enseignement à la fois unitaire et divisé par ordre de matières, juxtaposition de cours que vient réordonner la prise en compte des phases de l'action de l'ingénieur : décrire, grâce aux méthodes de la stéréotomie ; calculer, grâce aux outils que fournit la mécanique ; réaliser ou construire en dernier lieu. Ainsi, la formation des ingénieurs des Ponts et Chaussées "*imite*" toujours leur pratique, mais cette imitation n'est plus directe ; elle ne conduit plus à négliger la théorie au profit de la pratique du projet, comme à l'époque de Perronet. L'enseignement se structure au contraire, avec un certain degré d'arbitraire ; il reproduit dans ses grandes lignes les phases de l'action de l'ingénieur, au lieu de se calquer sur ses détails.

On aura reconnu dans cette parenté dotée d'une certaine autonomie, dans cette imitation possédant une part d'arbitraire, une forme de pensée qui

(31) G. Riche de Prony, **Nouvelle Architecture Hydraulique**, Paris, 1790-1796. Dans le premier volume de l'ouvrage, qui avait l'ambition de supplanter le célèbre traité de Bélidor, l'ingénieur procédait à des distinctions entre machines et moteurs et se référait à des généalogies annonçant l'esprit du **Plan d'instruction...**

n'est pas très éloignée de celle des idéologues. Les rapports entre formation et pratique des ingénieurs ressemblent beaucoup à ceux qu'entretiennent le signe et la chose pour Destutt de Tracy (32). Dans ses *Réflexions...*, Prony qualifie d'ailleurs, on l'a vu, les sciences de "*combinaisons d'idées et de signes*". D'une certaine façon, la formation se veut signe d'une pratique, un signe qui participe de la structure de ce qu'il désigne.

Cette parenté de structure se fonde en réalité sur une méthode analytique s'appliquant aussi bien à l'apprentissage qu'à la pratique du métier, cette même méthode universelle de résolution des problèmes sur laquelle repose la possibilité d'un enseignement polytechnique préalable à toute spécialisation. Concrètement, elle consiste à décomposer le complexe en éléments simples, avant de procéder à sa reconstruction, qui le rend pleinement intelligible ; s'appliquant à l'entendement, cette méthode consiste, selon Destutt de Tracy, à découvrir aux fondements de la pensée les sensations élémentaires dont elle se compose, puis de parcourir à l'inverse le chemin menant "*depuis la simple perception, depuis la pure sensation dénuée de tout jugement, jusqu'aux idées les plus abstraites*" (33). A l'époque de la Révolution, Prony est très proche des idéologues. Certains passages de ses *Réflexions...*, les notions qu'il exposera par la suite dans sa *Mécanique philosophique* (34), semblent transposés mot pour mot de Destutt de Tracy. Le *Plan d'instruction des élèves de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées pour l'an 7* s'inscrit en définitive dans la même perspective que le programme de l'Ecole Polytechnique. A tous les stades de la formation d'ingénieur, grâce à l'Analyse qui permet de s'affranchir des faux systèmes de la pensée d'Ancien Régime, l'articulation théorie/pratique ne devrait plus présenter de difficultés.

(32) A.-L.-C. Destutt de Tracy, op. cité, p. 302 et suivantes.

(33) A.-L.-C. Destutt de Tracy, *Elémens d'idéologie. Seconde partie. Grammaire*, Paris, 1801, rééd. Paris, 1817, pp. 17-18.

(34) Dans cet ouvrage, destiné aux élèves de Polytechnique, et paru dans le *Journal de l'Ecole*, Prony fait en particulier dériver la mécanique de la considération du temps et de la "*force ou puissance*", qui sont empruntés à la "*métaphysique ou idéologie*". G. Riche de Prony, *Mécanique philosophique ou analyse raisonnée des diverses parties de la science de l'équilibre et du mouvement*, Paris, an 8, p.3.

Une telle conception comporte une part d'utopie ; l'exposé du cours de construction permet de le mesurer. L'ambition de Prony consiste à transformer la construction en un savoir hypothético-déductif rigoureux, où il n'y aurait que des problèmes et que des solutions. Problème : satisfaire au bien-être des citoyens et à la sûreté de la société ; autre problème : connaître les matériaux, diriger et administrer les travaux. Solution : construire des maisons, des équipements, des fortifications et des prisons. Autre solution : énoncer dans un ordre parfait les matériaux et les façons, édicter et appliquer de justes lois et des règlements efficaces (35). La construction, qui comprend l'architecture, cherche à s'organiser avec la rigueur d'une constitution républicaine ou d'un classement scientifique des ressources naturelles, ce qui revient sans doute au même aux yeux des idéologues, pour lesquels l'amour du bien public se confond avec l'intérêt individuel bien compris, le règne des lois se fondant sur l'exploration des nécessités à l'oeuvre au sein de la nature. Diviser le savoir en éléments simples pour le recomposer selon des méthodes exactes et "naturelles", telle est en définitive l'utopie de Prony, les divisions de la construction devant permettre aux résultats obtenus par la mécanique de se positionner d'emblée à leur juste place au sein de la démarche de réalisation.

Reprenant les grandes lignes de la réforme de 1799, le décret impérial du 7 fructidor an 12 (25 août 1804), portant organisation du corps et de l'Ecole des Ponts et Chaussées (36), témoigne tout de même d'un certain infléchissement des conceptions pédagogiques développées dans le **Plan d'instruction...** de l'an 7. L'enseignement perd l'aspect systématique que lui avait conféré Prony, au profit d'un pragmatisme peut-être plus efficace. Une telle évolution s'appréhende par exemple à travers la réorganisation du cours de construction, qui donne naissance à un cours d'architecture et à un cours de stéréotomie appliquée à la construction des ouvrages des ponts et chaussées. Stéréotomie et construction des routes, ponts et écluses, sont ainsi regroupées, tandis que l'architecture échappe à ce cadre commun, redevenant une discipline à part entière, comme à l'époque de Perronet. La construction ne concerne plus

(35) Il s'agit là des principales divisions du "*Tableau synoptique d'un cours de construction*" figurant à la fin du **Plan d'instruction...**

(36) Décret reproduit dans A. Brunot, R. Coquand, *Le corps des Ponts et Chaussées*, Paris, 1982, pp. 665-677.

indifféremment les édifices et les ouvrages d'art, même si la distinction qui réapparaît de la sorte n'est pas fondée en théorie (37). On en revient ainsi à un mode d'organisation de l'enseignement plus traditionnel, qui ne songe plus à nier, au nom des principes généraux de la science et de l'art de l'ingénieur, la nécessité des distinctions opérées en pratique.

Dans les années 1805-1810, ce phénomène de reflux de l'idéal analytique va concerner bien d'autres domaines. Au même moment, Napoléon achève de mettre à l'écart les idéologues, qui s'étaient fait les promoteurs de l'Analyse. Le rêve d'une méthode universelle va s'estomper progressivement, tandis que vont se reposer les problèmes qu'une telle méthode aurait dû faire disparaître définitivement. Longtemps encore, les rapports entre l'Ecole Polytechnique et l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées demeureront par exemple entachés d'incertitude, au même titre que les relations qu'entretiendront au sein de l'Ecole des Ponts l'enseignement de l'architecture et celui de la construction (38).

6. L'ANALYSE EN PERSPECTIVE. L'EXPERIMENTATION CONSTRUCTIVE ET SES ENJEUX.

Après avoir évoqué l'influence exercée par l'Analyse sur les programmes de formation des ingénieurs, il faut peut-être évoquer à présent le contexte qui rend cette influence possible, en passant à notre tour de la théorie, de l'enseignement, à l'exercice concret du métier de technicien. Ce contexte permet aussi d'appréhender les raisons pour lesquelles l'idéal analytique s'essouffle au tout début du XIXème siècle. Derrière la méthode universelle, que des ingénieurs comme Prony appellent de leurs vœux, se profilent en effet des tensions qu'il ne sera bientôt plus possible d'éluder.

(37) Entre architecture et construction, bâtiment et travaux publics, les différences proviennent principalement des acteurs professionnels concernés.

(38) Cf. A. Picon, *Science de l'ingénieur et aménagement du territoire Aux origines du génie civil, 1800-1850*, rapport de recherche C.N.R.S., programme S.T.S., janvier 1986.

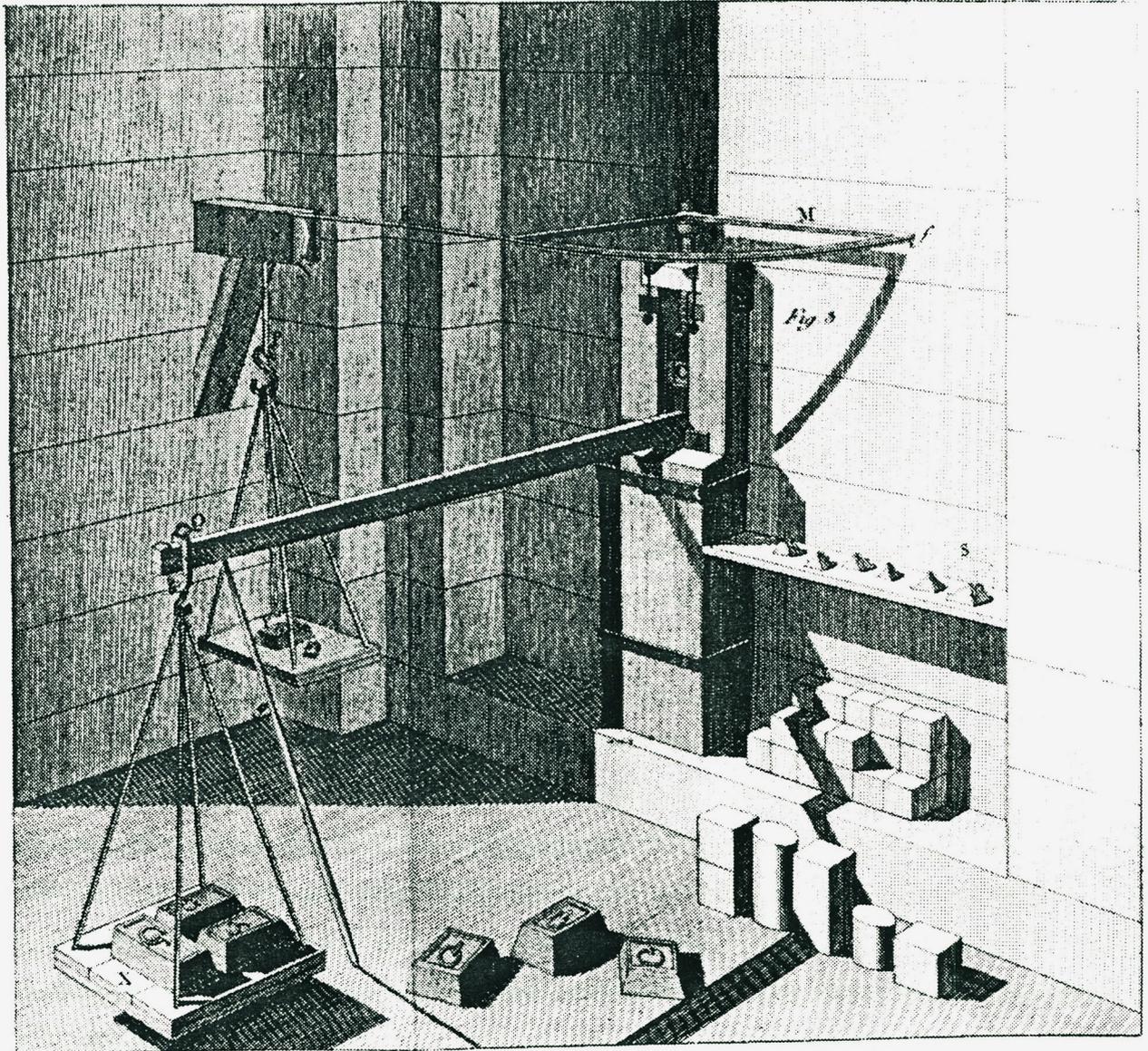
On a déjà fait allusion à l'un des phénomènes qui explique l'intérêt présenté par la notion d'Analyse, en évoquant les dysfonctionnements de la théorie, et la crise qui affecte l'usage traditionnel des proportions. Cet usage reste le plus souvent de mise en pratique, mais il perd progressivement de sa légitimité, même si rien ne vient encore le remplacer (39). Faute de reformulations théoriques pleinement efficaces, les ingénieurs multiplient en attendant les expériences, en s'intéressant aussi bien à la force des bois, des fers, qu'au travail moyen des animaux ou des hommes sur les chantiers (40). De la rencontre de ces essais de quantification désordonnés et de la science physico-mathématique en plein essor dans la première moitié du XIX^{ème} siècle, naîtra par la suite la science de l'ingénieur moderne, appliquant l'analyse mathématique à l'hydraulique appliquée, à la résistance des matériaux, voire même à l'économie générale des travaux publics (41). Certes, on est encore loin du compte dans les années 1800, comme en témoigne le *Traité analytique de la résistance des solides* de l'ingénieur Girard, qui se contente de juxtaposer les résultats obtenus depuis Galilée, sans apporter d'éléments décisifs (42). Une nouvelle perception des effets d'échelle fait néanmoins son apparition, en même temps que l'on assiste à la remise en cause des formules de dimensionnement consacrées par la tradition. Certains débats, comme la polémique qui oppose en 1770 l'auteur du projet de l'église Sainte-Geneviève, Soufflot, à l'architecte Patte, qui critique la minceur des piliers soutenant la coupole

(39) Un ingénieur militaire résume la situation dans un mémoire au titre significatif : Pierron, *Réflexions sur la multiplicité des circonstances qui se rencontrent dans la construction des voûtes*, qui démontrent l'impossibilité de donner par des règles constantes une proportion qui détermine dans tous les cas l'épaisseur des pieds-droits des voûtes relativement au poids et à la poussée. Je les communique en vue de désabuser ceux qui, moyennant d'augmenter un peu les épaisseurs que ces proportions établies donnent, ont confiance à ce que différents auteurs ont écrit et déterminés théoriquement sur cet objet, Marseille, 1777, A.G., Art. 21, Sect. 7, § 6, "*Poussée et construction des voûtes*". Avec ce refus d'"augmenter un peu les épaisseurs" données par les proportions, se dénouent véritablement les règles classiques de l'édification.

(40) Cf. S.-P. Timoshenko, *History of strength of materials*, New-York, 1953, rééd. New-York, 1983, p. 41 et suivantes.

(41) Cf. A. Picon, op. cité.

(42) P.-S. Girard, *Traité analytique de la résistance des solides*, Paris, 1798.



A.-J.-B. Rondelet, *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir* (1802-1817), machine à essayer la force des pierres mise au point par Gauthey, Perronet et Soufflot dans les années 1770. Très représentative de la démarche expérimentale des architectes et des ingénieurs des Lumières, cette machine sera notamment utilisée pour tester la résistance à la compression des pierres servant à la construction de l'église Sainte-Geneviève de Soufflot.

prévue sur les dessins, tournent à l'évidence autour de ces questions d'échelle (43). On vient de parler de Soufflot, il faut également mentionner Perronet, dont les grands ponts font preuve d'une hardiesse de lignes choquante aux yeux de certains de ses contemporains (44). La minceur que des architectes et des ingénieurs novateurs cherchent à donner aux supports verticaux de leurs ouvrages, qu'il s'agisse de colonnes ou de piles de pont, possède un caractère nécessairement polémique à la fin du XVIIIème siècle.

Le thème de la minceur, de l'"économie de matière", se corrèle par ailleurs à une réflexion sur l'origine des ouvrages et sur les besoins qu'ils doivent avant tout satisfaire. Dans sa rencontre avec l'origine et les préoccupations utilitaristes, la pensée constructive des Lumières se donne alors des modèles : "*cabane primitive*" ou pont primitif, composés d'un empilement de pièces verticales et horizontales, fondés sur une stricte séparation des éléments porteurs et des éléments portés (45). Par là-même, s'amorce la possibilité d'une analyse morphologique des ouvrages, qui rejoindrait idéalement le jeu des forces qui parcourent la matière. Mais la prise en compte des effets d'échelle ne conduit-elle pas précisément à reconnaître l'existence d'un écart impossible à combler entre les ouvrages primitifs et les produits de la

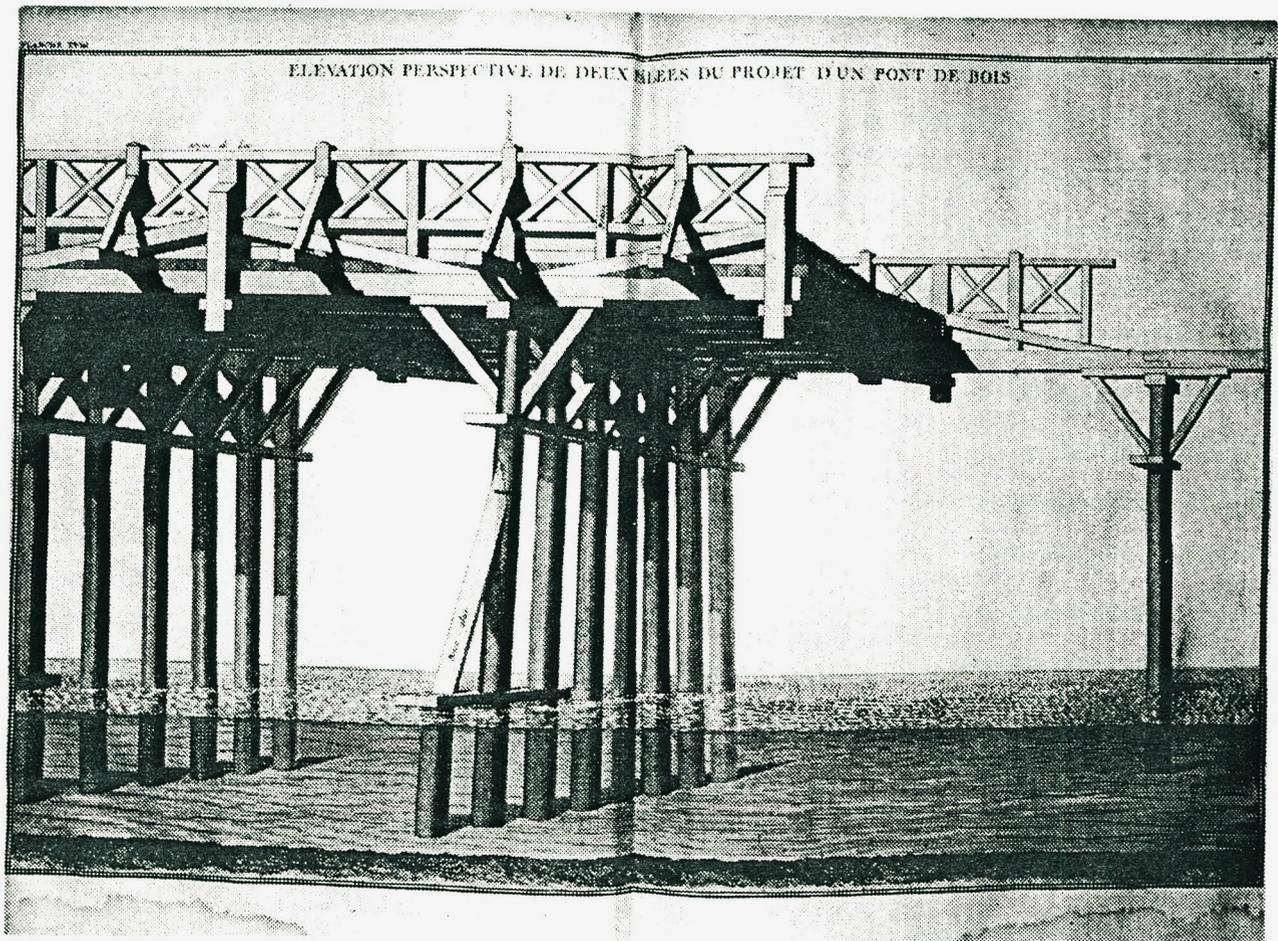
(43) On trouvera un résumé très complet de l'affaire dans : M. Mathieu, **Pierre Patte, sa vie, son oeuvre**, Paris, 1940, p. 181 et suivantes.

(44) Tandis que Bélidor conseillait encore de donner aux piles de pont une épaisseur égale au cinquième environ de l'ouverture des arches, Perronet leur en donne le dixième au pont de Neuilly, achevé en 1774. Sur l'oeuvre de Perronet, lire par exemple : F. de Dartein, "*La vie et les travaux de Jean-Rodolphe Perronet Premier ingénieur des Ponts et Chaussées Créateur de l'Ecole des Ponts et Chaussées*", "*Le pont de la Concorde à Paris*", in **Annales des Ponts et Chaussées**, 4ème trimestre 1906, pp. 5-87, 88-148.

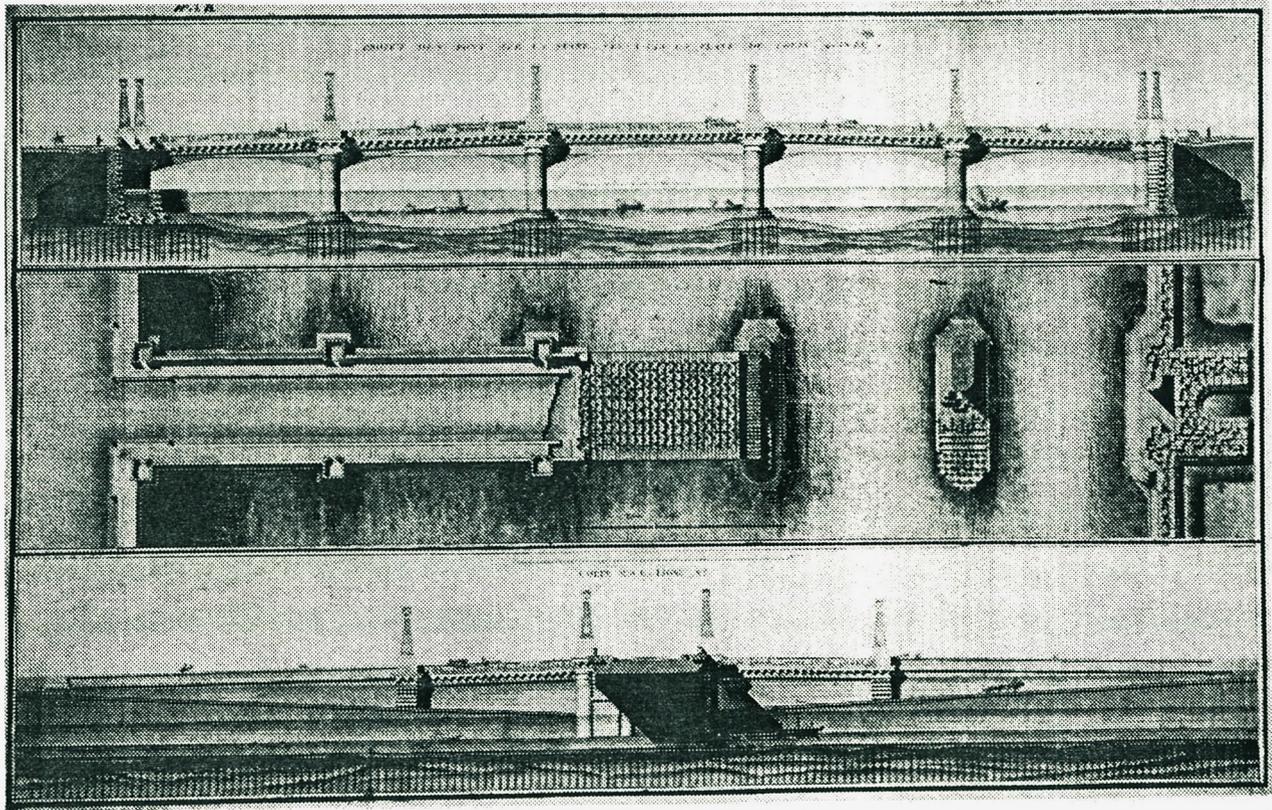
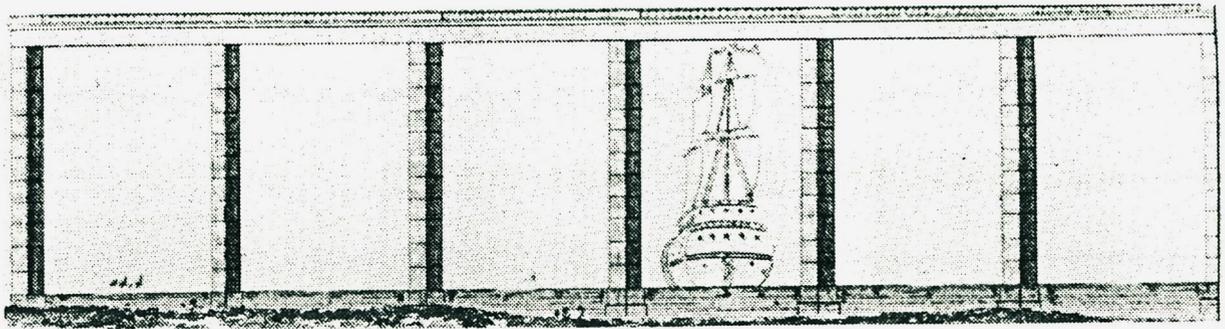
(45) Décrite par l'abbé Laugier dans son célèbre **Essai sur l'architecture** de 1753, la cabane primitive, origine et idéal de l'architecture, était édifiée à partir de quatre poteaux d'angle sur lesquels reposaient quatre poutres horizontales. Son équivalent dans le domaine des ouvrages d'art était constitué par le pont chinois de Loyang, dans la province de Fokien, entrevu par certains voyageurs, qui se composait de monolithes debout formant piles, sur lesquels reposaient des monolithes couchés en guise de tablier. Perronet s'y réfère explicitement dans ses oeuvres complètes. On trouvera par ailleurs une description de ce pont chinois à demi mythique dans : E.-M. Gauthey, **Oeuvres**, Paris, 1809-1816, t.1, pp. 39-40, pl. III, fig. 52,53.



M.-A. Laugier, *Essai sur l'architecture* (1753), frontispice montrant la cabane primitive origine de l'architecture et modèle d'un art rationnel selon l'auteur. La cabane primitive de Laugier constitue un parfait exemple de lisibilité spatiale et constructive. Elle permet de faire coïncider l'analyse des notions fondatrices de la discipline architecturale avec celle des parties d'ouvrage et de leurs fonctions.



Pitrou, *Recueil de différents projets d'architecture de charpente et autres concernant la construction des ponts* (1756), projet de pont en bois. Par sa simplicité, le pont en bois évoque l'ouvrage d'art primitif. Comme la cabane de l'abbé Laugier, il fonctionne sur une distinction affirmée entre éléments verticaux et horizontaux, éléments porteurs et portés, piles et tablier.



E.-M. Gauthey, *Œuvres* (1809-1816), J.-R. Perronet, pont Louis XVI, dessin E.N.P.C. Composé d'un empilement de monolithes, le pont de Fokien évoque également la simplicité et la lisibilité de la construction primitive. Au pont Louis XVI, l'actuel pont de la Concorde, Perronet veut rappeler cette simplicité et cette lisibilité, sans en revenir pour autant à un simple empilement de pierres. Tandis que la minceur des piles de son ouvrage évoque celle des appuis verticaux du pont de Fokien, une corniche très saillante vient souligner la linéarité du pont. La distinction entre éléments verticaux et horizontaux, éléments porteurs et portés, se voit ainsi réaffirmée.

civilisation (46), selon un schéma proche de la pensée rousseauiste ? A partir de ce moment-là, peut s'introduire un nouveau type de débat, entre un modèle idéal, d'une antiquité fabuleuse, et les réalisations des temps modernes. La revendication d'une lisibilité constructive aussi parfaite que possible doit s'adapter à des exigences techniques sophistiquées qui la contrarient en partie. De l'église Sainte-Geneviève de Soufflot aux ponts de Perronet, la plupart des grands ouvrages de la seconde moitié du XVIIIème siècle portent l'empreinte de cette recherche du compromis.

Avec leur complexité, qui les éloigne irrémédiablement de l'origine, les expériences et les audaces de toutes sortes ouvrent en réalité la voie à l'utilisation de l'analyse mathématique dans le domaine de la construction (47). Proche encore de la théorie vitruvienne, le savoir technique traditionnel se fondait sur l'énumération et sur la considération de rapports de similitude entre le tout et les parties. Là où la géométrie euclidienne, si présente dans les traités classiques, raisonnait de manière le plus souvent synthétique, l'analyse mathématique va exploiter les effets d'échelle mis en évidence par le débat constructif des Lumières. Elle va bientôt manipuler des seuils, des limites, gérer des convergences et des divergences. Sans en avoir toujours clairement conscience, Soufflot et Perronet débouchent, dans leur volonté d'innover, sur la nécessité d'une étude des lois de la matière. Dans les domaines de l'hydraulique ou de la résistance des matériaux, on recherchera désormais les paramètres limites de l'écoulement uniforme, ou les seuils d'élasticité des solides. Avec leurs hypothèses de validité, des lois de comportement vont progressivement se substituer à la simple détermination de valeurs moyennes, conduisant à une solidité attestée

(46) Pour obtenir en particulier de grandes portées, nécessaires à la réalisation d'églises ou d'ouvrages d'art importants, on ne peut pas se contenter des techniques de construction en tas de charge, qu'imposent les modèles de la cabane ou du pont primitif. Ce problème est souligné par la plupart des auteurs de traités, à commencer par Perronet.

(47) De manière significative, Prony est l'un des premiers à appliquer les outils de l'analyse mathématique à un problème concret de construction, dans un mémoire destiné à prendre la défense du pont de Neuilly de Perronet, dont on avait mis en cause la stabilité. G. Riche de Prony, **Application de la mécanique des voûtes à la construction du pont de Neuilly**, E.N.P.C., MS 2215.

par la tradition, et décelable visuellement sous les espèces de la proportion. Dans les dernières années du XVIIIème siècle, se font ainsi jour un ensemble de tensions entre l'analyse morphologique, les exigences de lisibilité qu'elle recouvre, et la possibilité de recourir à des méthodes de calcul renouvelées, n'entretenant qu'un rapport lointain avec l'impression visuelle de clarté et de solidité des ouvrages. C'est ce débat que désamorce provisoirement l'idéal analytique, en se proposant de réconcilier la simplicité de l'origine avec la sophistication des techniques contemporaines. En même temps, elle contribue à préserver l'unité de la construction, que Prony peut définir comme "*cette longue chaîne qui commence aux besoins de premières nécessité, & qui finit aux recherches les plus sublimes & les plus profondes (...), depuis la machine industrielle & simple qui moult le blé, jusqu'à l'édifice compliqué qui transporte l'homme au-delà des mers*" (48). En dépit des prétentions universalisantes de l'Analyse, cette longue chaîne est bien près de se rompre en certains points, on y reviendra.

7. ANALYSE DES BESOINS ET PROJETS INNOVANTS.

L'exigence de lisibilité à laquelle on a fait allusion précédemment, ne concerne pas seulement la construction. Elle s'étend aussi à l'art de dresser des plans, de projeter des édifices de toutes sortes. Sous cet angle, elle se révèle indissociable des perfectionnements apportés à l'art de la distribution des habitations par les architectes des Lumières (49), ainsi que du proto-fonctionnalisme, décelable dans la conception de nombreux bâtiments publics, qui conduit à l'émergence de la notion d'équipement (50). L'analyse des besoins doit désormais précéder les partitions de l'espace, quelque soit le type de programme envisagé. Reste à savoir si l'art de projeter peut donner naissance à une science aussi rigoureuse que la mécanique ou la stéréotomie.

(48) G. Riche de Prony, *Réflexions...*, op. cité.

(49) Lire par exemple : A. Debarre-Blanchard, M. Eleb-Vidal, *Architecture domestique et mentalités. Les traités et les pratiques XVIème-XIXème siècle*, Paris, 1984.

(50) Cf. B. Fortier, "*Logiques de l'équipement. Notes pour une histoire du projet*", in *Architecture - Mouvement - Continuité*, n° 45, 1978, pp. 80-85.

Telle est en tout cas l'ambition que nourrira par la suite le professeur d'architecture de l'Ecole Polytechnique, Jean-Nicolas-Louis Durand, en proposant à ses élèves une "*Marche à suivre dans la Composition d'un Projet quelconque*", entièrement codifiée (51).

En liaison avec les reformulations théoriques auxquelles l'architecture se voit contrainte à la charnière des XVIIIème et XIXème siècles, l'analyse des besoins et sa mise en correspondance avec un vocabulaire de formes simples, imprègnent de nombreux projets d'architectes et d'ingénieurs. L'architecture "*autonome*", bien connue des historiens d'art (52), qui fait son apparition autour des années 1770-1780, n'est pas sans liens avec l'idéal analytique (53), même si la démarche d'architectes comme Boullée et Ledoux possède une toute autre portée. Mais cet idéal triomphe surtout dans les projets d'arsenaux dressés par les ingénieurs des Ponts et Chaussées dans une perspective de rationalisation de la construction navale. Peu avant la Révolution commence par exemple la réalisation de Cherbourg, tandis que l'on étudie les potentialités des sites de La Hougue et Calais. Plus tard, sous l'Empire, les ingénieurs réfléchiront à l'aménagement de Boulogne, Anvers, Gênes, Ancône ou La Spezia, dans le cadre d'une France dilatée aux limites de l'Europe.

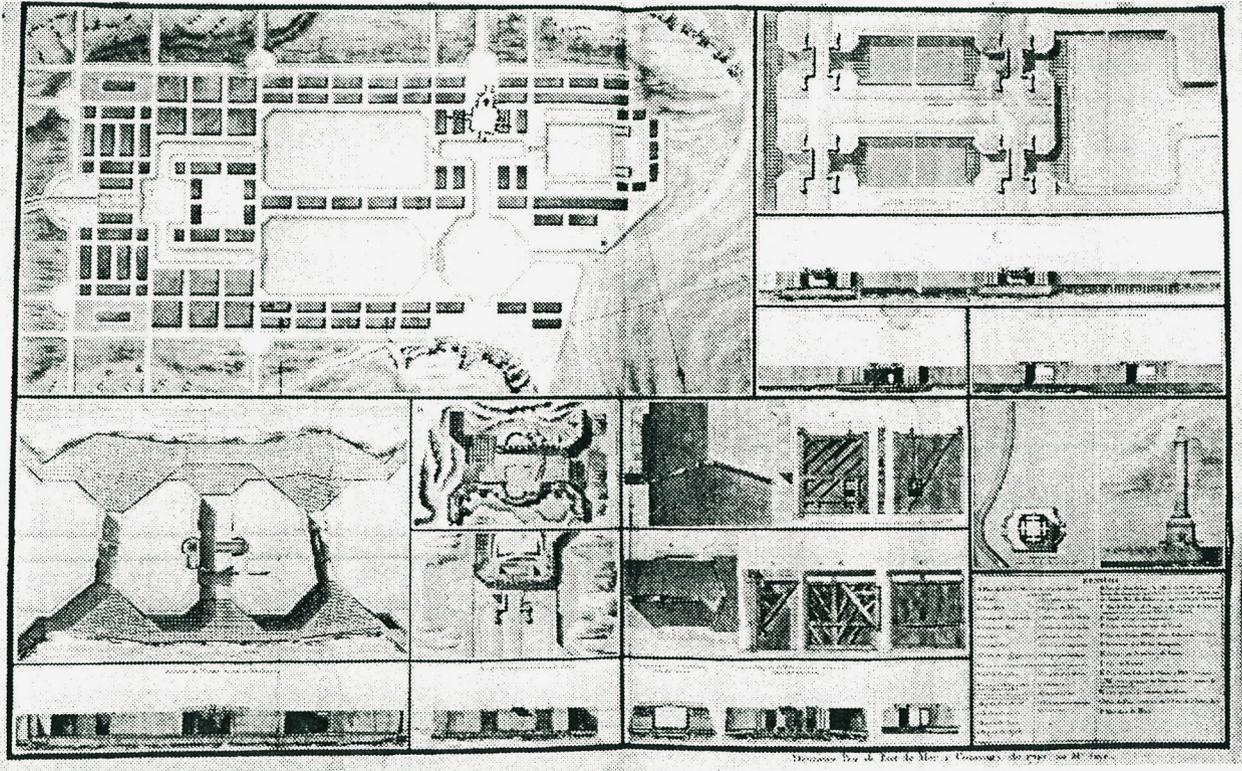
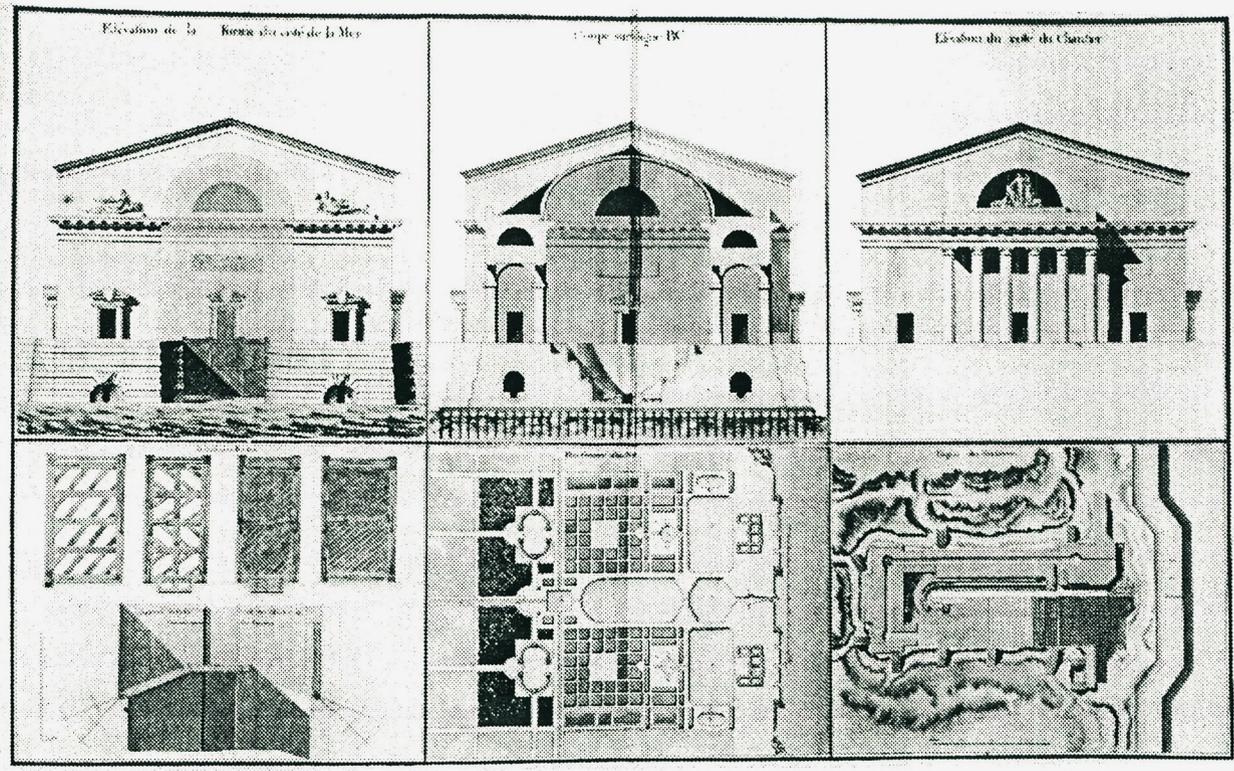
Dans *Les vaisseaux et les villes* (54), Alain Demangeon et Bruno Fortier ont étudié en détail ces projets, en soulignant qu'ils s'inspirent d'une volonté de préfabrication des vaisseaux, qui conduit à

(51) J.-N.-L. Durand, *Précis des leçons d'architecture données à l'Ecole Polytechnique*, Paris, 1802-1805, rééd. Paris, 1817-1819, vol. 1, pp. 90-99, pl. 21. Sur l'oeuvre de Durand, lire par ailleurs : N. Szambien, *Jean-Nicolas-Louis Durand 1760-1834. De l'imitation à la norme*, Paris, 1984.

(52) Le terme a été introduit par Emil Kaufmann. Voir : E. Kaufmann, *De Ledoux à Le Corbusier. Origine et développement de l'architecture autonome*, Vienne, 1933, trad. française, Paris, 1981.

(53) Ces liens sont particulièrement nets dans le cas de Boullée, qui tente de fonder l'esthétique architecturale sur la sensation, en partant des corps les plus simples, dont la combinaison doit procurer des émotions plus complexes au spectateur. E.-L. Boullée, *Architecture. Essai sur l'art*, textes réunis et présentés par J.-M. Pérouse de Montclos, Paris, 1968.

(54) A. Demangeon, B. Fortier, *Les vaisseaux et les villes*, Bruxelles, Liège, 1978.



H. Faye, projet de forme de radoub et projet de port pour les concours de travaux maritimes de l'Ecole des Ponts et Chaussées de 1789 et 1790. Deux compositions fondées sur une analyse fonctionnelle et sur des procédures d'allocation spatiale rigoureuses.

concevoir les arsenaux comme des manufactures modèles, où les pièces des navires doivent être standardisées, répertoriées et stockées, pour permettre l'assemblage rapide de toute une flotte, en cas de besoin. Pour obtenir cette rapidité d'assemblage, il faut rationaliser les tâches des ouvriers, les transformer en étapes d'un même processus, soumis à un contrôle rigoureux. Les projets d'arsenaux reflètent ces impératifs de production. Leur tracé obéit à une géométrie sévère, machinique, fondée sur une analyse des fonctions à laquelle correspond une partition de l'espace, recomposé par la suite en termes de processus. Les logiques de stockage, de flux, de mouvement et de processus, qui s'expriment de la sorte placent les schémas de composition classiques en situation de crise. Projets analytiques par excellence, les arsenaux modèles constituent les prototypes d'un nouvel espace, dont les caractéristiques se retrouveront bientôt dans les villes nouvelles de la période napoléonienne (55).

Dans de tels projets, la notion de processus s'avère incontournable. On a parlé des arsenaux, on aurait pu évoquer, dans un ordre d'idées assez voisin, la saline d'Arc-et-Senans de Ledoux, qui tente également de contrôler la production au moyen d'agencements formels (56). Cette ambition de contrôle traduit une autre dimension de l'utopie analytique : celle d'une correspondance terme à terme, presque langagière, entre forme, fonction et structure productive, dont il faudra bientôt tempérer les excès.

8. ANALYSE DES PROCESSUS, DIVISION DU TRAVAIL, FABRICATIONS ET ENSEIGNEMENTS "REVOLUTIONNAIRES".

Les projets d'arsenaux des ingénieurs participent en réalité de l'intérêt qui s'attache au XVIIIème siècle aux questions manufacturières et à la rationalisation de la production. La *Description des arts et métiers*, entreprise sous l'égide de l'Académie des Sciences, ou les

(55) Cf. G. Teyssot, *Nascita della città di stato Ingegneri e architetti sotto il Consolato e l'Impero*, Roma, 1983.

(56) Cf. A. Vidler, *Ledoux*, Paris, 1987, p. 41 et suivantes.

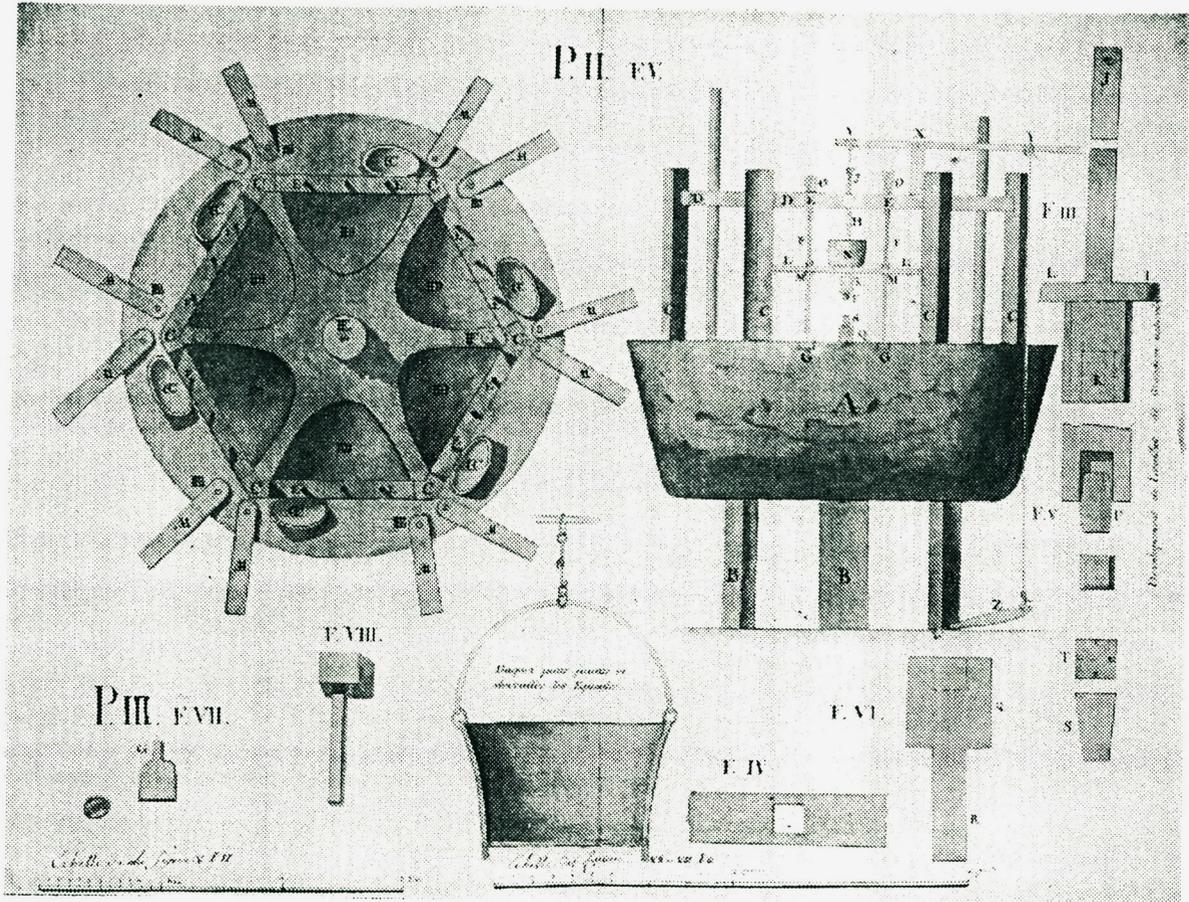
planches de l'**Encyclopédie** consacrées aux métiers, témoignent de cet intérêt. De nombreux ingénieurs apportent leur contribution au vaste mouvement d'investigation qui s'amorce. En 1739-1740, Perronet étudie par exemple la fabrication des épingles à Laigle en Normandie, rédigeant à cette occasion deux mémoires dont certains aspects seront repris dans l'**Encyclopédie** et l'**Encyclopédie Méthodique** (57). S'attachant à la description précise et cotée des postes de travail et à la division des tâches, l'ingénieur fait un peu figure de précurseur d'Adam Smith. Il concevra par la suite les chantiers de ses grands ponts sur le modèle de la manufacture, en cherchant à obtenir le même enchaînement rigoureux des séquences de production. Dans un genre assez différent, les essais sur la force des hommes conduisent à poser des problèmes d'ergonomie, qui peuvent apparaître comme de lointains jalons de l'évolution menant au taylorisme (58). Ces différentes recherches s'organisent suivant quelques grands axes, toujours les mêmes, que l'Analyse va reprendre à son compte, sous la Révolution principalement.

Synonyme d'efficacité, l'enchaînement harmonieux des séquences de production constitue l'un de ces axes de recherche, qu'il serait tentant de rapprocher du principe de continuité de la transmission des efforts, qui sous-tend l'oeuvre mécanique d'un Lazare Carnot (59). L'atelier idéal ne devrait-il pas fonctionner comme une machine à plein rendement, sans heurt ni rupture ? L'étude de la division du travail se greffe sur cette préoccupation, au même titre que la décomposition des tâches ouvrières en gestes élémentaires, qui précède leur recombinaison rationnelle. Une telle décomposition, suivie d'un réarrangement, indique les modalités d'ancrage de l'Analyse. Le geste n'est-il pas relié immédiatement à la

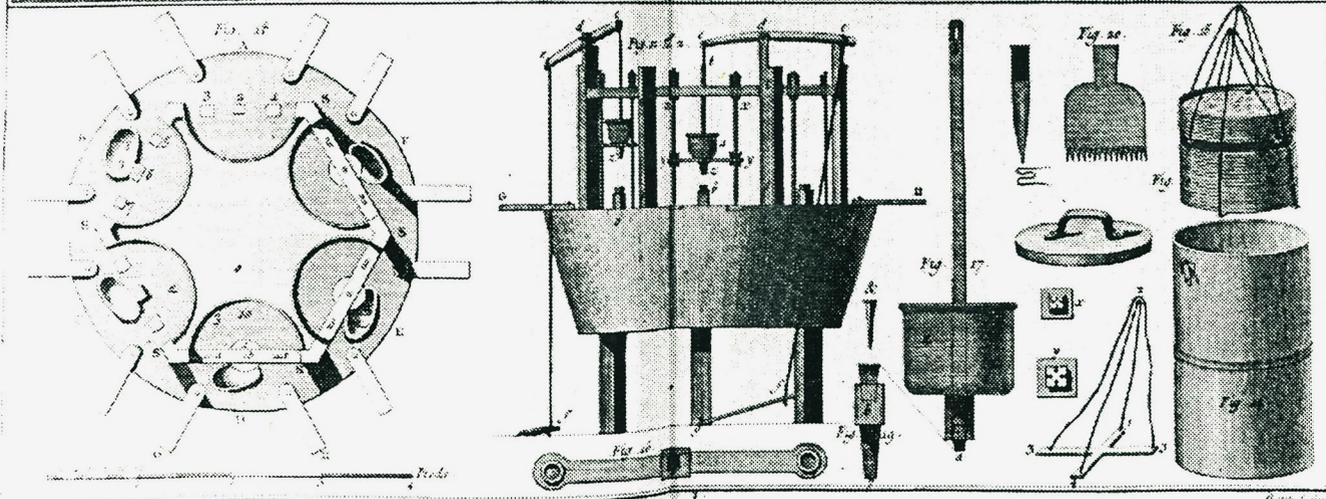
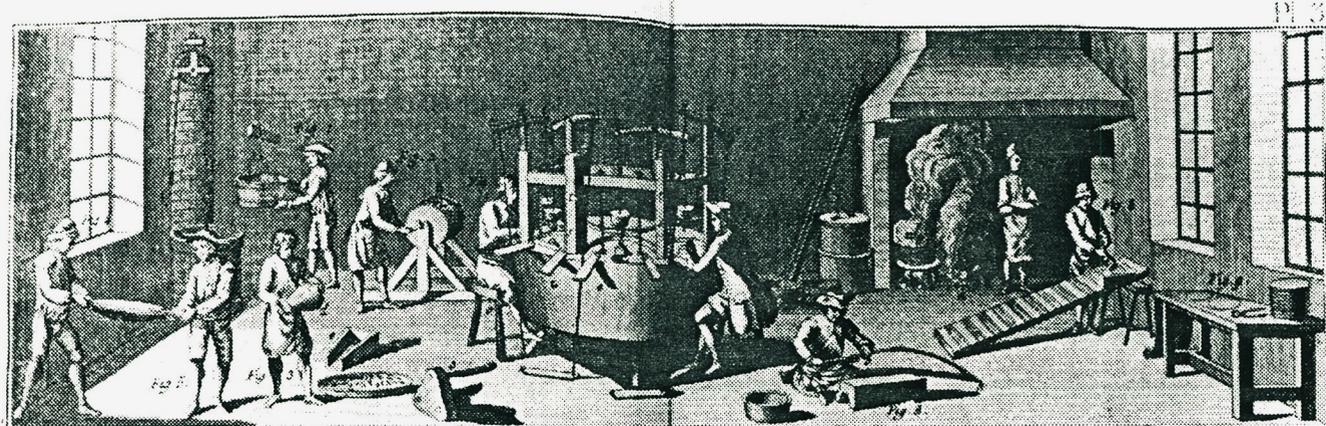
(57) J.-R. Perronet, **Description de la façon dont on fait les épingles à Laigle en Normandie**, 1740, E.N.P.C., MS 2385 ; **Explication de la façon dont on réduit le fil de laiton à différentes grosseurs dans la ville de Laigle en Normandie**, 1739, E.N.P.C., MS 2383.

(58) Coulomb poursuivra par exemple des travaux sur le travail humain toute sa vie durant. Cf. C. Stewart Gillmor, **Coulomb and the evolution of physics and engineering in eighteenth-century France**, Princeton, 1971, p. 78. Voir par ailleurs : B. Doray, **Le taylorisme, une folie rationnelle ?**, Paris, 1981.

(59) Cf. C.-C. Gillispie, A. Youschkevitch, **Lazare Carnot savant et sa contribution à la théorie de l'infini mathématique**, Paris, 1979, p. 96 notamment.

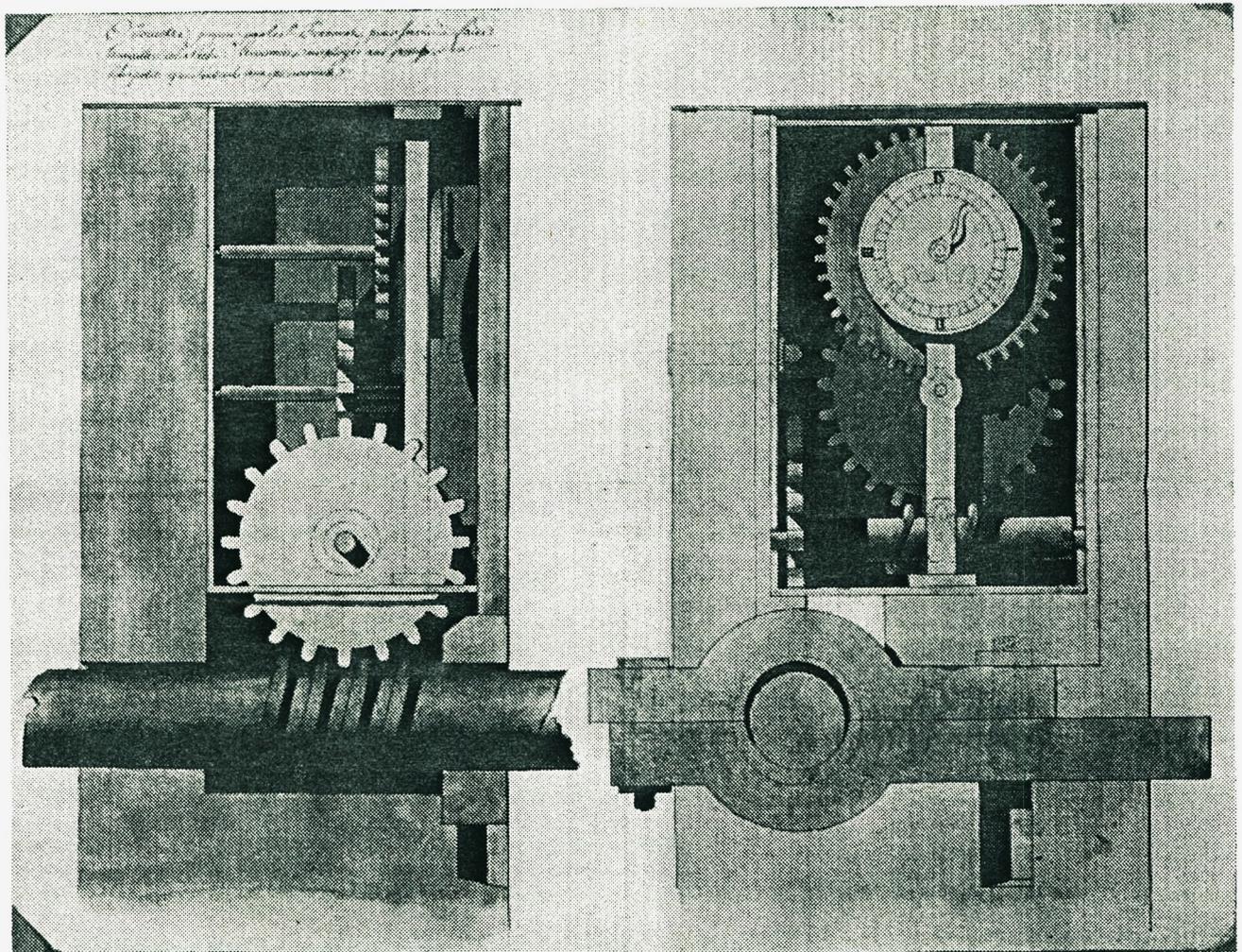


J.-R. Perronet, *Description de la façon dont on fait les épingles à Laigle en Normandie* (1740), manuscrit E.N.P.C., dessin de la machine utilisée pour sertir les têtes d'épingles.

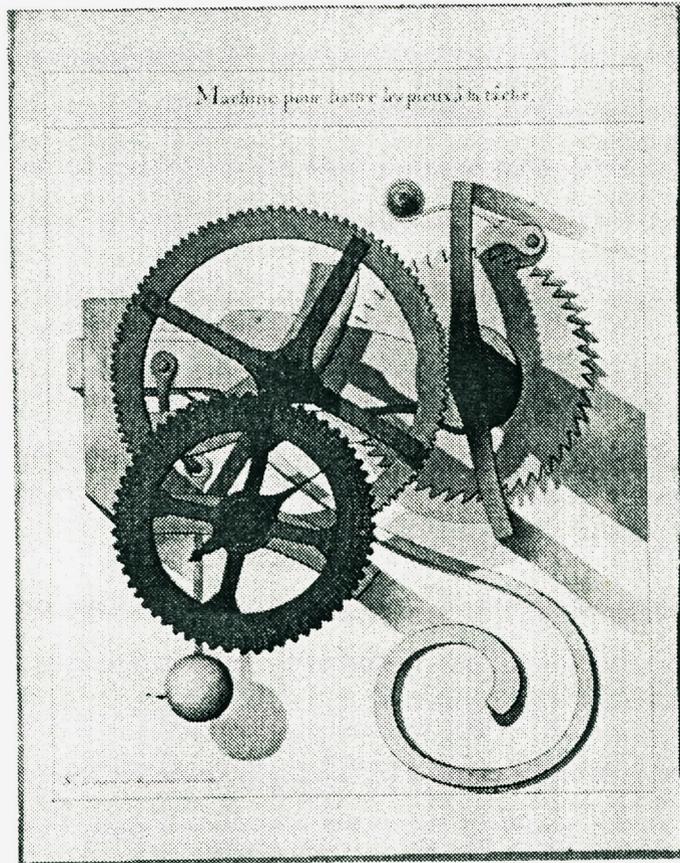


F. mailler.

Encyclopédie méthodique (1782-1832), description de la fabrication des épingles d'après Perronet.



J.-R. Perronet, *Odomètre pour servir à faire travailler les ouvriers à la tâche les ouvriers employés aux pompes à chapelets qui servent aux épaissements et machine pour battre les pieux à la tâche* (1752), manuscrit E.N.P.C. Dans une perspective de rationalisation des tâches de chantier s'inspirant de l'organisation manufacturière, Perronet veut contrôler aussi précisément que possible le travail des ouvriers en le rémunérant à sa juste valeur, en fonction de l'effort déployé et non plus du temps passé. Permettant de compter les tours de manivelle donnés par les équipes affectées aux pompes, l'odomètre sera testé sur le chantier du pont de Saumur par l'ingénieur De Voglie en 1752.



sensation ; n'inaugure-t-il pas, aux yeux de Condillac et de ses successeurs, ce "langage d'action" qui se confond avec les premières formes de rationalité ? L'application de la méthode analytique à la production manufacturière autorise alors un réinvestissement de l'origine par la pensée rationnelle parvenue à maturité, et par les savoirs scientifiques et techniques qu'elle manipule. Comme le rappelle à ce propos Prony, les sciences ne sont jamais que les fruits d'un processus social de division du travail (60). Rien ne s'oppose à leur réintroduction aux stades les plus élémentaires de l'activité humaine, au départ du processus de spécialisation qui leur donne naissance. A nouveau, l'Analyse permet de renverser les barrières qui séparent la théorie de la pratique. Elle rend du même coup possible la définition de politiques techniques ambitieuses, dans lesquelles la science concourt directement à la réorganisation de la production, en s'injectant jusque dans les flux et les mouvements des ateliers. Préfigurée par l'action de Lavoisier à la tête de la Régie des poudres à la fin de l'Ancien Régime (61), cette conception triomphe sous la Révolution, avec les fameuses fabrications révolutionnaires, auxquelles concourent des savants aussi prestigieux que Vandermonde, Monge ou Berthollet (62). D'une analyse portant aussi bien sur les savoirs-faire traditionnels que sur les procédés nouveaux, découverts par la science, doit naître une industrie de l'acier, des armes et des munitions, orgueil de la République et gage de son succès sur l'ennemi massé aux frontières.

Dans ce contexte, des ouvrages didactiques comme l'*Avis aux ouvriers en fer sur la fabrication de l'acier* ou la *Description de l'art de fabriquer les canons...*, publiés par ordre du Comité de Salut Public (63), indiquent l'importance prise par l'éducation technique et la diffusion

(60) G. Riche de Prony, *Mécanique philosophique ...*, op. cité, p. 1.

(61) Voir : C.-C. Gillispie, *Science and Polity in France at the end of the Old Regime*, Princeton, 1980, p. 50 et suivantes.

(62) Voir : C. Richard, *Le Comité de Salut public et les fabrications de guerre sous la Terreur*, Paris, 1922.

(63) A.-T. Vandermonde, G. Monge, C.-L. Berthollet, *Avis aux ouvriers en fer sur la fabrication de l'acier*, s.n.l.d. ; G. Monge, *Description de l'art de fabriquer les canons*, faite en exécution de l'arrêté du Comité de Salut public du 18 pluviôse de l'an 2 de la République française, une et indivisible, Paris, an 2.

du savoir. Pour Condorcet, l'instruction des ouvriers pouvait seule contrebalancer les effets néfastes de la division du travail, son caractère aliénant, déjà souligné par Adam Smith dans *La Richesse des nations* (64). Indépendamment de toute considération humaniste, l'éducation s'avère indispensable pour lutter contre la routine et dynamiser les hommes à tous les niveaux, en les intégrant à des dispositifs innovants. Mais cette éducation doit être rapide, pour que l'appareil de production puisse répondre à la demande pressante des armées, qui réclament des armes et des munitions. La lenteur n'est-elle pas d'autre part contre-révolutionnaire, en permettant à des corps intermédiaires de professeurs de se reconstituer à la mode de l'Ancien Régime, et de venir s'interposer sans nécessité véritable entre la science et ses applications ? On reconnaît alors la pratique quelque peu déconcertante des cours "révolutionnaires", qui bat son plein sous la Terreur, avec les leçons relatives au salpêtre et à la fabrication de la poudre, au fer et aux canons, données par les savants pour former des contremaîtres et des ouvriers d'élite (65). Pour les tenants de l'Analyse, le rôle joué par cette dernière dans l'accélération de la transmission des connaissances ne fait aucun doute. "*Méthode de l'esprit humain*", elle permet de rationaliser l'apprentissage, au même titre que la pratique. Pourquoi ne pas transposer dans ce cas l'organisation de cours "révolutionnaires" à d'autres domaines que celui des fabrications manufacturières ? L'une des premières transpositions, la plus naturelle somme toute, concerne les gestes du soldat et le maniement des armes. De juin à octobre 1794, l'Ecole de Mars va réunir quelques 3000 jeunes gens, afin de former des soldats républicains de manière accélérée (66). L'éducation technique doit concerner cependant toutes les couches de la population, chacune suivant ses talents. A l'idéal de progressivité des séquences de production répond la gradation des facultés et des connaissances, qu'une même méthode relie, celle-là même qui permet d'envisager une formation accélérée, rompant définitivement avec les lenteurs et les préjugés de l'Ancien Régime. Dans cette perspective, il ne faut pas s'étonner de

(64) Cf. C. Kintzler, *Condorcet L'instruction publique et la naissance du citoyen*, Paris, 1987, pp. 114-115.

(65) Voir : C. Richard, op. cité, p. 469 et suivantes.

(66) Voir : A.G., Art. 19, "*Ecoles diverses*", Sect. 2 "*Ecole de Mars 1794*".

voir Foucroy présenter le premier projet d'organisation de l'Ecole Polytechnique en septembre 1794, en se référant aux fabrications révolutionnaires, qui ont ouvert les yeux du Comité de Salut public sur l'efficacité "*de moyens nouveaux puisés dans les sciences géométriques et physiques*" (67). Selon lui, l'Ecole doit devenir le conservatoire de ces nouveaux moyens, que la division du travail permet de propager encore plus rapidement. Dans le même esprit que les enseignements relatifs à la fabrication de la poudre et des canons, l'Ecole Polytechnique commencera son existence par des cours "*révolutionnaires*", destinés à la rendre d'emblée opérationnelle (68). Le désir de voir se résorber l'écart entre théorie et pratique atteint alors son comble, même si la formation des ingénieurs ne peut pas imiter aussi directement la pratique que les cours que l'on destine aux ouvriers ou aux soldats de la République. Une même communauté de destin, des principes identiques, relie des conditions que tout sépare en apparence. Relayée par les thèmes de la division du travail et de l'accélération révolutionnaire de tous les processus innovants, l'idéal analytique confine, on le voit, à l'utopie sociale et productive. Il faudra par la suite réévaluer les barrières de classes, les différences de langage et l'inertie du système de production. En attendant ces redéfinitions souvent douloureuses, la formation des ingénieurs participe d'une exaltation que l'on retrouve également dans l'institution, même éphémère, des Ecoles Normales, destinées à former des professeurs d'un nouveau genre, affranchis de tout préjugé, pour étendre et propager les lumières dans l'enseignement secondaire (69).

Pour terminer sur ce sujet, il n'est peut être pas inutile d'évoquer ici l'une des "*fabrications*" révolutionnaires les moins connues, celle où

(67) A.-F. de Foucroy, rapport et projet de décret du 7 vendémiaire an 3 (28 septembre 1794), reproduit dans : J. Langins, op. cité, pp. 200-226, p. 203 en particulier.

(68) Les cours "*révolutionnaires*" de l'Ecole Polytechnique devaient permettre le recrutement simultané des trois premières promotions d'élèves, et la sortie de la première d'entre elles un an seulement après le démarrage de l'institution. Cf. J. Langins, op. cité, p. 19 et suivantes.

(69) Sur les liens entre l'Ecole Polytechnique et l'Ecole Normale de Paris, la seule qui ait été finalement créée, voir : J. Langins, op. cité. p. 93 et suivantes.

s'allient pourtant le mieux la théorie et la pratique, l'esprit analytique et la division du travail : le calcul des grandes tables logarithmiques et trigonométriques entrepris par l'administration du Cadastre, sous la direction de Prony, en complément de l'instauration du Système Métrique (70). Dans une *Notice...* publiée en 1824, l'ingénieur se targuera d'avoir dirigé "*le monument de calcul logarithmique et trigonométrique le plus vaste et le plus complet qui ait jamais existé, exécuté par des procédés nouveaux, au moyen desquels les opérations scientifiques ont été transformées en opérations qu'on peut appeller manufacturières*" (71). L'idée de fabriquer des logarithmes "*comme on fabrique des épingles*", lui serait venue après la lecture de *La Richesse des nations* (72).

Concrètement, une pyramide de compétences est mise en place ; elle comprend à son sommet "*cinq ou six mathématiciens d'un très grand mérite*", parmi lesquels figure Legendre, chargés d'établir les formules générales du calcul, puis sept ou huit calculateurs confirmés, qui dirigent une armée de tâcherons s'occupant d'additions et de soustractions (73). Quelle illustration plus frappante trouver de la structure productive dont rêvent de nombreux cadres révolutionnaires ? Grâce à cette organisation rigoureuse, seront fabriqués en moins de deux ans 10 000 sinus en nombres naturels, calculés à 25 décimales, 200 000 logarithmes, tant sinus que tangentes, calculés à 14 décimales, 10 000 logarithmes des 10 000 premiers nombres, calculés à 19 décimales, et enfin les logarithmes des nombres suivants, de 10 000 à 200 000, calculés à 14 décimales (74). En raison de leur volume, ces grandes tables ne seront jamais publiées intégralement. Leur destin est un peu à l'image de l'idéal

(70) La division décimale du cercle rendait en effet nécessaire l'établissement de nouvelles tables trigonométriques.

(71) G. Riche de Prony, *Notice sur les grandes tables logarithmiques et trigonométriques adaptées au nouveau système métrique décimal*, Paris, 1824, p. 3.

(72) *Ibid.*, p. 5.

(73) G. Riche de Prony, *Notice sur les grandes tables logarithmiques et trigonométriques calculées au bureau du Cadastre*, Paris, an 9, p. 4 et suivantes.

(74) *Ibid.*, pp. 6,7.

analytique, lentement mûri au cours de la seconde moitié du XVIIIème siècle, qui trouve un début d'application, bien vite contredit par la marche des choses, sous la Révolution.

9. LES LIMITES D'UNE DEMARCHE.

Il est temps maintenant d'aborder de front la question des limites de la démarche analytique dans le champ des techniques, après avoir essayé de mieux cerner le cadre dans lequel s'inscrit cette dernière. De la construction des ouvrages aux préoccupations manufacturières, se dégagent quelques traits saillants, qui permettent de se faire une première idée des déconvenues auxquelles s'expose l'Analyse.

Le désir de voir se résorber l'écart, tous les écarts, entre théorie et pratique, conduit tout d'abord à appliquer la "*méthode des géomètres*", ou "*méthode de l'esprit humain*", à des registres que tout sépare en apparence : le langage, le calcul, les besoins de la société, le vocabulaire de la composition architecturale et urbaine, les gestes de la production. En s'efforçant de couvrir cet immense territoire, l'Analyse peut-elle en même temps conserver une quelconque spécificité ? La sensation pure, à laquelle elle se réfère bien souvent, possède-t-elle une existence suffisamment tangible pour permettre de rassembler, d'unifier véritablement, les multiples composantes du phénomène technique ? Rien n'est moins sûr en réalité. Si toutes les sciences et tous les arts procèdent en principe de la sensation, cette origine ne possède dans la plupart des cas qu'une portée explicative limitée. Malgré les affirmations contraires, il s'avère en effet difficile de reconstituer la complexité des savoirs et des pratiques existants en partant d'une hypothétique "*sensation dénuée de tout jugement*". Par là-même se découvre la faiblesse la plus fondamentale de l'Analyse, lorsqu'elle prétend s'attaquer à d'autres domaines que la psychologie et la production du langage.

Une autre source de faiblesse provient à présent du rôle "*idéologique*", au sens moderne du terme, que joue la méthode analytique, vis-à-vis de l'action de l'ingénieur. Sa principale séduction ne provient-elle pas de la correspondance terme à terme qu'elle semble autoriser entre les réalisations techniques et les besoins de la société, en court-circuitant

au passage l'opacité des déterminations politiques et administratives, assimilées à des accidents ou à des préjugés sans grande importance ?

Derrière l'idéal de transparence analytique se profile peut-être une toute autre recherche : celle d'une légitimation incessante de la technique, dans un contexte qui voit se renforcer l'utilitarisme le plus exigeant. Il faut pour cela communiquer, sur tous les plans, en direction des intervenants les plus divers. C'est dans cet esprit que l'on accoutume les élèves de l'Ecole des Ponts et Chaussées à l'expression écrite dès les années 1780, en les faisant discuter sur des sujets d'intérêt général (75). L'ingénieur ne doit-il pas avoir acquis en effet "*un style noble et concis, soit pour exposer un projet aux ministres, soit pour pouvoir, animé par l'amour du bien public, transmettre à la postérité ses recherches*" (76). A la veille de la Révolution, on assiste par ailleurs à une multiplication de mémoires, de libelles et d'opuscules de toutes sortes, signés par des ingénieurs. Mais le nouveau régime de la communication qui s'esquisse de la sorte concerne bien d'autres domaines que l'imprimé. Le projet en porte l'empreinte, comme en témoigne le désir de lisibilité qui imprègne la réflexion constructive. C'est à ce même registre que se rattache l'architecture "*parlante*" des dernières années du XVIII^{ème} siècle, ou encore les arsenaux modèles, dont le plan révèle d'emblée ses ambitions machiniques. La communication n'est-elle pas également indispensable au bon déroulement de la production manufacturière ; ne conditionne-t-elle pas la rapidité de ses progrès sous l'égide de la science ? Reste à concilier la sensation instantanée que procure un dispositif convenablement agencé, le caractère immédiat des ordres donnés sur les chantiers ou dans les ateliers, avec les calculs des savants et des ingénieurs, qui diffèrent précisément la sensation et la communication qui en est issue. Du langage du projet, du calcul aux ordres donnés sur le terrain, la multiplicité des messages se laisse difficilement réduire à un modèle unique, qui garantirait leur efficacité, en luttant contre un phénomène de dispersion menaçant. C'est

(75) Cf. A. Picon, "*Les écritures de la technique. Une étude des Concours de Style de l'Ecole des Ponts et Chaussées à la fin du XVIII^{ème} siècle*", in J. Michel, C. Vié et al., **Raison - Projet - Représentation La formation architecturale des ingénieurs à l'Ecole des Ponts et Chaussées au XVIII^{ème} siècle**, rapport de recherche S.R.A., M.U.L.T., Paris, 1983, pp. 243-275.

(76) De Bourges, dissertation d'élève, 1779, E.N.P.C., MS n.c.

cette menace que tente pourtant de conjurer l'Analyse, en cautionnant au passage les analogies langagières les plus débridées.

Bien des questions restent en suspens, ce faisant. Pour commencer, l'Analyse recouvre une volonté de redéfinition des rapports entre théorie et pratique dont les modalités concrètes sont loin d'être aussi évidentes que le supposent des ingénieurs comme Prony. Si les principales articulations du savoir doivent en effet se calquer sur les déterminations du métier, sur quel plan se situe cette imitation ? Pour les ouvriers, formés grâce aux cours "révolutionnaires", la théorie imite directement la pratique, puisqu'elle se contente de prescrire les procédés et les gestes les plus efficaces. Mais cette imitation naïve ne saurait convenir aux élèves de l'Ecole des Ponts et Chaussées, on l'a vu, encore moins à ceux de Polytechnique, qui se forment au contact des sciences les plus abstraites. Différents niveaux d'application doivent être ainsi distingués, bien que la méthode analytique n'en dise rien, faute d'outils permettant de repenser véritablement cette notion d'application.

Une autre ambiguïté se fait jour à propos du caractère volontiers généalogique des divisions du savoir opérées au nom de l'Analyse. Quels rapports peut-on établir entre ces divisions, ces généalogies, et l'ordre d'apparition des connaissances dans l'histoire de l'humanité ? Faut-il d'autre part se conformer à des distinctions d'une nature plus philosophique que pédagogique au moment d'enseigner, au risque de rebuter les élèves ? Sur l'un et l'autre de ces points règne un certain consensus parmi les ingénieurs. L'ordre des raisons analytiques ne saurait se confondre avec l'histoire réelle des tâtonnements du genre humain. Si pour Prony *"une science n'est jamais qu'un tableau raisonné ou une histoire philosophique de telle ou telle partie de l'esprit humain"* (77), ce tableau demeure avant tout intellectuel. Bien des erreurs, bien des préjugés, ont été nécessaires en pratique pour parvenir à reconstituer l'enchaînement idéal des connaissances. Heureusement, la possession de cet enchaînement dispense des longs détours de l'histoire réelle, en permettant aux élèves de répéter *"en peu d'instantes des combinaisons que les plus grands génies ont été*

(77) G. Riche de Prony, *Réflexions...*, op. cité.

plusieurs siècles à trouver" (78). Professeur de fortification à l'Ecole Polytechnique de 1795 à 1797, l'ingénieur du Génie Catoire souscrit également à cette opinion, en supprimant de son enseignement l'histoire, désormais inutile, des différents systèmes de fortification, afin de suivre la marche de la nature et l'ordre véritable dans lequel se posent les problèmes de défense (79). Loin de compliquer la tâche du professeur, l'Analyse semble ainsi conduire à la définition d'une pédagogie plus efficace. Mais l'optimisme dont font ainsi preuve certains ingénieurs est-il vraiment de mise ? Dans son **Rapport et projet de décret sur l'organisation générale de l'Instruction publique** de 1792, Condorcet avait déjà mis en doute l'efficacité pédagogique des divisions philosophiques du savoir (80). Les faits lui donneront finalement raison. En dépit des affirmations de principe, la méthode analytique ne parviendra jamais vraiment à clarifier son articulation avec l'histoire et les processus d'apprentissage. Autant dire que l'ordre de ses raisons demeurera toujours plus théorique que pratique.

Il faut insister enfin sur le contraste qui s'accuse entre les prétentions universalisantes de l'Analyse, et l'éclatement des savoirs et des pratiques qui se produit au même moment. A l'image d'un siècle qui se préoccupe de réunir les sciences et les arts, alors même qu'ils divergent inexorablement, la méthode analytique veut relier à tout prix des réalités qui s'ignorent de plus en plus. Dans une série d'essais rédigés vers 1783, Prony faisait déjà remarquer que la perfection des beaux-arts paraissait pour le moins étrangère à celle des sciences. En remontant à la sensation, ce divorce semblait toutefois s'atténuer (81). Dans les *Réflexions...*, le recours à la sensation permet d'abolir des frontières jugées artificielles, pour redécouvrir que "*l'art de discuter et*

(78) Ibid.

(79) F.-H.-C. Catoire, *Exposé de la méthode de l'Enseignement du Cours de fortification à l'Ecole Polytechnique*, 10 germinal an 4 (30 mars 1796), A.G. Art. 19, "*Ecoles diverses*", Sect. 3 "*Ecole Polytechnique 1794-1852*".

(80) J.-A.-N. de Caritat de Condorcet, *Rapport et projet de décret sur l'organisation générale de l'Instruction publique*, Paris, 1792, rééd. Paris, 1793, p. 17-18.

(81) G. Riche de Prony, *Fragments sur la théorie des beaux-arts*, 1783, E.N.P.C., MS 1892.

d'analyser n'est point incompatible avec celui de peindre et d'émouvoir" (82). Il n'en demeure pas moins qu'entre le calcul mathématique et les impressions visuelles de solidité ou de grâce qui émeuvent l'amateur d'architecture, l'écart continue à se creuser.

Dans un ordre d'idées un peu différent, d'autres scissions se préparent au sein du monde des techniques, entre l'aménagement du territoire et les logiques manufacturières par exemple (83). La notion de construction semble elle-même sur le point d'éclater. Bien que Prony continue à y voir une "*longue chaîne*", embrassant toutes les machines, tous les édifices, a priori concevables, son unité se vide progressivement de son sens. La conception des machines à vapeur n'aura bientôt plus rien à voir avec celle des routes, des écluses et des ponts (84). A la fin du XVIIIème siècle, s'amorce un processus de spécialisation, qui trouve sa contrepartie dans des institutions comme l'Ecole Polytechnique, qui réunit les futurs ingénieurs, leur dispensant un tronc commun de connaissances, pour mieux les répartir par la suite dans les différents services publics. Ce processus n'évoque-t-il pas au passage les alternatives de réunion et de division qui traversent à peu près au même moment

(82) G. Riche de Prony , *Reflexions ...*, op. cité.

(83) Dans la première moitié du XIXème siècle, le dialogue sera souvent difficile entre les ingénieurs d'Etat, chargés de l'aménagement du territoire, et les premiers ingénieurs de production, travaillant pour le compte du secteur privé. A la veille de la Révolution, la proposition faite par Roland de former les inspecteurs des manufactures à l'Ecole des Ponts et Chaussées, surtout spécialisée dans les problèmes de cartographie, de routes et d'ouvrages d'art, possède déjà un caractère quelque peu irréaliste, même si des ingénieurs des Ponts participeront par la suite aux fabrications révolutionnaires. Sur les idées de Roland, cf. J. Guillerme, "*Roland de la Platière et les patiences de l'inspection méthodique Contribution à l'archéologie de la condition d'ingénieur civil*", in *L'ingénieur dans la société française*, Paris, 1985, pp. 13-18.

(84) C'est peut-être parce qu'il pressent ce divorce, que Prony consacre le second volume de sa *Nouvelle Architecture Hydraulique* aux machines à feu. Sur la construction mécanique française au début du XIXème siècle, on pourra consulter : J.-M.-E. Edmonson, *From mechanic to ingenieur : technical education and the machine building industry in nineteenth-century France*, thèse de l'université de Delaware, 1981.

les projets de constitution d'un Sieyès ou d'un Destutt de Tracy (85) ? Ne figure-t-il pas d'ailleurs au programme de l'Analyse, dans toute sa généralité, qui affirme simultanément l'unité de la connaissance, plongée dans une nature que les sciences découpent arbitrairement, et la multiplicité des circonstances particulières sous lesquelles elle se présente concrètement (86) ? C'est peut-être au travers de cette figure paradoxale de l'unité et de la multiplicité, de la réunion et de la dispersion, qui se propage de la classification des sciences à la politique, en passant par la formation et la pratique des ingénieurs, que se laissent le mieux appréhender les ambitions et les limites de l'idéal analytique.

10. LA FIN DU "PARADIGME VITRUVIEN".

Dans le domaine qui nous occupe, cette figure se détache, ne l'oublions pas, sur un fond d'éclatement des savoirs et des pratiques, révélateur d'une situation de transition entre l'âge classique et la première modernité. Ce qui se défait, c'est une certaine stabilité de l'organisation technologique, un ensemble de régularités que l'on aimerait caractériser à présent par une notion de paradigme, transposée assez librement des travaux de Kuhn (87). Par paradigme technique, on entendra ici une organisation du savoir et de la pratique technique, porteuse

(85) Cf. L. Girard, *Les libéraux français 1814-1875*, Paris, 1985, p. 24 et suivantes. Sur les conceptions politiques des idéologues, on pourra consulter également : M. Régaldo, *"Lumière, élite, démocratie : la difficile position des idéologues"*, in *Dix-huitième siècle*, n°6, 1974, pp. 193-207.

(86) Par suite, l'instruction doit à la fois se proposer l'explicitation de l'unité sous-jacente du savoir, et l'exploration de la multiplicité des corps, qui seule permet d'étendre le registre des idées. Comme l'exprime Dutens : *"Toutes nos idées, quelques composées et de quelque nature qu'elles soient, pouvant toujours se réduire aux sensations que nous éprouvons ou que nous avons éprouvées, à l'occasion des corps et de leurs différentes modifications, nous acquérons d'autant plus d'idées, et elles deviennent d'autant plus exactes, que nous parvenons à connaître un plus grand nombre de corps"*. J.-M. Dutens, op. cité, p. 27.

(87) Nous nous référons notamment à : T.-S. Kuhn, *La structure des révolutions scientifiques*, Chicago, 1962, trad. française, Paris, 1983.

de logiques d'identification professionnelle et de rationalisation du travail, en référence à un ou plusieurs champs d'activité privilégiés. Sur cette première définition doivent se greffer bien d'autres considérations. Organisation du savoir et de la pratique technique, un paradigme porte avant tout sur leurs relations ; il définit une structure d'applications constituée d'un ensemble de modèles, d'outils et de méthodes, dont il faut essayer de mieux cerner la nature et le fonctionnement (88).

En s'appuyant sur la définition précédente, on serait tenté de construire à présent un "*paradigme vitruvien*", caractéristique de l'âge classique, fondé sur des principes qui se rattachent encore aux canons de Vitruve et à sa définition du théorique et du pratique (89). Ces principes permettent d'identifier un savoir technique à la fois ambitieux dans ses présupposés et extrêmement minutieux en réalité, détenu par un ingénieur qu'une distance infinie sépare des ouvriers qu'il dirige, un ingénieur "*artiste*", proche encore de l'architecture, qui travaille au service de l'Etat ou des grands du royaume. Au même titre que l'architecte, l'ingénieur doit être astronome, médecin, voire même musicien, comme le recommande Vitruve. Concrètement, il s'agit d'un personnage beaucoup plus modeste, dont les humanités laissent souvent à désirer, tandis qu'il maîtrise à la perfection le dessin de ces machines et les détails d'exécution de ses projets. Le paradigme vitruvien s'accompagne

(88) L'élaboration de cette notion de paradigme technique, dans la perspective qui vient d'être esquissée, fait actuellement l'objet d'un contrat de recherche financé par le Ministère de l'Equipement: "*Pour une étude des figures structurantes de la pensée technique*", responsable scientifique : A. Picon.

(89) "*L'Architecture est une science qui doit être accompagnée d'une grande diversité d'études & de connaissances par le moyen desquelles elle juge de tous les ouvrages des autres arts qui lui appartiennent. Cette science s'acquiert par la Pratique & par la Théorie : La Pratique consiste dans une application continuelle des desseins que l'on s'est proposé, suivant lesquels la forme convenable est donnée à la matière dont toutes sortes d'ouvrages se font. La Théorie explique & démontre la convenance des proportions que doivent avoir les choses que l'on veut fabriquer*". Vitruve, *Les dix livres d'architecture*, trad. française de C. Perrault, Paris, 1683, rééd. Paris, 1684, p. 2.

en effet d'un désir de rationalisation qui passe par une description presque maniaque des matériaux, des outils et des gestes de la production. Il s'appuie enfin sur des champs d'activité privilégiés, au nombre desquels il faut citer l'architecture hydraulique (90) et l'art des fortifications. Des liens nombreux unissent d'ailleurs ces deux domaines ; ils permettent d'affirmer une unité de la démarche technique très comparable aux revendications théoriques de l'architecture. Des modèles, des méthodes de raisonnement souvent géométriques, circulent en outre dans toutes les branches d'un art encore très empirique.

C'est cette structure complexe qui se dénoue au XVIIIème siècle, sous le poids de ses propres contradictions. On peut interpréter l'Analyse comme sa forme ultime et déjà condamnée, qui radicalise certaines de ses options de base. L'attention portée à la décomposition des ouvrages et aux gestes de la production au nom de la méthode analytique s'inscrit en particulier dans une tradition déjà ancienne, dans laquelle viennent également prendre place les devis et détails d'ingénieur, qui décrivent avec minutie le projet et les différentes phases de sa réalisation (91). Ce désir de contrôle s'exacerbe progressivement, tandis que la démultiplication des objets d'application rend de plus en plus nécessaire la définition de nouveaux outils, permettant de maîtriser la réalité.

Les ambiguïtés de l'Analyse proviennent dans une large mesure de sa double nature de point d'orgue d'une évolution amorcée de longue date, et de transition vers un autre type de structuration des techniques. Quelques caractéristiques du nouveau type d'organisation qui prévaudra par la suite peuvent être rapidement esquissées. Tandis que les savoirs classiques se pensaient sur un mode volontiers hiérarchique, à l'imitation de l'architecture, va se produire une sorte de "mise à plat" des

(90) Littéralement, l'architecture hydraulique désigne : "*l'art de bâtir dans l'eau & d'en rendre l'usage plus aisé & plus commode*". C.-A. D'Aviler, *Dictionnaire d'architecture civile et hydraulique*, rééd. Paris, 1755, p. 32. Les ports sont du ressort de l'architecture hydraulique, au même titre que les ponts, les canaux, les fontaines, les moulins et les pompes. Peu de domaines restent en fait étrangers à la lutte contre l'eau et à son utilisation, au travers desquelles se reconnaissent la plupart des ingénieurs de l'âge classique.

(91) Cf. A. Dupire, B. Hamburger, J.-C. Paul, J.-M. Savignat, A. Thiebaut, *Deux essais sur la construction*, Bruxelles, Liège, 1981, p. 22 et suivantes.

connaissances techniques, s'accompagnant de l'émergence de transversalités inédites, assurées pour une part par l'analyse mathématique (92). Involontairement, l'Analyse se place déjà dans cette perspective, en venant remplacer les hiérarchies d'autrefois par une division du savoir si complexe, qui remonte si haut, jusqu'à la pure "*sensation dénuée de tout jugement*", qu'elle contribue à placer la plupart des connaissances usuelles sur le même plan. A l'ingénieur classique, chargé de mener à bien des projets dont il se sentait pleinement investi, véritable "*monuments*" de la technique ou réalisations plus modestes investies du même esprit, va succéder un personnage plus gestionnaire, s'insérant dans des dispositifs institutionnels et professionnels plus complexes que par le passé. Il deviendra presque impossible de distinguer le technique de l'économique. La notion de processus va prendre une importance grandissante, au détriment d'une approche plus statique des problèmes. Là encore, l'idéal analytique aura joué son rôle. Les champs privilégiés d'application du savoir vont aussi changer, avec l'apparition de l'industrie et des grands réseaux modernes à partir des années 1830-1840.

Il serait trop long d'entrer dans le détail de chacune de ces mutations, qui conduisent à l'apparition de nouveaux paradigmes techniques, sur lesquels il resterait à s'interroger. On aimerait par contre revenir en guise de conclusion sur l'instabilité de l'idéal analytique. Cette instabilité donne naissance au jeu séduisant et dangereux des analogies qui se tissent entre des domaines pourtant très différents. Au centre de cette toile mouvante vient prendre place la sensation, comme ce qu'il y a de plus immédiat, mais aussi de plus lointain, puisqu'il s'avère toujours malaisé de remonter jusqu'à elle, en éliminant au passage erreurs et préjugés. Sous d'autres apparences, cette figure contrastée de la proximité et de l'éloignement, de la simplicité et de l'extrême difficulté, n'a peut être pas fini de hanter les songes des techniciens.

(92) Cf. A. Picon, *Science de l'ingénieur et aménagement du territoire...*, op. cité, p. 75 et suivantes.

III. Paradigmes et modèles.

La pensée technique et ses figures structurantes, généralités.

Avant de chercher à définir des paradigmes techniques, il faut peut-être commencer par dissiper certaines ambiguïtés qui s'attachent à la notion même de pensée technique, à laquelle ces paradigmes se réfèrent. On peut en effet proposer plusieurs définitions de la pensée technique fort différentes les unes des autres. Pour de nombreux auteurs tout d'abord, la pensée technique s'assimile à l'ensemble des connaissances théoriques et appliquées qui ont immédiatement trait aux processus de production, que ces connaissances portent sur les régularités du monde physique, sur les caractéristiques des machines disponibles sur le marché, ou encore sur les lois présumées de l'organisation du travail. Cette première définition correspond généralement à un regard purement instrumental porté sur la technique; elle donne naissance à des analyses qui se contentent de passer en revue la succession des procédés et des inventions, des analyses quelque peu idéalistes, dont les descriptions négligent volontairement la réalité confuse des organisations humaines, ainsi que l'illogisme apparent de certaines situations de conflit.

A cette démarche extrêmement réductrice s'oppose la complexité du vécu quotidien et des motivations des acteurs de la production dont la compréhension s'avère pourtant essentielle dans de nombreux cas. Peut-on envisager par exemple une histoire industrielle qui ferait totalement abstraction de la conscience ouvrière? La volonté de prise en compte des contenus de conscience dont s'accompagnent concrètement les processus de production trouve toutefois ses limites dans le risque d'une dispersion au sein d'une palette presque infinie d'états psychologiques, d'attitudes et de représentations mentales. Pour endiguer cette dispersion potentielle, la définition d'un système d'acteurs collectifs s'avère indispensable. Deux solutions se présentent alors afin de procéder à leur construction.

On peut tout d'abord tenter de rapporter les contenus de conscience empiriques à des individus génériques, dont l'addition et les interactions doivent permettre d'élaborer des modèles explicatifs de portée générale. C'est à cette démarche qu'ont par exemple recours les économistes néo-classiques, qui aiment à se référer aux figures emblématiques du producteur et du consommateur. Mais on évite difficilement ce faisant les deux écueils traditionnels qui guettent ce genre de démarche: la tentation du psychologisme d'un côté, qui conduit à accorder une importance excessive aux déterminations individuelles subjectives, la réduction des acteurs collectifs à des entités structurelles, produits de rapports de force qui les dépassent infiniment et conditionnent tous leurs états de conscience signifiants, de l'autre. D'un côté le rôle de la pensée technique se trouve surévalué par rapport aux effets de structure, de l'autre cette pensée n'est plus qu'un épiphénomène dépourvu d'importance véritable.

Afin de redonner à la pensée technique l'autonomie, la dimension volontaire qu'elle possède indéniablement, sans pour autant tomber dans un psychologisme outrancier, une seconde voie peut consister à refuser l'hypothèse atomistique sur laquelle se fonde, implicitement ou explicitement, la démarche précédente, pour définir plutôt les acteurs de la technique à partir des projets de rationalisation qui s'expriment au sein des structures de production considérées de manière plus globale. Au lieu de construire les figures de l'ouvrier, du détenteur d'actions ou de l'ingénieur, figures censées redonner après composition la classe ouvrière, les capitalistes et l'encadrement, cette seconde approche repose sur l'identification de différents types de regards, sous-tendus par des intentions implicites ou explicites auxquelles correspondent les acteurs véritables de la technique. Ces derniers se caractérisent ainsi par leurs projets, qui recouvrent autant d'interprétations de la productivité des processus techniques, et des moyens d'augmenter celle-ci.

En se référant par exemple à la structure industrielle et aux rapports de production hérités du XIX^e siècle, l'ouvrier apparaît sous les traits d'un acteur privilégiant l'immédiateté des opérations physiques de fabrication, seules créatrices de richesses à ses yeux, tandis que le capitaliste défend l'importance de l'argent qui légitime sa main mise sur les bénéfices, et que l'ingénieur se fait le champion des savoirs scientifiques, techniques et organisationnels injectés par ses soins dans les processus de production. Selon le point de vue adopté le travail humain, le capital comme puissance active, le travail à nouveau, mais un travail conçu cette fois en tant que matière première qui doit être impérativement repensée par une intelligence organisatrice seule capable de lui conférer une réelle efficacité, représentent tour à tour le principe de productivité de la machine industrielle. De ces diverses interprétations de la fécondité des structures de production, liées bien-sûr à des situations concrètes et à des intérêts tout à fait dissemblables, découlent les différents projets caractéristiques des acteurs en présence. En reprenant l'exemple précédent, on se trouve en face d'un projet de rééquilibrage des pouvoirs et des bénéfices en faveur des producteurs véritables défendu par les ouvriers, d'un projet de maximisation du profit des capitalistes, d'un projet de rationalisation au nom des savoirs détenus par l'ingénieur enfin.

Ces ambitions qui se contrarient se réclament toutes cependant d'une même volonté d'amélioration de la productivité. On assiste ainsi à un conflit dont l'économie générale est en réalité constitutive de la rationalité technique globale du système de production. Car se combattre au nom de projets divergents c'est aussi se reconnaître en tant que partenaires d'une même aventure, partageant le même destin collectif; c'est adhérer par conséquent à des valeurs communes et, plus prosaïquement, tomber d'accord sur quelques critères empiriques permettant d'évaluer le degré d'efficacité des procédés et des organisations. La rationalité technique globale est ainsi fondée sur

une double logique d'affrontement et de reconnaissance mutuelle qui reflète l'une de ses fonctions essentielles: la communication. Si l'on adopte cette perspective, il devient évident que la définition de la pensée technique doit être compatible avec cette double logique de rivalité et de solidarité. Il reste à inventer des figures susceptibles d'en rendre compte.

La représentation atomistique des acteurs de la production et leur définition au travers des projets de rationalisation sont en réalité complémentaires. Partant de présupposés sensiblement différents, elles n'en conduisent pas moins dans la plupart des cas aux mêmes découpages empiriques. On a toutefois choisi la seconde démarche, qui nous paraît fidèle à l'une des caractéristiques les plus fondamentales de la pensée technique, à savoir sa capacité à exprimer des projets de rationalisation directement issus des analyses de la production auxquelles se livrent tous les techniciens. Ces projets s'affrontent ou convergent autour d'objectifs tantôt vagues, tantôt précis; la carte qui se dessine de la sorte ne représente jamais que les courants à l'oeuvre au sein de la rationalité technique globale. Projets, courants divergents ou convergents, oppositions et alliances: la pensée technique doit toujours être appréhendée dans son dynamisme qui travaille les structures matérielles et sociales de la production.

Comment étudier la pensée technique dans sa dimension historique où ce dynamisme trouve plus particulièrement à s'exercer? Comment saisir concrètement les modalités selon lesquelles les projets des acteurs travaillent les structures "lourdes" de la production? Si l'histoire de la pensée technique ne saurait se réduire au catalogue des savoirs manipulés à différentes époques par les techniciens, s'il ne saurait non plus être question de recenser l'ensemble des attitudes mentales et des représentations ayant cours chez ces derniers, il faut chercher à définir des objets d'étude plus significatifs que des

chronologies factuelles et plus accessibles que l'univers de référence des acteurs de la production pris dans son intégralité.

Ces objets doivent rendre possible l'identification des zones d'affrontement et surtout des convergences qui se font jour au sein de la rationalité technique et qui contribuent à la structurer. Il ne peut s'agir en définitive que de figures formées à l'articulation de différents projets de rationalisation qui proposent des lectures synthétiques de la production.

Même si elles permettent de découper et d'interpréter l'histoire de la pensée technique, ces figures, dont certaines seront appelées par la suite paradigmes, ne doivent pas cependant être interprétées comme de simples représentations collectives. Au même titre que les projets qui les constituent par le jeu réglé de leurs oppositions et de leurs connivences, elles participent à la fois du régime de la pensée et de celui de la matérialité des processus techniques. A l'image de la rationalité qui imprègne aussi bien les attitudes des techniciens que l'organisation effective de leur travail, les paradigmes techniques représentent des structures à la fois théoriques et pratiques, réalisant de multiples adaptations: adaptations des savoirs aux domaines d'application, des hommes aux tâches à réaliser, mises en communication de champs hétérogènes nécessaires au bon fonctionnement du système. Mais avant de préciser ces différents aspects en donnant notre définition des paradigmes techniques, quelques remarques supplémentaires s'imposent, concernant les notions de théorie et de pratique, d'économie du savoir, de modèle, auxquelles on a coutume de se référer pour analyser la pensée technicienne. On abordera du même coup des questions qui ne sont pas non plus sans importance pour notre propos, comme celle des relations entre science et technique, que l'on peut interpréter en référence à certaines caractéristiques de l'outil analytique. N'est-ce pas en effet la puissance de cet outil, omniprésent de la formation

des ingénieurs aux méthodes d'optimisation s'appliquant aux problèmes les plus concrets, qui confère à la science son statut privilégié dans le champ des techniques?

Théorie et pratique, science et technique. A propos de l'analyse mathématique.

Théorie et pratique.

Avec des fortunes diverses, l'opposition entre théorie et pratique traverse toute l'histoire des techniques depuis l'Antiquité. Sans même parler des écrits d'Aristote, on la voit par exemple fonctionner au début des dix livres d'architecture de Vitruve, où l'on apprend que la théorie "explique & démontre la convenance des proportions que doivent avoir les choses que l'on veut fabriquer", tandis que la pratique consiste "dans une application continuelle à l'exécution des desseins que l'on s'est proposé, suivant lesquels la forme convenable est donnée à la matière dont toutes sortes d'ouvrages se font¹." Dimensionnement reposant sur la connaissance des proportions d'un côté, façonnage de l'autre, constituent ainsi les archétypes du théorique et du pratique aux yeux de l'ingénieur romain dont les conceptions connaîtront une longévité singulière, puisqu'on les retrouve dans les écrits des architectes et des ingénieurs des XVI^e et XVII^e siècles. Pour ces derniers les procédures de dimensionnement constituent encore l'essentiel du bagage théorique d'un homme de l'art, tandis que la pratique découpe, taille et façonne la pierre, le bois et le métal, qu'elle utilise des outils et prescrit des assemblages de toutes sortes. Cependant la ligne de partage entre ces deux registres se révèle moins nette, moins stable, qu'il pourrait y paraître

¹ Vitruve, Les dix livres d'architecture, trad. fr. Cl. Perrault, Paris, J.-B. Coignard, 1684, p. 2.

au premier abord. Sous son apparente fidélité à l'Antiquité, la théorie des proportions telle que la conçoit l'âge classique est-elle vraiment conforme aux canons vitruviens? Tout dépend probablement du degré de finesse du regard que l'on porte sur la question.

Mais en étudiant les techniques classiques, il importe surtout d'être attentif aux signes avant-coureurs de la profonde transformation qui va affecter par la suite la définition du théorie et du pratique, transformation qui achève de se consommer à la charnière des XVIII^e et XIX^e siècles, lorsque le calcul analytique supplante définitivement l'usage des proportions et que la théorie se concentre sur les lois les plus générales de la mécanique, rejetant du même coup la plupart des procédures de dimensionnement dans la sphère d'une pratique éclairée. Bien d'autres transformations séparent ensuite notre époque du règne apparemment sans partage de la mécanique rationnelle au début du XIX^e siècle, à commencer par la montée en régime des considérations énergétiques et de la thermodynamique. Il serait sans doute trop long de les énumérer toutes; l'entreprise est-elle de toute manière envisageable en l'état actuel de nos connaissances? Par delà quelques points de repère bien connus, l'histoire des définitions successives et des rapports entre théorie et pratique demeure pour l'essentiel à écrire. C'est à cette histoire que l'étude des figures structurantes de la pensée technique doit aussi contribuer.

Il ne faut pas se dissimuler cependant toutes les difficultés de la tâche. La ligne de partage entre théorie et pratique relève d'une topologie complexe; elle fonctionne sur différents plans, qui s'interpénètrent, et dont les relations de proximité et d'éloignement n'ont rien d'évident. La sphère du théorique que l'on serait tenté d'isoler en première analyse se subdivise elle-même en domaines plus ou moins théoriques, tandis que la pratique connaît des gradations du même ordre. Le couple théorie/pratique désigne en réalité une polarité qui se fait sentir à différentes échelles, et qui témoigne d'une double

tendance: tendance à l'unification, à la soumission à des catégories et à des lois aussi générales que possible, dans laquelle se reconnaît la théorie, tendance inverse à la différentiation, à un processus indéfini de dérivation et d'enfoncement au coeur de la diversité, en ce qui concerne la pratique. Observons toutefois que ces tendances ne sont nullement le propre de la technique, puisqu'on les retrouve par exemple dans les domaines scientifiques ou juridiques qui connaissent également l'opposition entre théorie et pratique. Ce qui caractérise par contre le phénomène technique, c'est un rapport au monde physique d'un type particulier, que l'on a tenté de préciser dans notre précédent rapport en introduisant la notion d'état de nature².

Les exigences d'efficacité auxquelles se réfèrent les projets des acteurs de la technique renvoient, nous semble-t-il, au désir d'une transparence totale du monde physique à l'organisation sociale et productive, transparence fusionnelle au terme de laquelle le monde physique se trouverait comme humanisé par l'utilisation rationnelle de ses ressources, tandis que l'organisation non moins rationnelle du travail serait investie de la nécessité que seule confère le caractère inéluctable des "lois éternelles" de la nature. C'est ce double processus d'humanisation du monde physique et de naturalisation de la société que tentent d'amorcer, dans différentes directions, les projets qui s'expriment au sein de la rationalité technique. En même temps qu'ils assignent au progrès divers points de fuite, ces derniers reconnaissent concrètement la distance qui sépare l'existant du type d'immédiateté qu'ils se proposent d'instaurer. A l'image de ce mélange de réalisme et d'anticipation, un état de nature représente le paysage constitué à une époque donnée par les connaissances disponibles concernant les grandes régularités matérielles, par le degré objectif de maîtrise du monde physique atteint grâce à la technique, paysage

² A. Picon, *Pour une histoire de l'aménagement et de la construction Réflexions sur l'histoire des techniques*, rapport de recherche B.R.A., Paris, Ecole d'Architecture de Paris-Villemin, 1987, pp. 53-65 notamment.

structuré et comme dynamisé par les multiples perspectives de transparence qui se dessinent de toutes parts, avec plus ou moins de netteté, entre l'homme et son environnement naturel. En d'autres termes, un état de nature n'est jamais que l'inscription de la rationalité dans l'épaisseur matérielle des choses, qu'elle vient en quelque sorte transfigurer.

La notion d'état de nature permet maintenant de mieux comprendre le registre du théorique que l'on voit à l'oeuvre dans la pensée technique. On peut en effet qualifier de théorique tout regard, tout savoir, dirigé vers l'un des points de fuite de l'état de nature régnant, qui cherche à en expliciter l'unité fondamentale, interprétée comme le principe du mouvement poussant les unes vers les autres et faisant se rencontrer les lois du monde physique et celles de l'humanité au travail. La pratique désigne par contre le versant plus réaliste, tourné vers l'existant, de la réflexion technique.

La définition précédente possède plusieurs avantages à notre sens. Tout d'abord elle conduit à prendre quelque distance par rapport à des conceptions trop restrictives de la théorie. Si l'on considère par exemple les traités d'architecture comme une catégorie particulière d'écrit technique, il s'avère difficile de reprendre les distinctions qu'établit Françoise Choay dans *La règle et le modèle* entre les ouvrages théoriques et les autres au nom d'une certaine exigence de cohérence conceptuelle³. Ayant plutôt partie liée avec une notion de projet qui n'est pas nécessairement synonyme de formalisation très poussée la visée théorique ne saurait selon nous se réduire à un système de concepts, aussi sophistiqué soit-il. Il n'y a pas lieu de privilégier alors la doctrine d'Alberti au détriment des développements de Vitruve, qui, pour être plus confus, n'en décrivent

³ F. Choay, *La règle et le modèle Sur la théorie de l'architecture et de l'urbanisme*, Paris, Seuil, 1980.

pas moins une nature domestiquée et travaillée dans les bornes du savoir antique, un état de nature en un mot caractéristique de l'époque augustéenne, de son organisation sociale et productive, ainsi que de certaines de ses ambitions.

De façon similaire, le commentaire de Vitruve publié par Claude Perrault en 1673 puis en 1684 constitue probablement son oeuvre théorique majeure, même si la plupart des historiens de l'architecture préfèrent concentrer leur attention sur l'*Ordonnance des cinq espèces de colonnes selon la méthode des anciens* du médecin-architecte, d'une structure logique plus rigoureuse⁴. Dans les nombreuses notes destinées à compléter et à actualiser le texte antique et qui forment un véritable ouvrage à elles seules, Perrault brosse en effet un panorama presque complet de l'art de bâtir de son temps et surtout des liens qu'entretient cet art avec l'exploration plus générale du monde physique entreprise par les classiques dans la perspective d'une maîtrise aussi complète que possible des éléments naturels. Il fait ainsi oeuvre de théoricien à part entière.

Science et technique.

Cependant la définition du théorique que l'on a proposée est surtout destinée à éviter l'assimilation pure et simple des théories techniques aux savoirs scientifiques à laquelle on assiste fréquemment et qui tend à subordonner la technique à la science sans autre forme de procès. Si elles collaborent sur différents plans, relevant bien souvent des mêmes appareils politico-administratifs, science et technique ne se réfèrent pas aux mêmes objets et surtout elles ne poursuivent pas les mêmes buts. Elles échangent plutôt des

⁴ C'est en particulier le cas de W. Herrmann dans *The theory of Claude Perrault*, Londres, Zwemmer, 1973.

éléments de connaissance et de savoir-faire en les réinterprétant à la lumière de leurs propres finalités qui diffèrent assez profondément. Pour le scientifique, l'idéal de connaissance du monde ne s'accompagne pas obligatoirement d'un rêve de transparence fusionnelle entre les régularités du monde physique et l'organisation sociale du travail; en d'autres termes, l'organisation sociale du travail n'est pas constitutive de l'objet qu'il cherche à comprendre et de la visée théorique qui l'anime. Pour le technicien au contraire, le monde n'existe que dans son rapport à la société qui cherche à le transformer et se transforme elle-même à son contact. Les savoirs techniques manipulés par la technique sont ainsi placés dans une perspective plus utilitaire que cognitive, si l'on convient de rapporter la notion d'utilité à la recherche incessante de la transparence entre l'homme et le monde. Certes, la distinction que l'on vient d'établir entre les démarches scientifique et technique possède une part d'arbitraire. Tous les profils de scientifiques peuvent se rencontrer pour commencer, les uns indifférents à toute idée d'application, les autres préoccupés au contraire par l'utilité sociale de leurs découvertes. Du côté des techniciens on observe le même type de gradation entre l'ingénieur de recherche employé par un grand laboratoire et motivé par des questions de pure compréhension du comportement de la matière, et l'ingénieur d'usine ou le contremaître immergés dans les rythmes de la production industrielle. Mais la collusion entre science et technique à laquelle on assiste aujourd'hui et qu'exprime à sa manière la confusion si répandue entre savoirs scientifiques et théories techniques, ne renvoie pas pour autant au seul mélange des genres qu'autorise le passage presque insensible d'un type d'activité à un autre, souvent au sein des mêmes institutions; ses fondements ne sont pas que sociologiques, politiques ou économiques. Elle procède aussi, nous semble-t-il d'une évolution historique tout à fait singulière, dans laquelle les transformations de la pensée technique et l'invention d'outils comme le calcul analytique ont joué un rôle plus important qu'il pourrait y paraître au premier abord.

Pour comprendre la relative singularité de cette situation, sa nouveauté sans exemple dans l'histoire, quelques rappels s'imposent au préalable. Contrairement à ce que l'on entend souvent dire, la science n'a pas toujours été, loin s'en faut, l'une des composantes essentielles de la technique. Il n'y a rien de "naturel" dans leur rencontre; ce n'est guère que depuis la révolution galiléenne que science et technique marchent approximativement du même pas avec l'apparition des notions modernes de loi et d'expérience⁵, et encore faut-il nuancer cette affirmation en fonction des domaines. Si l'artillerie s'est très rapidement inspirée par exemple des progrès de la mécanique, si le perfectionnement des télescopes est lié aux découvertes optiques du XVII^e siècle, l'aménagement et la construction sont restées tributaires d'outils scientifiques passablement archaïques jusque dans la seconde moitié du XVIII^e siècle, ce dont témoigne l'attachement des architectes et des ingénieurs des Lumières à l'ancienne théorie des proportions ainsi que leur indifférence à l'égard des possibilités de l'analyse mathématique pourtant en plein développement.

La théorie des proportions fournit précisément l'exemple de rapports de type contractuel entre science et technique, très différents de ceux que nous connaissons aujourd'hui. A l'âge classique, la réflexion sur les proportions renvoyait en effet à des questions géométriques, mécaniques, optiques et physiologiques, sans pour autant faire figure de conséquence directe des principes édictés par les savants. Loin de représenter une norme, ces derniers conféraient simplement un éclairage, une profondeur de champ supplémentaire à la théorie, aux théories serait-il plus exact de dire, des proportions. C'est ainsi que pouvaient cohabiter, et se contredire parfois sans que nul n'y trouve à redire, la tradition vitruvienne, des formules empiriques de dimensionnement lentement sédimentées par l'usage et des modèles

⁵ Cf. A. Koyré, *Etudes galiléennes*, Paris, 1940, rééd. Paris, P.U.F., 1966.

plus généraux d'origine scientifique. Le caractère théorique de la réflexion sur les proportions provenait de toute manière au moins autant du prestige de la référence antique que des interrogations des modernes sur la résistance des matériaux ou les phénomènes subjectifs de la vision. Par dessus tout, la proportion, qu'elle fût "divine" comme le voulait un Philibert Delorme, de convention selon Claude Perrault, ou plus simplement opératoire pour dimensionner les ouvrages, s'enracinait dans un certain type de rapport entre l'homme et le monde. Que représentait-elle en effet, sinon la manifestation d'un ordre s'appliquant aussi bien à la raison et à la sensibilité humaine qu'à la nature, ordre dont elle tirait sa véritable légitimité?

Cet ordre universel, les classiques croyaient le déceler par exemple dans l'analogie entre les proportions musicales et celles de l'architecture, analogie qui inspirait au père Ouvrard son étonnante *Architecture harmonique, ou Application de la doctrine des Proportions de la Musique à l'Architecture* de 1679⁶, dont le titre résume parfaitement les ambitions. En dépit des critiques à peine voilées de Claude Perrault, qui dénonçait la faiblesse de son argumentation⁷, l'ouvrage n'en connaissait pas moins un certain succès, car il se faisait l'expression de conceptions courantes à l'époque. Dans le même ordre d'idées, après avoir défini la raison comme le propre de l'homme, un Bossuet pouvait écrire dans son *Introduction à la Philosophie...* que: "connaître les proportions & l'ordre est l'ouvrage de la raison, qui compare une chose avec une autre, & en découvre les rapports⁸." Aux yeux de l'évêque de Meaux, la

⁶ Sur Ouvrard, lire F. Fichet, *La théorie architecturale à l'âge classique*, Bruxelles, Liège, Mardaga, 1979, pp. 175-182.

⁷ Sur la critique d'Ouvrard par Perrault, lire A. Picon, *Claude Perrault ou la curiosité d'un classique*, Paris, Picard, 1988, p. 144.

⁸ J.-B. Bossuet, *Introduction à la philosophie ou de la connaissance de Dieu et de soi-même*, Paris, R.-M. d'Espilly, 1722, pp. 37-38.

proportion se parait ainsi d'une coloration religieuse indéniable, puisque la perception des rapports caractérisait l'entendement humain, seul capable de pénétrer les merveilles de la création. C'est à ce même courant que se rattachaient également les spéculations concernant le système de proportions du Temple de Jérusalem, si fréquentes de Villalpande à Fischer von Erlach, spéculations auxquelles Newton avait lui-même sacrifié⁹.

Finalement, la théorie des proportions servait de commun dénominateur à un ensemble complexe de savoirs s'étageant de la théologie, de l'herméneutique, aux prescriptions plus quotidiennes des traités techniques, en passant par les mémoires des savants qui venaient tout naturellement prendre place dans ce cadre général. L'usage des proportions permettait en outre d'explorer les transversalités réelles ou supposées entre des domaines comme l'architecture, la musique, la mécanique ou l'optique. Ce n'est que dans la mesure où ils renvoyaient à la même structure globale des rapports entre l'homme et le monde physique que celle que désignait la théorie des proportions, que les savoirs scientifiques pouvaient acquérir une valeur théorique dans le champ des techniques.

A partir de la fin du XVIII^e siècle, la remise en cause de cette complémentarité limitée entre science et technique, en germe dans la révolution galiléenne on l'a dit, s'est progressivement accélérée, pour permettre la définition de nouvelles relations beaucoup plus exigeantes entre les champs scientifiques et techniques. Aujourd'hui, la science et la technique sont censées collaborer si intimement qu'il devient possible de les considérer en première approximation comme une seule et même activité. Cette confusion constitue probablement l'une des caractéristiques majeures de l'état de nature dans lequel

⁹ Cf. J. Rykwert, *La maison d'Adam au Paradis*, Chicago, New-York, 1972, trad. fr. Paris, Seuil, 1976. Voir également du même auteur *The first moderns The architects of the eighteenth century*, Cambridge, 1980, rééd. Cambridge, M.I.T. Press, 1983, p. 157.

nous sommes plongés et qui conditionne notre regard en nous présentant comme des évidences intangibles des éléments peut-être plus conjoncturels qu'il pourrait y paraître au premier abord.

Car si l'émergence des notions modernes de loi et d'expérience marque le franchissement d'une étape importante et sans doute définitive de l'histoire scientifique et technique, si la science se doit désormais de contribuer au développement social et productif, tandis que la technique permet de valider utilement certains de ses résultats, rien n'indique cependant que l'osmose actuelle soit appelée à se perpétuer indéfiniment. Certes, une science construisant ses phénomènes au travers de manipulations de plus en plus sophistiquées aura toujours besoin de l'apport de la technique, fût-ce même pour lui construire des instruments de mesure; de la même façon une part importante des découvertes scientifiques trouvera toujours à s'employer au sein des structures de production, mais les pensées scientifiques et techniques continueront-elles à unir aussi étroitement leurs destins? Rien ne permet de l'affirmer; quelques tendances actuelles militent même en faveur de l'opinion contraire.

En dépit de toutes les entreprises de réduction de la science et de la technique à un même modèle, des différences notables subsistent, on l'a dit, entre les démarches du scientifique et du technicien. Ces divergences viennent contrebalancer le processus d'intégration institutionnelle qui se poursuit sous nos yeux. Mais on voit surtout se multiplier les indices d'une importante mutation du rapport science/technique. Il semble en particulier que se recherche, encore confusément il faut bien l'avouer, la possibilité de constructions théoriques formalisées concernant spécifiquement le champ des techniques et affranchies par conséquent de la tutelle scientifique. C'est dans cette direction que tendent par exemple les réflexions d'un Herbert A. Simon et de ses disciples qui étudient la possibilité de "sciences de l'artificiel" plus proches des disciplines de conception de

l'architecte ou de l'ingénieur que des sciences traditionnelles¹⁰. Ce type de démarche rencontre un écho favorable du côté de certains professionnels, confrontés à l'évolution récente de leur discipline et aux questions que posent les nouveaux outils informatiques de simulation et d'intelligence artificielle qui commencent à se répandre sur le marché. Le recours à la simulation remet souvent en cause des procédures de calcul et de validation, qui se calquaient directement sur la pratique scientifique¹¹. L'intelligence artificielle ne risque-t-elle pas quant à elle de rendre peu opérante la distinction entre théories scientifiques et résultats expérimentaux en manipulant les registres les plus hétérogènes au sein des bases de connaissances qu'elle se propose de constituer?

Un autre indice des transformations en cours du rapport entre science et technique réside dans l'importance grandissante prise ces dernières années par le facteur humain dans la réflexion technique. La fin du taylorisme, si souvent évoquée en matière industrielle, est à cet égard significative. Elle ne se traduit pas obligatoirement par l'abandon des machines-transfert et par le retour aux petites séries des manufactures d'antan, mais elle consiste plutôt dans un changement de mentalité des décideurs, qui renoncent à traiter l'amélioration de la production comme un problème simplement quantitatif. Il n'y a plus lieu de rechercher en particulier une "organisation scientifique du travail" formulable en termes directement inspirés des sciences physico-mathématiques. L'accent mis sur les aspects psychologiques et communicationnels de la production renvoie au contraire à une prise de conscience de l'irréductibilité des organisations humaines aux modèles mécanistes,

¹⁰ Voir notamment H.-A. Simon, *The sciences of the artificial*, Cambridge, M.I.T. Press, 1969, *Reason in human affairs*, Stanford, Stanford University Press, 1983.

¹¹ Sur les perspectives qu'ouvre la simulation informatique, lire par exemple P. Quéau, *Eloge de la simulation De la vie des langages à la synthèse des images*, Paris, Champ Vailon, 1986.

encore si pregnants il n'y a pas si longtemps. Du même coup s'ouvre peut-être pour la pensée technique la possibilité de se recentrer sur son objet véritable: la production comme activité socialisée, placée dans la perspective d'une humanisation de la nature et d'une naturalisation de l'homme empruntant d'autres voies que leur réduction pure et simple à un ensemble de chiffres et de ratios.

Il serait vain de prétendre explorer plus avant les ouvertures qui se dessinent de la sorte, sans entrer dans des détails qui dépassent largement le cadre de ce travail. La définition de nouveaux rapports entre science et technique, qui renoueraient avec une attitude d'ouverture dont on trouve des exemples dans l'histoire, importe moins de toute manière que l'étude des relations qui unissent encore pour l'instant ces deux champs. Une telle étude passe à notre sens par la déconstruction de quelques évidences qui nous ont été inculquées par le système éducatif et par les structures professionnelles, informés par l'état de nature dominant.

Les relations entre science et technique reposent tout d'abord sur la primauté sans partage accordée aux éléments quantitatifs. Comme la science, la technique mesure les causes et les effets; elle tente d'évaluer numériquement les résultats qu'il est possible d'escompter, avant de prendre quelque décision que ce soit. C'est au plan des chiffres et des ratios que communiquent véritablement science et technique qui peuvent adopter par ailleurs des représentations du monde physique tout à fait dissemblables. Mais ces données quantitatives sont indissociables des savoirs et des méthodes qui servent à les produire et à les manipuler, et on découvre alors l'extraordinaire importance que revêt dans ce contexte l'analyse mathématique aux yeux de nombreux techniciens.

On a déjà mentionné à plusieurs reprises l'essor de l'analyse au cours du XVIII^e siècle, grâce aux travaux des Euler, d'Alembert ou Lagrange.

Longtemps confinées aux seuls cercles savants, les méthodes analytiques vont progressivement se diffuser parmi les ingénieurs, par l'intermédiaire de nouvelles institutions comme l'Ecole Polytechnique, créée en 1794, où enseignent Lagrange et Laplace. Si l'Ecole Polytechnique joue un rôle pionnier dans la France des premières années du XIX^e siècle, son exemple sera bientôt imité par les autres écoles. De nos jours, la maîtrise de l'outil analytique constitue encore la marque distinctive de l'ingénieur; elle le légitime dans ses prétentions hégémoniques. Mais par delà ce rôle limité de garant des privilèges d'un acteur de la production, l'analyse possède, et c'est là ce qui nous intéresse ici, un statut théorique dans le champ des techniques que nul ne songe véritablement à remettre en cause même si la dénonciation des erreurs auxquelles conduit une fidélité aveugle aux chiffres et aux statistiques constitue un thème particulièrement rebattu. C'est au nom de l'analyse qu'une institution comme l'Ecole Polytechnique tire encore, plus de deux siècles après sa création, une bonne partie de sa légitimité intellectuelle. Ses élèves ne sont-ils pas justement critiqués pour le caractère théorique de leurs études, pour leur propension à l'abstraction que vient contrebalancer aux yeux des défenseurs de l'Ecole un esprit de synthèse réputé efficace dans certaines situations? C'est le statut de l'analyse qu'il importe ainsi de déconstruire si l'on veut comprendre le fonctionnement concret des relations actuelles entre science et technique et déchiffrer les indications qu'il donne concernant l'état de nature dans lequel nous sommes immergés.

Hypothèses sur le statut de l'analyse mathématique.

L'importance de l'analyse dans le champ des techniques renvoie tout d'abord à une nature dont les régularités essentielles ou du moins celles qui ont quelque rapport avec l'organisation de la production peuvent être décrites et maîtrisées grâce à une panoplie d'outils qui

vont de la simple équation du premier degré aux techniques de calcul les plus complexes. Perçu le plus souvent comme une évidence, un tel présupposé se révèle en fait lourd de conséquences, dans la mesure où les outils que l'on vient d'évoquer conditionnent fortement les modalités d'appréhension de la réalité. Ils lui impriment en effet une structure d'un type particulier, reposant sur une série d'oppositions entre continuités et discontinuités, intervalles homogènes régis par des lois formulables au moyen des mathématiques et singularités radicales, souvent qualifiées de "non analytiques". On connaît à ce propos les nombreux effets de surface, de bord, de pointe, qui parsèment la littérature scientifique et technique, renvoyant à la même ligne de partage entre lois et singularités.

Dans un ordre d'idées un peu différent, la modélisation d'un système physique consiste presque toujours à associer aux lois générales de comportement régissant son évolution dans le temps des conditions initiales qui le font en quelque sorte accéder à l'existence. Au couple continuité/discontinuité s'ajoute à présent le tandem équations de comportement/paramètres initiaux qui fonctionne selon un schéma assez comparable et, puisque la connaissance des lois et des équations qui les expriment importe au premier chef, on est alors tenté de parodier la célèbre distinction d'Aristote entre le général et le particulier en posant qu'il n'y a d'intelligibilité que dans la marche régulière de la nature et d'existence que dans une dispersion d'états plus ou moins singuliers, dont certains échappent à toute analyse par leur caractère paroxystique.

Au plan scientifique, cette attitude n'est sans doute pas la règle générale, même si un René Thom a pu se préoccuper de réconcilier lois et singularités non analytiques avec sa "théorie des catastrophes". Mais il en va tout autrement dans le champ des techniques où l'on distingue souvent sans s'embarasser de nuances une pratique qui multiplie les expériences afin de déterminer des paramètres et des

limites et une théorie qui a pour fonction de lisser les données ainsi obtenues afin de leur conférer une valeur prédictive, selon des procédures plus ou moins sophistiquées.

Dans cette optique, l'étude des bornes d'application des formules mathématiques et celles des marges d'erreur des résultats auxquels conduit le calcul prennent un caractère crucial, puisque tout le système des relations entre théorie et pratique repose sur elles. L'importance qui s'attache ainsi aux méthodes d'encadrement permet de saisir en action quelques unes des tendances qui s'expriment par l'intermédiaire de l'analyse.

L'idée d'encadrement est tout d'abord liée à l'obsession de la précision qui constitue, on le sait, l'un des traits dominants de la science et de la technique modernes. En même temps qu'elle confère un pouvoir accru sur les éléments naturels, cette obsession s'accompagne d'une certaine forme de renoncement. Car à ne manipuler que des seuils, des limites et des intervalles, dans un dessein d'efficacité, la réflexion technique semble s'être résignée à ne connaître que l'enveloppe des phénomènes, sans chercher à se les représenter vraiment en leur attribuant une essence même fictive qui fasse sens. Ce renoncement est sans doute de rigueur en matière scientifique pour exposer sereinement les résultats d'une recherche; il présente par contre plus d'inconvénients dans le champ des techniques, où il confine au supplice de Tantale. Jamais en effet les techniques ne sont parvenues à appréhender aussi finement les rapports entre phénomènes, jamais elles n'ont été capables de provoquer et de maîtriser avec tant de facilité toute une gamme d'évènements allant de la plus simple réaction chimique aux effets naturels les plus complexes et jamais pourtant la paroi séparant la réflexion technique de l'objet auquel elle s'applique n'a paru aussi étanche. En d'autres termes, il semblerait qu'il y ait toujours plus de précision au cœur de la précision, et qu'en

même temps, au plus près de l'évènement, se recrée sans cesse une incertitude synonyme d'opacité radicale.

Mais en formulant les rapports entre théorie et pratique en termes d'encadrement, en se contentant de définir les voisinages de valeurs qu'elle manipule, la pensée technique ne sacrifie pas seulement à une recherche de l'efficacité qui conduit à abandonner toute ambition de connaissance véritable du monde physique. Son renoncement possède aussi un caractère positif dans la mesure où il correspond à des choix bien définis qui se sont imposés au terme d'une longue évolution historique qu'une comparaison avec les modes de raisonnement de l'âge classique peut contribuer à éclairer.

A l'âge classique la théorie des proportions et le cortège de savoirs qui s'en réclamaient d'une façon ou d'une autre ne s'appuyaient pas sur les notions d'encadrement et de précision pour régler leurs rapports avec une pratique souvent fluctuante. De l'architecture au dimensionnement des machines, la théorie fournissait des valeurs moyennes, investies de fonctions à la fois symboliques et instrumentales, qu'il s'agissait d'adapter aux circonstances locales par tâtonnements, en "augmentant ou en diminuant un peu les parties" comme l'exprimaient les auteurs de traités, plutôt que par la définition d'intervalles de validité et de marges d'erreur assignant une fois pour toutes des bornes aux errements de la pratique. Ainsi, au lieu d'être cernés au plus près au moment d'être utilisés, les résultats fournis par la théorie semblaient plutôt subir une sorte de diffraction, donnant naissance à un nuage de valeurs relativement compact sans doute mais auquel aucun contour n'était assigné a priori. C'est cette absence de contour qui marque le plus clairement la différence entre les modes d'appréhension de la réalité technique aux XVII^e et XVIII^e siècles et ceux qui sont à l'oeuvre aujourd'hui.

A l'âge classique, cette absence n'était jamais que la conséquence de l'incapacité fondamentale de la pensée technique à fonctionner selon un schéma normatif. Loin de s'ériger en normes, les valeurs moyennes fournies par la théorie correspondaient à des règles susceptibles d'interprétations variées de la part des praticiens. De la règle à la norme: telle pourrait être l'un des aspects de l'évolution suivie depuis près de deux siècles dans le domaine qui nous occupe.

Si l'analyse a pu contribuer à cette évolution, c'est qu'elle possède une efficacité qui ne se limite pas à la simple détermination d'intervalles de validité et de marges d'erreur. Elle fournit aussi une représentation du monde physique qui repose sur un aller-retour incessant entre le local, le ponctuel, et le général. Une loi de comportement s'exprime par exemple grâce à une équation aux dérivées partielles vérifiée en chaque point de son domaine d'application. A la différence de la géométrie euclidienne moins souple de ce point de vue, l'analyse permet d'appréhender les phénomènes physiques dans leur double visage d'évènement local - ou instantané si le temps est pris comme espace de référence - et de propriété générale, d'effet singulier et de tendance globale.

En contrepartie de sa renonciation à toute ambition de connaissance véritable de la réalité physique, l'analyse mathématique propose ainsi une simulation des phénomènes à différentes échelles, du voisinage d'un point donné à l'espace tout entier, qui semble seule capable de refléter leur dynamisme, voire même de se l'approprier. Par là même s'introduit la possibilité de concevoir le calcul comme une sorte d'automate universel, susceptible de dérober à la nature une partie de sa puissance, de ce "spontané général qui anime l'univers", selon l'heureuse expression de Pierre Naville, pour se retourner efficacement contre elle. Si, selon Pierre Naville toujours, l'automatisme consiste pour l'homme "à faire exécuter à la nature

d'elle-même, ce qu'il voulait qu'elle exécutât¹²", force est de constater que les mathématiques représentent aujourd'hui l'automate par excellence qui permet de mobiliser les phénomènes naturels avec un degré de certitude rarement atteint auparavant. A l'âge classique par contre l'automatisme échappait en majeure partie au calcul. On le retrouvait aux marges du savoir, le long des frontières incertaines séparant par exemple l'homme, l'animal, de la machine - que l'on songe seulement au succès des créations d'un Vaucanson - ou encore dans des événements comme la génération spontanée ou la cristallisation, qui semblaient renouer malgré les explications des savants avec une fécondité d'essence miraculeuse.

Le caractère automatique dont se pare en un certain sens l'application de l'analyse à la modélisation des effets naturels peut maintenant servir de transition vers l'étude d'autres caractéristiques des relations actuelles entre science et technique. L'idée moderne d'automatisme est tout d'abord liée à celle d'un mouvement qui peut être entièrement décrit et contrôlé au moyen du calcul. On ne s'étonnera pas de voir fonctionner pleinement dans ce contexte l'hypothèse déterministe dont un Laplace donnait au début du XIX^e siècle la formulation sans doute la plus saisissante.

"Nous devons donc envisager l'état présent de l'univers, comme l'effet de son état antérieur, et comme cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui pour un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée, et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule, les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger

¹² P. Naville, *Vers l'automatisme social*, Paris, Gallimard, 1963, p. 228.

atome: rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir comme le passé, serait présent à ses yeux¹³."

De manière significative ces considérations servent de préambule à un *Essai philosophique sur les probabilités*. Tandis que la théorie se montre résolument déterministe, la pratique doit se contenter de faisceaux de présomptions. On retrouve par ce biais, quoique sous un nouvel aspect, le problème de l'évaluation de l'erreur que l'on a rencontré à plusieurs reprises.

Plus qu'à la structure probabiliste qui se met ainsi en place, il convient d'être attentif à la figure obsédante de l'écoulement du temps qui s'exprime dans le texte de Laplace et que la théorie cherche en quelque sorte à conjurer en se référant à cette intelligence parfaite aux yeux de laquelle passé et avenir s'agrègent pour former un même tableau. L'écoulement du temps, mais aussi les flux de tous ordres, du mouvement des fluides dont s'occupe la physique à la circulation des marchandises, constituent en réalité les objets privilégiés sur lesquels travaille l'analyse mathématique. Du même coup se dévoile l'un des traits essentiels de l'état de nature dans lequel s'inscrit son usage intensif. On vient en effet de mettre sur le même plan l'écoulement des fluides et celui des marchandises, or que signifie ce parallèle sinon l'ébauche ou la promesse d'une rencontre entre les lois de la nature et celles de l'organisation humaine dont une même science des processus serait susceptible de rendre compte? Les outils analytiques ne peuvent-ils pas s'assimiler justement aux premiers rudiments de cette science, ou plutôt à la plate-forme qui la rend possible? Leur banalisation d'emploi, qui leur permet de s'appliquer aux domaines les plus divers, de la physique à l'économie, participe à coup sûr de cette perspective.

¹³ P.-S. Laplace, *Essai philosophique sur les probabilités*, Paris, Veuve Courcier, 1814, p. 2.

Certes, ce n'est pas la première fois que la pensée technique comporte une exigence de circulation au travers de laquelle s'exprime un dessein très global de rationalisation. A l'âge classique déjà, l'aménagement du territoire et les réflexions sur le commerce s'étaient bien souvent inspirés du modèle de la circulation sanguine afin de formuler des projets communs¹⁴. Ces projets étaient toutefois restés lettre morte en pratique, faute d'outils suffisamment puissants pour prendre le relai de leur intuition de départ. Il en va tout autrement aujourd'hui où l'intuition fondatrice de nombreux projets de rationalisation consiste à tenir pour possible une science générale des processus, conçue à partir de la mobilité des éléments du raisonnement mathématique au lieu de demeurer tributaire d'une quelconque représentation organique. C'est sur cette mobilité des outils analytiques, capables de s'appliquer à toutes sortes de phénomènes au prix d'adaptations mineures, que repose véritablement le statut théorique de la science dans le champ des techniques.

Dans le droit fil des remarques précédentes, l'un des modes d'approche du phénomène de la mathématisation pourrait consister à identifier les trajets de certains outils qui se sont diffusés dans des disciplines très diverses ainsi que les thèmes auxquels ils correspondent. Au cours de la première moitié du XIX^e siècle il conviendrait par exemple d'accorder une attention toute spéciale aux méthodes de détermination de l'équilibre mécanique qui se sont rapidement propagées dans des champs comme l'économie grâce aux travaux d'un Cournot notamment¹⁵. Si l'on parvenait à dresser une liste de ces outils et de ces thèmes, on constaterait sans doute leur

¹⁴ Sur l'influence du modèle circulatoire à l'âge classique, lire J.-E. Schlanger, *Les métaphores de l'organisme*, Paris, Vrin, 1971.

¹⁵ Cf. C. Ménard, *La formation d'une rationalité économique: A.-A. Cournot*, Paris, Flammarion, 1978. Sur les prémisses de la notion d'équilibre économique au XVIII^e siècle, voir J.-C. Perrot, "Premiers aspects de l'équilibre dans la pensée économique", in *Annales Economies Sociétés Civilisations*, 1983, n° 5, pp. 1058-1074.

caractère en moyenne plus topologique que logique, qui correspond au statut profondément instrumental d'une théorie qui ne tient plus de discours sur les causes et les effets, qui a renoncé à toute ambition explicative pour manipuler des maximums, des minimums, des seuils et des limites avec une virtuosité sans égale. Il se pourrait en définitive que l'évolution que l'on voit se dessiner actuellement et qui semble redonner à la pensée technique une certaine autonomie par rapport à la science conduite à redécouvrir la fonction discursive de la théorie, son rôle de mise en ordre d'une réalité hétérogène dont aucune collection d'outils ne peut véritablement venir à bout. Il ne s'agit pas pour autant d'annoncer une quelconque "mort" de l'analyse ou sa mise à l'écart, mais plutôt d'imaginer que de nouvelles préoccupations pourraient venir infléchir son usage et que des techniques de calcul peut-être plus logiques ou plus algébriques seraient susceptibles de compléter les résultats auxquels elle conduit.

Economies du savoir.

Le caractère transversal de l'analyse incite maintenant à s'interroger sur les relations qui peuvent exister entre les différents savoirs techniques, et à se pencher plus particulièrement sur les outils et les thèmes qui circulent de l'un à l'autre. Ces relations peuvent être objectives, inscrites dans la trame des phénomènes physiques et des structures de production, ou apparaître au contraire comme des hypothèses de travail liées aux intentions de tel ou tel acteur. La transversalité de l'analyse participe de ces deux registres, dans la mesure où les outils sur lesquels elle repose se révèlent à n'en point douter efficaces et que leur usage renforce en même temps les prérogatives de l'ingénieur. Plus généralement, la plupart des relations entre savoirs techniques qui se laissent appréhender sans trop de difficultés relèvent à la fois du constat objectif et de

l'intention dissimulée ou avouée. Sans entrer plus avant dans la discussion, pour l'instant du moins, on conviendra d'appeler économie du savoir toute organisation des connaissances techniques au sein de laquelle circulent des éléments qui assurent sa cohésion. A l'âge classique, avant que l'analyse ne s'installe en position dominante, la théorie des proportions fournissait par exemple nombre de ces éléments, qui permettaient de répondre provisoirement à la question toujours pendante de l'unité du champ des techniques. L'unité de ce champ nous semble en effet bien plus liée aux échanges qui s'y déroulent et qui fédèrent ses composantes qu'à une hypothétique essence de la technicité à laquelle se rapporteraient les diverses pratiques techniques comme à leur principe ou à leur commun dénominateur.

On ne saurait cependant parler d'économie du savoir indépendamment des rapports qui se tissent entre les secteurs de la pratique auxquels s'appliquent les connaissances techniques et de la possibilité de redéployer ces rapports suivant de nouvelles lignes de force. Il serait plus exact de parler à ce propos d'économies globales du savoir et de la pratique caractéristiques de l'état objectif des techniques ainsi que des tensions qui se font jour au sein des structures de production. En amont de telles économies intervient bien-sûr le problème générique des relations entre théorie et pratique, en aval la question des rationalisations qu'il est possible d'opérer. L'organisation des connaissances informe quant à elle une notion d'application qui concerne plus directement les techniciens.

L'histoire de la pensée technique a vu se succéder de nombreuses économies du savoir, comme l'encyclopédisme des Lumières ou le positivisme du siècle dernier, qui sont toutes porteuses de projets de réorganisation de la production. Classer les connaissances utiles, répertorier leurs ressemblances et leurs différences, n'est-ce point en effet proposer une certaine interprétation de leur efficacité dans

les processus concrets de fabrication et indiquer de manière plus ou moins voilée les adaptations qui pourraient permettre d'en tirer le meilleur profit? Lorsqu'un Lazare Carnot élabore par exemple à la fin du XVIII^e siècle un "Aperçu d'un tableau systématique des connaissances humaines" qui énumère les savoirs philosophiques et physico-mathématiques en les mettant en regard de la liste des "arts utiles ou nécessaires¹⁶", ne se place-t-il pas comme beaucoup d'autres ingénieurs de son temps dans la perspective d'une démarche analytique s'appliquant aussi bien aux idées qu'aux forces qui parcourent la matière, démarche qui n'est pas encore l'analyse mathématique moderne, puisqu'elle conserve un fort ancrage philosophique, mais qui rend possible cette dernière? On pourrait étudier de la même façon le fonctionnement des classifications positivistes, si promptes à subordonner les techniques à une science désormais assurée de son pouvoir.

Figures à la fois théoriques et pratiques sous-tendues par des projets de rationalisation, les économies du savoir que l'on vient d'évoquer pourraient bien s'assimiler aux paradigmes techniques que l'on cherche à construire. Toutes les économies du savoir qui coexistent à une époque donnée ne sont pas cependant des paradigmes. A notre sens ces derniers doivent en effet remplir une condition supplémentaire: ils doivent porter à la fois l'empreinte des tensions constitutives de la rationalité technique et la marque du consensus auquel ils doivent leur existence. Afin de saisir le contenu concret de cette double exigence un dernier développement s'avère nécessaire. Il concerne une notion de modèle technique qui est synonyme d'exemplarité dans le champ qui nous occupe.

¹⁶ L. Carnot, "Idée d'un classement méthodique des sciences et des arts ou aperçu d'un tableau systématique des connaissances humaines", in *Révolution et mathématiques*, recueil d'œuvres choisies, Paris, L'Herne, 1984-1985, t. 2, pp. 496-497.

Modèles techniques.

Pour incarner à la fois des tensions et la présence d'un certain consensus, les paradigmes que l'on recherche doivent posséder un certain caractère exemplaire. N'est-ce point en effet autour de la définition des modèles qu'il s'agit d'imiter que s'affrontent ou s'accordent les techniciens préoccupés d'améliorer les circuits de production? Mais cette définition s'avère difficile à donner dans toute sa généralité. Qu'est-ce qu'un modèle dans le champ des techniques?

En prenant le terme précédent dans son acception la plus courante, une infinité des modèles techniques peuvent être envisagés: agencements mécaniques, théories physico-mathématiques, organigrammes d'entreprises, opérations techniques de base ou secteurs d'activité considérés dans leur globalité. La reproduction de l'existant à tous les niveaux et sous ses différents aspects occupant une place essentielle dans la réflexion des techniciens, tout peut servir en réalité de modèle: objets et savoirs, modes de gestion du travail, tâches élémentaires et domaines de la pratique.

A y réfléchir de plus près cependant, ce vaste éventail se réduit quelque peu si l'on prend soin de se rappeler que le phénomène technique réside avant tout dans une certaine organisation du travail social informée par les multiples perspectives d'humanisation du monde physique et de naturalisation de l'homme qui s'expriment au travers des projets des acteurs de la production. A partir de là, la notion de modèle technique peut commencer à se décanter. Il ne saurait y avoir en effet de modèle sans visée théorique l'utilisant pour assigner une même nature, une essence commune aux phénomènes physiques et au travail humain. En d'autres termes, les objets et les savoirs, les modes de gestion du travail et les domaines de la pratique ne revêtent un caractère exemplaire que dans la mesure où ils permettent aux acteurs de la production d'exprimer leur intuition

de l'essence du travail. Sans être sous-tendu par une intuition de ce type, aucun objet, aucun procédé ne peut en particulier prendre valeur d'exemple. Si la machine a pu représenter, au XIX^e siècle surtout, plus qu'un symbole, un idéal à la fois théorique et pratique, c'est parce qu'elle servait de support à une certaine conception du labeur humain. De la même façon l'outil informatique possède aujourd'hui un impact directement lié aux nouvelles interprétations des tâches de production auxquelles il semble conduire.

Tandis que les objets ou les procédés de fabrication ne peuvent prendre une valeur générique qu'en se faisant l'expression d'une sorte d'essence de l'activité technique, un mode d'organisation du travail ne devient exemplaire qu'en s'incarnant dans la matérialité d'un ensemble de phénomènes et d'objets: phénomènes physiques et matières premières, outils, machines et produits, qui permettent de passer de la simple visée théorique aux structures de production destinées à réaliser concrètement cette humanisation du monde physique qui constitue le premier objectif de la technique.

Le besoin d'interpréter les objets techniques à la lumière du travail humain et de rapporter l'organisation de ce travail à un contexte matériel suggère maintenant de restreindre la notion de modèle aux champs de la pratique où s'opèrent de tels rapprochements. On appellera par la suite modèle technique un champ de pratiques techniques investi d'une valeur exemplaire par l'intermédiaire des objets et des modes d'organisation du travail qu'il renferme et qui contribuent à exprimer la possibilité d'une rencontre fusionnelle entre lois physiques et lois "naturelles" de l'humanité laborieuse. Une telle définition concerne ainsi des structures complexes, assez différentes à vrai dire des entités que désigne ordinairement le terme de modèle.

Dans l'optique précédente, les filatures de coton auxquelles Marx se réfère si souvent dans ses écrits peuvent être considérés comme l'un des modèles techniques fondamentaux du siècle dernier. De la même façon, le secteur automobile de la première moitié du XX^e siècle fait figure de modèle industriel dominant, comme en témoigne le succès des écrits de Ford. Quelque soit l'exemple choisi, il est à chaque fois difficile de séparer objets et processus techniques, savoirs, modes de gestion du travail, répartition des pouvoirs et projets des acteurs en présence, dont l'imbrication forme une trame dynamique, parcourue de tensions. C'est cette trame qui est en réalité proposée à l'imitation des techniciens, par delà l'importation aux effets forcément limités d'un dispositif matériel ou d'une idée isolée.

Paradigmes techniques.

Après avoir passé en revue les problèmes posés par les rapports entre théorie et pratique, par les notions d'économie du savoir et de modèle technique, donnons sans plus attendre une première définition des paradigmes techniques, qu'il faudra ensuite préciser et commenter.

Un paradigme technique représente à notre sens une économie du savoir qui se réfère à un ou plusieurs modèles privilégiés et qui est porteuse de logiques d'identification professionnelle et de rationalisation de la production. Un paradigme se caractérise ainsi par une organisation particulière de la connaissance, par des pratiques techniques considérées comme essentielles, placées en position centrale, par des modalités d'application spécifiques, auxquelles correspondent une répartition des compétences, une hiérarchie des professions ainsi que la définition d'enjeux de rationalisation prioritaires.

Plusieurs remarques s'imposent à la lecture de cet énoncé. Tout d'abord un paradigme est toujours défendu par des acteurs placés en situation de force qui y voient un moyen de promouvoir leur action et d'améliorer globalement les structures de production. Mais une telle ambition présuppose l'accord tacite d'autres acteurs, pourtant moins favorisés par la répartition des compétences qui tente de se mettre en place. Par l'intermédiaire de ses supporteurs un paradigme technique doit donc constamment faire la preuve de son efficacité en traitant des problèmes jugés prioritaires par de nombreux techniciens. C'est à ce prix seulement que peuvent subsister la hiérarchie des professions et le consensus qui lui sont nécessaires et qui permettent de parler en abrégé d'une économie du savoir porteuse de logiques d'identification professionnelle et de rationalisation de la production.

Dans le droit fil du développement précédent il faut noter que les modèles associés à un paradigme viennent démontrer concrètement son efficacité et qu'ils contribuent ainsi à le stabiliser. Sans modèle il ne saurait y avoir de toute manière de paradigme technique; tout au plus peut-on se trouver en présence d'économies du savoir flottantes, aspirant à s'incarner dans la matérialité d'une production et simultanément à se généraliser, afin de permettre l'unification d'un champ de pratiques aussi étendu que possible.

Cette interprétation dérive assez directement du type de rapports entre théorie et pratique que présuppose un paradigme. Et puisque de tels rapports prennent place, on l'a vu, dans un état de nature dont ils contribuent à fixer la topographie, il semble qu'un paradigme ne puisse se concevoir qu'au sein d'un état de nature qu'il vient dynamiser. Plus exactement, en référence à certains points de fuite en direction desquels commencerait à s'opérer l'assimilation entre la nature et les artifices de la technique, un paradigme trace une sorte

de programme fondé sur la désignation d'objectifs à réaliser par la communauté des techniciens.

Les éclaircissements que l'on vient de donner peuvent paraître un peu abstraits. Ils n'en permettent pas moins de rendre compte de manière synthétique des épisodes de l'histoire de la rationalité technique qui ont été abordés dans les deux premiers essais de ce rapport. En matière d'aménagement et de construction, les techniques classiques nous semblent tout d'abord placées sous l'égide d'un paradigme technique que l'on pourrait appeler "architecture hydraulique" en référence à cette lutte contre l'eau qui mobilise tant d'ingénieurs. Au sens restreint, l'architecture hydraulique désigne "l'art de bâtir dans l'eau et d'en rendre l'usage plus aisé et plus commode¹⁷". Elle s'occupe donc des ponts, des écluses, des quais et des digues, mais aussi des fontaines, des aqueducs, des moulins et des pompes. Dans un monde qui ne connaît pas d'autre sources d'énergie que l'eau et le vent, peu de domaines échappent en fait à l'architecture hydraulique. En plein XVIII^e siècle encore, l'*Architecture hydraulique* de Bélidor demeure le livre de chevet des ingénieurs; il rassemble dans ses éditions successives tous les savoirs qui leur sont nécessaires.

Selon notre terminologie, l'architecture hydraulique constitue un champ de pratiques exemplaire, un modèle. A ce modèle correspond une organisation du savoir calquée sur celle de l'architecture, avec des premiers principes extrêmement généraux et abstraits et un ensemble de prescriptions concrètes beaucoup plus minutieuses. Cette organisation du savoir permet d'identifier un type d'ingénieur caractéristique de l'âge classique, un homme de l'art déjà distinct de l'architecte, mais proche encore de l'architecture, un homme au service de l'Etat ou des grands du royaume qui reste fondamentalement isolé, chargé de mener à bien des projets dont il se

¹⁷ C.-A. d'Aviler, *Dictionnaire d'architecture*, Paris, C.-A. Jombert, 1755, p. 32.

sent pleinement investi¹⁸. C'est ce paradigme dont nous avons voulu décrire la dislocation progressive à la charnière des XVIII^e et XIX^e siècles. Un nouveau paradigme se met en place par la suite, paradigme caractérisé par le modèle de la construction ferroviaire et par cette "technologie" de l'ingénieur à laquelle réfléchissent les enseignants de l'Ecole des Ponts et Chaussées dans les années 1830-1840.

Dans la dynamique menant de l'architecture hydraulique au nouveau paradigme des débuts de l'ère industrielle, l'idéal analytique des années révolutionnaires fait figure d'économie du savoir transitoire, faute d'un modèle stable sur lequel elle puisse s'appuyer. L'histoire des techniques est rythmée par des projets de rationalisation non aboutis qui lui confèrent une épaisseur supplémentaire.

¹⁸ Cet isolement n'exclut pas cependant l'appartenance à un corps de fonctionnaires: Génie militaire ou Ponts et Chaussées. Il est plutôt lié aux carences de la centralisation administrative.

Table des matières.

Introduction	p. 1
Les ingénieurs et la mathématisation L'exemple du génie civil et de la construction	p. 8
Généralités	p. 9
Un art en crise	p. 10
Prony et l'idéal analytique	p. 14
Brisson et Navier une controverse révélatrice	p. 18
Vers une "technologie" de l'ingénieur	p. 22
Hypothèses sur la mathématisation du génie civil et de la construction	p. 24
Les ingénieurs et l'idéal analytique à la fin du XVIII^e siècle	p.29
Introduction	p. 30
La "méthode de l'esprit humain", la science et l'art de l'ingénieur	p. 31
Analyse des besoins, action et formation de l'ingénieur	p. 35
Le programme de l'Ecole Polytechnique	p. 36

L'Ecole des Ponts et Chaussées, de l'idéologie au pragmatisme	p. 42
L'analyse en perspective L'expérimentation constructive et ses enjeux	p. 51
Analyse des besoins et projets innovants	p. 59
Analyse des processus, division du travail, fabrications et enseignements "révolutionnaires"	p. 62
Les limites d'une démarche	p. 72
La fin du "paradigme vitruvien"	p. 77
Modèles et paradigmes	p. 81
La pensée technique et ses figures structurantes, généralités	p. 82
Théorie et pratique, science et technique. A propos de l'analyse mathématique	p. 87
Economies du savoir	p. 107
Modèles techniques	p. 110
Paradigmes techniques	p. 112