

Les commencements de la technologie

Jacques Guillerme et Jan Sebestik



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/dht/1226>

ISSN : 1775-4194

Éditeur :

Centre d'histoire des techniques et de l'environnement du Cnam (CDHTE-Cnam), Société des élèves du CDHTE-Cnam

Édition imprimée

Date de publication : 1 décembre 2007

Pagination : 49-122

ISBN : 978-2-9530779-0-2

ISSN : 0417-8726

Référence électronique

Jacques Guillerme et Jan Sebestik, « Les commencements de la technologie », *Documents pour l'histoire des techniques* [En ligne], 14 | 2^e semestre 2007, mis en ligne le 30 décembre 2010, consulté le 01 mai 2019. URL : <http://journals.openedition.org/dht/1226>

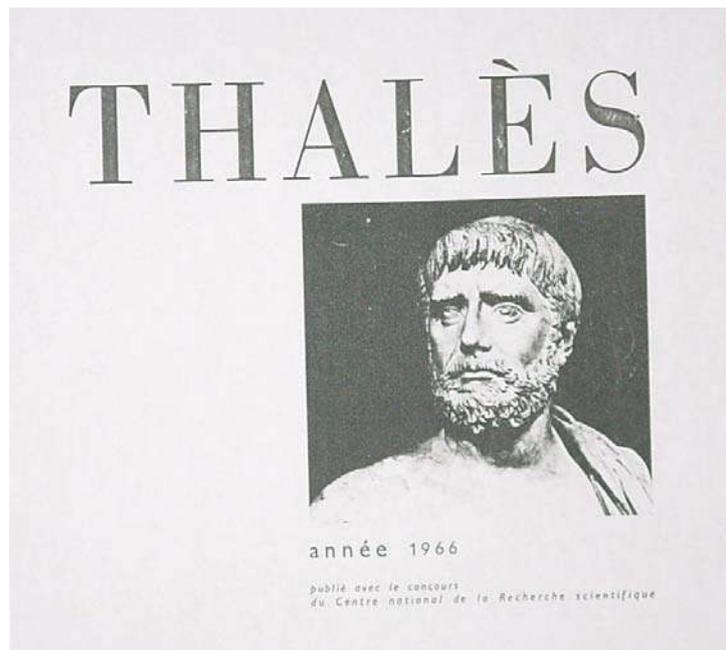
Les commencements de la technologie

Jacques Guillaume

Chef de travaux à la Faculté de médecine de Besançon, Institut d'Histoire des Sciences.

Jan Sebestik

Attaché de recherches au CNRS, Institut d'Histoire des Sciences.



AVANT-PROPOS

Le précédent numéro de Thalès contenait, sous le titre « Du développement à l'évolution au XIX^e siècle », l'exposé des résultats d'un travail de séminaire rédigé en équipe et assumé dans son ensemble par ses quatre signataires.

Le présent numéro expose les résultats d'un nouveau travail collectif, poursuivi à l'Institut d'histoire des sciences durant les années universitaires 1963-64 et 1964-65. Mais, cette fois, le nombre des chercheurs ou étudiants ayant participé à l'exploration de la question était trop élevé pour qu'un mode de rédaction collectif pût être adopté. C'est la raison pour laquelle j'ai demandé à deux des chercheurs ayant participé aux travaux du Séminaire, MM. Guillaume et Sebestik, de bien vouloir en présenter les résultats. J'ai relu leur texte et je les remercie bien vivement de leur travail de mise au point. M. Morère qui a participé activement, lui aussi, aux travaux du Séminaire a rédigé une note complémentaire. La bibliographie générale est l'œuvre de MM. Guillaume et Sebestik. Enfin, il me plaît de nommer ici celles et ceux qui ont, en dehors de mon collègue Gilbert Simondon, professeur de psychologie à la Sorbonne, et de M. Roger Hahn, professeur à l'Université de Berkeley, apporté leur concours aux recherches et aux discussions : Mmes ou Mlles Chevroton, Conry, Legée, Renaul, Salomon-Bayet ; MM. Balibar, Brunelle, Hamamdjian, Jacques, Loraux, Mac Keon, Piquemal et Rashed.

Georges CANGUILHEM.

Ce travail n'est pas à proprement parler une contribution à l'histoire des techniques. Il ne s'agit pas ici d'explorer l'histoire des procédés techniques eux-mêmes, de reprendre à notre compte le travail entrepris précisément sous la dénomination *History of technology* par Derry et Williams ou par Singer. La technologie est prise ici d'abord, dans le sens qui détermine globalement son champ, comme un *discours sur les techniques*, et l'histoire qui en est tentée ici est celle d'une discipline scientifique, ou tout au moins du projet de traitement scientifique, ayant pour objet les opérations techniques.

Mais il ne s'agit pas non plus de remonter, comme l'a fait Alfred Espinas, aux *origines* de la technologie. Notre recherche se propose de saisir ses *commencements* : son objectif principal est de détecter l'introduction du mot, la définition du concept et l'entrée de la discipline dans l'univers scientifique, de déterminer le moment qui l'instaure en introduisant ainsi une coupure dans l'apparente continuité de l'évolution historique. Le titre « Commencements de la technologie » vise donc la *constitution du discours sur les opérations techniques comme discours de type scientifique*.

La discipline elle-même se situe sur un plan réflexif par rapport à l'activité opératoire technique. Aussi, son histoire est celle d'une réflexion, d'une *méta-technie*; bien qu'elle ait un objet propre — la maturation d'un discours empirique et sa mutation conformément aux exigences d'un discours scientifique — cette histoire au second plan doit constamment avoir présente à l'esprit la référence à la technique elle-même. Si le discours se déroule et se transforme dans le temps, c'est en fonction des tensions et des modifications structurelles de l'activité technique humaine, de ses implications et prolongements. L'histoire de la méta-technie suppose une histoire de la technie elle-même.

Dans ce sens, l'histoire de la technologie n'a jamais été tentée, ni en France, ni en pays anglo-saxons. Elle le fut à deux reprises en Allemagne : en 1872, par Karl Karmarsch et récemment, en 1964, par Albrecht Timm (1). Issu de recherches collectives, notre travail recoupe en partie un tout récent ouvrage d'Ulrich Troitzsch consacré à la pensée technologique chez les caméralistes allemands du xvii^e et xviii^e siècles (2). Timm a bien souligné la muta-

(1) K. KARMARSCH, *Geschichte der Technologie seit der Mitte des achtzehnten Jahrhunderts*, München, 1872 (rééd. New York, 1965). - A. TIMM, *Kleine Geschichte der Technologie* Stuttgart, 1964. - Notre historique coïncide, quant à la matière traitée, avec la II^e partie de l'*Histoire* de Karmarsch (« Geschichte der technologischen Wissenschaft ») et avec le 1^{er} chapitre de l'ouvrage de Timm (« Zur Wissenschaftsgeschichte »).

(2) U. TROITZSCH, *Ansätze technologischen Denkens bei den Kameralisten des 17 - und 18. Jahrhunderts*. Berlin, 1966.

tion du discours sur les arts qu'a instituée la nouvelle discipline. Il a prêté attention au problème de sa définition et de son unité conceptuelle. Par là, nous rejoignons son propos. Le nôtre en diffère par une liaison plus étroite qu'il tente d'établir entre les arts et les sciences, par la documentation nouvelle, en particulier française, inconnue de Timm et de Karmarsch, et aussi par la trajectoire globale du discours sur les techniques que nous avons essayé de dessiner.

Sans qu'il y ait une coupure nette dans notre exposé, nous nous sommes arrêtés vers le milieu du XIX^e siècle. Mais cette limite approximative correspond à la fois à une évanescence et à une dispersion du discours technologique. La multiplication saturante de ses produits provoque son éclatement en savoirs techniques spécialisés et parcellaires. La technologie, c'est alors les aventures, dans l'industrie, de la science appliquée.

..

Le terme de technologie ne s'est acclimaté qu'avec difficulté dans la langue française. Si sa signification paraît quelque peu fixée aujourd'hui, ce n'est qu'après une longue suite de mutations diversement fécondes. On l'a entendu dans l'acception antique de terminologie des divisions du savoir (1) ; il a désigné la langue des arts, et ce n'est que tardivement qu'on le voit utilisé, assez timidement d'abord, dans le sens consacré en 1706 par le *Phillips Dictionary* : « A Description of Arts, especially Mechanical ». Énoncé bref, mais précis, qui est généralisé en 1728 dans la *Logica* de Wolff sous ces termes : « Scientia artium et operum artis » (2). En français, le mot apparaît, furtivement, pour la première fois, semble-t-il, dans l'article *Catalogue* de l'*Encyclopédie* ; il y désigne une branche particulière de la division du savoir, celle qui se rapporte à la totalité des arts (3). Mais ce néologisme ne fait pas partie du fonds termi-

(1) « Quid est Technologia ? Est doctrina praecognoscenda, de affectionibus, ordine & divisione disciplinarum » (p. 27), Cf. également le titre du livre II : « Liber secundus exhibens Technologiam, id est Doctrinam de proprietatibus, & numéro disciplinarum ». Telles sont les définitions de Alsted. Le terme qui répondrait le mieux au sens de technologie, tel qu'il est envisagé ici, serait chez cet auteur, celui de *Mechanologia* : « Encyclopediae liber vigesimus octavus exhibens Mechanologiam generalem... Finis artibus mechanicis propositus est supplere defectum aliquem in vita humana (p. 1861). Artifices mechanici inducunt formam, naturae imitatione... » (p. 1862), *Johannis-Henrici Alstedii Encyclopediae*, Herborn, 1630. - La première édition est de 1609, à Herborn ; il y eut une réédition à Lyon, en 1649.

(2) *Philosophia rationalis sive logica*, Discours préliminaire (III, *De partibus philosophiae*). Cf. ci-dessous, p. 29.

(3) « Cet article [*Catalogue*] a été fait par M. David l'ainé, un des libraires associés pour l'*Encyclopédie*, sur un des manuscrits légués par feu M. Girard à M. Le Breton, son imprimeur et son ami. Ce manuscrit est intitulé : *Bibliothèque générale ou essai de littérature universelle*. - La division bibliographique du savoir proposée par Girard comprend la théologie, la nomenclologie, l'historiographie, la philosophie, la philologie et la technologie. Celle-ci se rapporte au bonheur de « tout être sensible et intelligent ... il est naturel que l'homme ne néglige rien de tout ce qu'il croit être propre à le rendre heureux. C'est par ce désir du bien-être, & par la nécessité de pourvoir à ses besoins réels ou imaginaires, que son industrie a été excitée ; qu'en étudiant ce qui plaît aux sens comme ce qui orne l'esprit, il a donné naissance aux arts. Ce qui les regarde fait le sixième & le dernier chef de ce système sous le titre de *Technologie* ». Cette technologie se divise en six parties : arts civiques, académiques, gymnastiques, plastiques, nutritifs et mystériques. Parmi les disciplines classées sous ces rubriques, la réunion de certaines d'entre elles (arts pécuniaires, la mécanique et les arts plastiques) cons-

nologique de Diderot (on ne le trouve pas dans l'article *Art*), et le projet proprement technologique de l'*Encyclopédie* ignore l'initiative d'un lettré qui s'est préoccupé de nomenclature bibliographique.

La plupart des définitions proposées ensuite par les écrivains technologues ne différeront guère de l'énoncé de Wolff, sinon pour privilégier tel aspect des opérations industrielles, ou mettre en lumière leur finalité sociale. Cette définition wolffienne définit un projet, mais ne suffit pas à fonder un enseignement ou une nouvelle discipline. Cependant, c'est du côté de l'enseignement qu'il nous faut mener notre enquête si nous espérons gagner quelque certitude, c'est en étudiant les leçons de ceux qui les premiers professèrent *expressis verbis* la technologie que nous pouvons nous former une idée de ce que fut l'essence du projet technologique. Cet enseignement, on le trouve d'abord donné à Göttingen dans les années 1770 par Johann Beckmann. Il s'est clairement expliqué sur ses intentions, et si elles ne furent pas entièrement réalisées dans ses leçons, elles n'en ont pas moins fondé une discipline particulière dont la constitution et le destin sont dignes de recherches. Sans doute, trouverons-nous le corpus et les visées de la technologie beckmanienne présentés, professés, développés ailleurs sous d'autres dénominations, de même que ses ingrédients apparaissent constitués avant lui. Mais c'est leur réunion en un édifice théorique cohérent qui nous intéresse ici, comme science de l'application des savoirs aux besoins de la société. Et nous verrons qu'elle n'a pu pleinement se réaliser que du jour où les sciences de la nature eurent formé leur langue et celle de la vérification, si bien que l'on peut se demander si technologie ne serait pas le nom donné à une trajectoire nécessaire de la culture occidentale.

• •

La naturalisation universitaire de la technologie fut, à bien des égards, révolutionnaire ; elle supposait une valorisation et une théorisation des arts mécaniques relativement aux arts libéraux qui n'a pu s'affirmer que lentement, en Italie d'abord, puis en Angleterre, enfin en France et en pays germanique. Il n'est pas interdit de penser qu'elle aurait été plus lente à s'affirmer si le projet technologique n'avait trouvé un modèle partiel dans ce genre littéraire que sont les instructions pour l'art de la guerre, après que sera banalisée l'artillerie.

L'analogie apparaît aisément entre les problèmes des *ingénieurs militaires*, dès la fin du xvi^e siècle, et la gouverne des grandes manufactures à l'âge indus-

lituera la technologie au sens moderne. Girard désigne par *arts plastiques* « ceux qui travaillent la matière pour en faire des ouvrages de consistance. La différente façon de la manier fait ou des manufacturiers ou des manouvriers. Les *manufacturiers* forment, c'est-à-dire qu'ils donnent à ce qu'ils emploient, un nouvel être par la fusion, la composition ou le tissu. Les *manouvriers* adaptent simplement, c'est-à-dire qu'ils font les ouvrages en coupant, taillant, joignant, & les matériaux dont ils se servent ». Sur ce dernier point de vue l'inspiration baconienne semble patente (*vide infra*, p. 8). C'est à M. Deforge que nous devons d'avoir eu notre attention attirée sur cet important texte. - La division de Girard a été reprise en 1789 par M. LÉCLERC dans l'*Abrégé des études de l'homme fait, en faveur de l'homme à former, dédié aux Représentants de la Nation*.

triel. Il s'agit dans les deux cas, de coordonner les gestes plus ou moins spécialisés d'une multitude d'individus avec le ménage d'énergies considérables — ici l'artillerie, là des moteurs hydrauliques puis thermiques — en vue d'un effet bien défini, tout en s'assurant de la meilleure économie de moyens. Dans les deux cas, il s'agit d'organiser des forces — qu'elles soient productrices ou destructrices — relativement aux aspirations d'un prince, ou d'un groupe financier, en fonction des ressources du territoire dominé. Enfin dans les deux cas, les agents d'exécution et de maîtrise sont instruits hors du cercle traditionnel de l'apprentissage corporatif.

Les armées fondamentalement mercenaires du xvii^e siècle, « formées de plusieurs Nations » (1) rameutaient des hommes d'origine et de talents très divers dont les tâches se technicisèrent progressivement. Le panache des belles actions et les prouesses de l'héroïsme individuel conserveront certes un prestige soigneusement entretenu ; la tactique n'en deviendra pas moins en quelque façon une technologie, à mesure que s'accroîtra la puissance de feu et que s'affinera la précision des tirs. Le chef de guerre devra apprendre la langue de l'ingénieur. Celui-ci, cependant, ordonne à plusieurs corps de métier ; il doit en connaître les habiletés et leurs limites (2). Dans la « paix la plus profonde » comme dans le feu du combat, l'heureuse coordination des forces individuelles en vue d'une action collective suppose donc une circulation fluide de l'information entre les individus, d'où l'invention d'une symbolique intellectuelle pour projeter et combiner les plans d'opération, d'où encore le recours à un schématisme géométrique des puissances et à une normalisation des matériels, d'où enfin une pédagogie par le dessin immédiatement intelligible à des agents de langue, d'extraction et de culture différentes. Tout cela, qui s'accorde bien avec la formalisation d'un savoir technique exotérique, est tout le contraire de l'habileté technique acquise dans le monde corporatif telle que la caractérise M. Gilbert Simondon : « initiatique et exclusive ; c'est en s'élevant à l'intérieur d'une communauté déjà toute imprégnée des schèmes d'un travail déterminé que l'enfant acquiert ses intuitions de base » (3).

Le mercénariat militaire préfigure à plus d'un égard, l'organisation sociale du xix^e siècle ; il crée, avant la lettre, un prolétariat dont l'instruction techni-

(1) « J'eus la Joye d'entendre le bruit des Conquestes de V.M. ... Ce fut pour moy une satisfaction incroyable de les entendre d'une Armée composée de la plupart des Nations de l'Europe », Allain MANESSON MALLET, *Les travaux de Mars ou l'Art de la guerre*, Paris, 1685. Cet ouvrage dû au « Maître de Mathématiques des Pages de la petite Ecurie », se recommande par plus de quatre cents planches en taille douce, signe de l'intérêt porté à l'enseignement par l'image par ce « cy-devant Ingénieur & Sergent Major d'Artillerie au Portugal ».

(2) « Il est de plus nécessaire d'établir un ordre uniforme dans toutes les places que l'on fortifiera, qui instruisse & en sépare les fonctions de ceux qui en sont chargés & qu'on règle & distribue les emplois selon la nécessité des ouvrages & la capacité d'un chacun, afin de n'y employer que les gens utiles & nécessaires... », *Le Directeur général des fortifications*, par M. de VAUBAN, Ingénieur général de France..., La Haye, 1685.

Le modèle militaire sera maintes fois invoqué dans l'industrie. Cf. DUPIN dans sa leçon de clôture du 26 mars 1825 au Conservatoire des arts et métiers : « Les avantages que l'art de la guerre doit aux habitudes d'ordre, de régularité, d'uniformité qu'il impose à toutes ses opérations peuvent être également produites dans les arts civils... » *Discours et leçons...*, Paris, 1825, p. 347.

(3) G. SIMONDON, *Du mode d'existence des objets techniques*, Paris, 1958, p. 90.

que, même élémentaire, brise le cercle étroit de l'ésotérisme corporatif. A un niveau de savoir plus élevé, la diffusion de traités à l'usage des officiers, rédigés en langue vulgaire, assortis de figures intelligibles expliquant les dispositifs techniques et tactiques, ruine l'image un peu fabuleuse de l'ingénieur inspiré de la Renaissance. Celui-ci dont la dignité et le prestige furent initialement liés à la prouesse technique avait figure de héros qui, à l'instar d'Amphion, ordonne charismatiquement aux forces de la nature. L'institutionnalisation d'une pédagogie de la technique militaire va renverser radicalement cette image. Sera ingénieur l'individu qui accomplit son essence grâce aux forces, conformément aux lois naturelles ; c'est désormais l'homme qui trouve les bonnes formes. Non plus unique ; on peut le tuer, prendre sa place, puisque la bonne méthode créatrice de bonnes formes cesse d'être domaine ésotérique, devient objet d'enseignement.

Du jour où la castramétation (1) devient une application de la statique et que la balistique introduit la dynamique et ses calculs dans la science des colonels, nous entendons prophétiser la technologie industrielle, de même que la stratégie préfigure les sciences camérales.

Le prestige accordé par les grands aux choses militaires a conféré sa dignité à la science de l'ingénieur militaire (doublet pléonastique au demeurant, jusqu'à des temps récents). Dans des emplois civils le même homme jouissait autrefois d'une considération bien inférieure, tant était enraciné parmi la plupart des doctes et des mondains le préjugé contre les praticiens. Il faudra, en France, attendre la Restauration pour que soit communément estimée — voire surestimée — la condition de l'ingénieur civil. Deux siècles durant les « mécaniciens » durent inlassablement argumenter contre l'impérialisme des « arts libéraux », et répéter en quelque sorte la polémique de Léonard en faveur de la dignité du peintre comparée à celle du poète. L'Italie, au demeurant, avait produit tôt une abondante littérature technique et le personnage de l'ingénieur-artiste jouissait dans la lumière de la Renaissance toscane d'un prestige assuré. Il se trouve qu'en France ou en Angleterre les ingénieurs furent moins inspirés

(1) *Castrametatio, Dal is legermeling, Beschreven door Simon Stevin...*, Rotterdam, 1617 ; souvent relié avec la *Nieuwe Maniere van Sterclebou, door Spilstuysen*, 1617 ; rééd. Leyden, 1633. - Trad. franç. *La Castramétation Nouvelle Manière de Fortification par Escluses*, Leiden et Rotterdam, 1618. - Trad. all., Franckfurt, 1631.

Il convient de rappeler ici cette figure importante qui a réuni les talents de mathématicien, de physicien, d'ingénieur militaire et d'ingénieur civil. Son mérite est communément absorbé dans la gloire d'avoir construit des chariots à voile ! En fait, on lui doit d'importantes réalisations dans le domaine des arts mécaniques, qu'il s'agisse de moulins, d'écluses ou de machinerie hydraulique.

La polyvalence de l'ingénieur militaire s'affirme avec éclat à la fin du XVIII^e siècle ; elle s'incarne dans l'idéologie polytechnicienne et il faudra attendre le second tiers du XIX^e siècle pour que l'ingénieur civil s'arrache à cette détermination. La racine militaire de l'art de l'ingénieur est affirmée avec vigueur, en 1796, par l'officier du génie Mares, quand il écrit que « les fonctions de l'ingénieur... ont reçu de la part des gouvernemens le caractère public que leur importance rendoit indispensable au bon emploi de ses connoissances. Mais ce caractère public a eu pour premier objet les fonctions de la guerre ». La souveraineté de l'ingénieur ne peut que tendre à s'exercer sur la société entière : « L'art de l'ingénieur est celui d'appliquer aux besoins de la société, suivant les règles de la théorie et de l'expérience, la combinaison des différens élémens de l'existence physique et politique de cette société ». *Quelques idées sur l'art et les devoirs de l'ingénieur*, Cologne, an VI, pp. 1 et 2.

qu'un Francesco di Giorgio ou un Alberti, surtout que l'attente d'art était en comparaison anémique, que les structures sociales étaient moins propices à l'affirmation de grands génies sagaces en toutes sortes de travaux et de spéculations.

Cependant, c'est d'Angleterre que vint le branle en faveur des arts mécaniques, au moment de la première révolution industrielle, qui privilégia l'ordre quantitatif dans la production (1). C'est l'époque de la fortune de Bacon et de ses idées. Premier d'une lignée de commissaires politiques du scientisme qui hantent jusqu'aujourd'hui les entours des laboratoires, il exerça par son œuvre et son action politique, une influence décisive dans la psychomachie des arts.

Pour estimer à sa juste mesure la réforme baconienne, il n'est pas inutile de remonter dans le temps et de préciser auparavant les attitudes médiévales à l'égard du travail et de la technique. M. de Gandillac a montré, dans un récent article (2), quelle valeur certains clercs du XIII^e siècle accordèrent aux « arts mécaniques ». Il se réfère à Lulle pour des raisons à la fois pédagogiques et économiques ; ce dernier réhabilite le travail, « sans référence à une théologie (presque inconnue au moyen âge) qui invoquait l'exemple de Jésus charpentier, de Paul fabricant de tentes, pour magnifier cette *Formierung* par laquelle la matière brute se trouve techniquement élaborée, transformée en ouvrage proprement humain ». Il y a encore lieu de se référer aux mystiques rhénans tels que Eckhart et Tauler qui, un demi-siècle plus tard, critiquent l'excès de l'*otium* monastique, sans toutefois faire l'apologie des fruits matériels du travail. « Il leur semble seulement que la condition normale de l'*homo viator* implique un *operari in mundo* et que les prétendus contemplatifs qui, dès ici-bas, veulent faire l'ange, font trop souvent la bête ». La fidélité scolastique au classement traditionnel des modes de vie défini par Aristote, qui situe la quête laborieuse du profit bien au-dessous du loisir contemplatif et après la vie politique et militaire, n'a pas empêché les hommes du moyen-âge, moines, souverains et intendants des grands domaines, d'accomplir une profonde technicisation de l'univers chrétien qui a nécessairement préparé la naturalisation de l'ingénieur. On en peut percevoir l'écho dans les savantes encyclopédies médiévales qui font une place aux sciences « poétiques » (3), puis dans le prestige dont jouiront les ingénieurs toscans, bien que ceux-ci aient souvent conçu leurs machines dans un espace plus onirique que réel et ne puissent être donc résolument tenus pour des technologues dont la mission est, au sens du XIX^e siècle, de définir et de calculer l'espace optimum de déploiement d'une technique.

(1) Cf. J.U. NEF, *La naissance de la civilisation industrielle*, Paris, 1954, pp. 14 et 44.

(2) M. de GANDILLAC, *Rôle et signification de la technique dans le monde médiéval*, in *Diogenes*, n° 47, 1964, p. 136. Cf. également, *Le travail dans les règles monastiques*, par E. DELARUELLE in *Le travail et les techniques*, Paris, 1948.

(3) Cf. Vincent de Beauvais qui composa vers 1220, avec l'approbation de Louis IX, la plus importante encyclopédie médiévale jamais écrite. Sur ce sujet, cf. A.L. GABRIEL, *The educational ideas of Vincent de Beauvais*, 1956. - L'*Encyclopaedia, seu Orbis disciplinarum, tam sacrarum quam prophanarum, Epistemon* de P. SCALICHIUS, Bâle, 1559, reconnaît dans la Mécanique entre autres parties : « Manganaria, Mechanopoetice, Organopoetice, ... », p. 71.

La pensée de Bacon s'affirme à une époque où des inventions techniques récentes ont radicalement modifié la condition humaine. Comme à Tommaso Campanella (1), rien ne lui apparaît plus important que certaines découvertes qui ont pour nom imprimerie, artillerie, aimant ; « aucun empire, aucune secte, aucun astre », prétend-il, n'ont exercé un plus grand pouvoir, une plus grande influence dans les affaires humaines que les changements qui en résultèrent (2). La nature n'est pas ingrate ; l'homme peut et doit désormais dégager sa puissance de fécondité par une application constante aux sciences et aux arts. Il rêve de réunir dans une commune espérance enquêteurs attentifs, rabatteurs de trucs et voyeurs d'arcanes. Il faut faire confiance à l'ingéniosité de l'homme, combineur de forces et de formes ; de son activité incessante, collégiale de préférence, destinée à épuiser toutes les transformations possibles du monde physique, sortiront de nouvelles productions, matérielles et intellectuelles, un nouvel homme, une nature autre. L'homme baconien s'exerçant à une ardente *venatio* des secrets naturels, accomplit les propositions déjà formulées par Saint-Thomas (3) et s'institue « ministre et interprète de la nature » (4) ; il se transforme en transformant le monde qu'il enrichit d'une « nature factice » (5) ; celle-ci, à vrai dire, n'est selon Bacon que le troisième état de la nature, après celle des espèces et celle des monstres (6). « Dans les choses artificielles, la nature prend les ordres de l'homme et travaille sous son autorité, ... par les soins et le ministère humains se manifeste une nouvelle face des choses, un autre univers ou théâtre des choses » (7). Bacon dispute aux humanistes le droit au dévoilement, à la traduction, à la conversion ; et ce qu'il privilégie dans les opérations, ce sont les mutations de la matière ; s'il néglige quelque peu les injonctions de la *mathesis*, c'est qu'elles lui semblent moins fécondes, moins

(1) C'est dans sa *Città del sole*, écrite en 1602 et publiée seulement en 1623, que l'on trouve l'une des premières valorisations de l'histoire des faits économiques et techniques « vi è più historia in cent'anni che non ebbe il mondo in quattro mille e più libri si fecero in queste cento che in cinque mille : e l'invenzioni stupende della calamita e stampe et archibugi, gran segno dell' union del mondo ».

(2) Aphorisme 129 du *Novum Organum*, 1^{re} éd., 1627. La même année parut à Londres un pamphlet en faveur des modernes, réfutant l'idée d'une régression de la civilisation : *An Apologie or Declaration of the Power and Providence of God in the Government of the world, consisting in an Examination and Censure of the common Error touching Nature's perpetual & universal Decay*. Le thème est déjà exposé en 1608 par Simon Stevin qui prophétise l'avènement attendu du *Wijsentijl*, l'âge des sages.

(3) « Ars est ministra naturae », St-Thomas. Cependant, la nature questionnée de Bacon offrira une plus grande puissance de fécondité ; chez le Docteur angélique, comme chez Aristote, l'art est destiné à suppléer aux déficiences de la nature « in illis in quibus natura deficit ».

(4) « L'homme n'est que le serviteur et l'interprète de la nature ; et ce qu'il fait et ce qu'il sait n'est que ce qu'il a observé de l'ordre de la nature dans le fait ou dans la pensée... La chaîne des causes ne peut être par aucune force relâchée ni rompue, et l'on ne peut commander à la nature qu'en lui obéissant. Ces deux objets jumeaux, la connaissance et le pouvoir de l'homme, se conjuguent réellement en un seul ». *Instauratio magna*, in fine. Cf. également, *Novum Organum*, aphorisme 1.

(5) Les commentateurs tardifs de Bacon ont, semble-t-il, restreint le champ de la nature factice aux arts mécaniques. Ainsi, « telle est la puissance de la Mécanique qu'on peut appeler l'histoire de la nature factice... » in *Analyse de la philosophie du chancelier Bacon*, Amsterdam, 1755, p. 125. - Les objets artificiels (*res artefactae*) forment une division spéciale également dans la classification de Dalgarno.

(6) *Parasceve ad historiam naturalem et experimentalem*. *The New Organon*, Ed. F.H. Anderson, Indianapolis, 1960, p. 273.

(7) *Ibid.*, p. 273.

expressives, c'est qu'il reconnaît comme primordiale la puissance informante des éléments, plus riche de produits leurs combinaisons innombrables : « Entre les arts particuliers, il faut préférer ceux qui extraient, modifient et préparent les corps naturels et la substance des choses, comme l'agriculture, l'art culinaire, la chimie, la teinture, la verrerie, l'émaillerie, la sucrerie, la fabrication de la poudre, la pyrotechnie, la papeterie et d'autres productions semblables... » Il y a chez cet homme un avidité gourmande pour les matières, une attention presque anxieuse pour leur engendrement. Il relègue en seconde position « ceux des arts qui consistent principalement dans le mouvement délicat des mains ou d'instruments... tels que le tissage, la charpenterie, l'architecture, la construction des moulins, des horloges et autres arts semblables, quoi qu'il ne faille aucunement les négliger ». Ils importent, en effet, parce qu'ils sont l'occasion et le siège de phénomènes « relatifs à l'altération des corps naturels, et parce qu'ils apportent des enseignements précis touchant au mouvement local, ce qui est une affaire de grand intérêt à plusieurs points de vue » (1). C'est donc dans la production des matières et dans la mise en œuvre d'une nature transmutable que s'enracine le programme baconien. Espérance point folle, qui ne manquait pas d'encouragements, alors que l'ingéniosité des céramistes ou les premiers traités techniques, comme celui d'Agricola, multiplient des exemples de réussite. Ils devaient être assez convaincants, puisqu'à la source de l'induction baconienne, on a pu supposer non sans vraisemblance, des méditations sur la technique (2). Certes, on a critiqué l'écart trop tendu, pour nous, entre son ambition de dominer la totalité du savoir et l'empirisme de sa méthodologie ; mais on oublie, en revanche, que de nombreux traits de son monde idéal, sont aujourd'hui incarnés dans le nôtre, comme allant de soi, cependant que certaines de ses vues les plus déroutantes traduisent simplement l'état réel de la société dans laquelle il vivait (3). En fait, il prélude à la pensée technologique

(1) *Ibid.*, p. 278. On peut reconnaître la postérité de Bacon dans la chimie de l'*Encyclopédie*, extractrice et combinatrice de qualités. Au contraire de la physique mécaniste, énonciatrice de vérités abstraites, elle prétend aller au cœur des choses et surprendre la « vie de la nature ». On connaît à cet égard les critiques de Diderot formulées dans son *Interprétation de la nature* : « La chose du mathématicien n'a pas plus d'existence dans la nature que celle du joueur » (in *Œuvres philosophiques*, éd. P. Vernière, Paris, 1956, pp. 179-80). Cf. également, les remarques de Buffon : « l'idée de ramener l'explication des phénomènes à des principes mécaniques est grande et belle. Mais ce n'est qu'un projet, et ... il n'est pas fondé » (in *Œuvres*, éd. Flourens, Paris, 1855, t. I, p. 452). Pour lui, « toutes les idées des arts ont leur modèle dans les productions de la nature » (*Ibid.*, p. 15). Un courant vivace de la « philosophie » jacobine hérite de toutes ces convictions et les investit dans les projets d'éducation technique ; ce que l'on perçoit bien dans ces propos de Masuyer : « je veux que toutes les matières des arts, sortant brutes des mains de la nature, subissent successivement entre les mains des élèves, et sous l'œil de leurs maîtres, tous les procédés, toutes les opérations qui les appliquent aux usages de la société ; je veux que la théorie et la pratique se donnent la main, s'éclairent mutuellement, amènent rapidement tous les arts au degré de perfection dont ils sont susceptibles ; je veux enfin, par les efforts combinés de tous les maîtres, par leurs observations réunies et constamment suivies, arracher de la nature ces voiles dont jusqu'ici elle a couvert ses secrets, pour l'offrir aux adorations des hommes dans toute sa nudité, dans toute sa majesté », *Discours sur l'organisation de l'instruction publique et de l'éducation nationale en France*, 1793.

(2) Pour une attentive réévaluation moderne de l'œuvre de Bacon, voir Jan PATOCKA, *Aristoteles, jeho předchudci a dedičové*, 1964, Prague, pp. 288-301.

(3) *Ibid.*, p. 293.

du XVIII^e siècle, il préfigure la description, souvent rhapsodique, des arts et des métiers, qu'il importera d'examiner avec un œil de naturaliste et d'ordonner idéalement dans une classification taxinomique. La confrontation qu'il appelle ouvre l'activité technique de type corporatiste, en exhibe les modalités, facilitera les échanges d'ingéniosités. Ce lui est encore un mérite d'avoir senti la programmation politique de l'industrie et la pédagogie conséquente. Mais il n'a pas vu — qui songerait à lui en faire honnêtement grief — que la technique et la pédagogie du nouvel ordre seront fondées sur un type de science auquel il tourne le dos. D'autres fêtes le sollicitaient, entre la maison de Salomon et le métabolisme universel de la matière.

En dépit du caractère quelque peu fantastique de son univers, en raison plutôt du messianisme de ses discours, Bacon entraîne ses lecteurs dans un grand élan contagieux vers la culture scientifique. Contagion qui sera endémique. Par instants, Comenius répète Bacon (1) ; Descartes même, dans un passage célèbre, semble lui répondre ; mais chez lui, les ressorts de la nouvelle science forment une armature conceptuelle, seule capable d'en assurer le modelage technique (2). Le message baconien sera surtout revendiqué par le fidéisme techniciste de l'*Encyclopédie* (3) et, à sa suite, par maints technologues. Il est à peine utile d'ajouter que sa mémoire est vénérée par les Anglo-Saxons et quelques marxistes.

Les tâches du fabricant trouvent avec Bacon une nouvelle dignité et par là, il prépare la civilisation technologique. En omettant, toutefois, cette motion essentielle, le détour conceptuel par lequel le geste technique se trouve déduit d'une théorie préalablement constituée. Il y a dans la pensée de Bacon une myopie spéculative qu'il semble de bon ton de censurer. Cependant, c'est l'image même du rôle de l'ingénieur qui est profondément changée. Ses inventions ne seront plus seulement l'auxiliaire des desseins belliqueux, ni un art

(1) « Homo autem potest agere vel non agere ; et agere hoc vel illud, sic vel sic ; et censere ac emendare opera sua, in infinitum. Unde tanta operum humanorum exurgit, tum varietas, tum multitudo, ut quasi novus Mundus videatur ». Cf. J.A. COMENIUS, *Two pansophical works*, Prague, 1951 (*Praecognita*, p. 36).

(2) Les « notions générales touchant la physique... m'ont fait voir qu'il est possible de parvenir à des connaissances qui soient fort utiles à la vie, et qu'au lieu de cette philosophie spéculative qu'on enseigne dans les écoles, on en peut trouver une pratique, par laquelle, connaissant la force et les actions du feu, de l'eau, de l'air, des astres, des cieux et de tous les autres corps qui nous environnent, aussi distinctement que nous connaissons les divers métiers de nos artisans, nous les pourrions employer en même façon à tous les usages auxquels ils sont propres, et ainsi nous rendre comme maître et possesseur de la nature », *Discours de la méthode*, 6^e partie (Ed. de la Pléiade, Paris, 1952, p. 168). - Entre Bacon et Descartes, le concept de nature change complètement de sens : la nature baconienne, toute proche encore de l'homme par la fascination qu'elle exerce sur ses sens est le siège de puissances obscures dont il faut arracher les secrets ; la nature cartésienne, étendue, homogène, pure de toute force cachée — la nature n'est pas « quelque Déesse, ou quelque autre sorte de puissance imaginaire » — est transparente dans une géométrie qui lui imprime son ordre. L'homme est désormais séparé de la nature ; de serviteur et interprète, il est promu maître et possesseur. Son activité opératoire, dorénavant souveraine s'exerce dans un domaine illimité, assimilé à l'espace technique. Si, chez Bacon, la nature est le modèle pour la technique, chez Descartes c'est la technique qui devient modèle pour la nature.

(3) Cf. l'article *Art* dans lequel Diderot répète mot pour mot des formules baconiennes. Cf. également, de jugement tiré de la première livraison du *Journal économique*, datée de janvier 1751 : « le fond de la Nature est si varié & si inépuisable que l'on ne peut trop exciter l'industrie à donner à ses productions toutes les formes dont elle est susceptible », p. 12.

d'étonner à l'usage des cours princières. Elles apparaîtront comme un moyen économique et légitime d'améliorer la condition humaine (1). A l'idée de progrès scientifique s'unit désormais la vue de l'utilité et du confort, qui plus est, du confort accessible au grand nombre, grâce à des fabrications bien réglées ; la pensée technologique se déploie d'abord dans la commodité reproductible des objets, dans une ébauche de normalisation des ustensiles. Cette intention de consacrer le génie inventif de l'homme à l'extension du bien-être se trouve clairement avouée dans quantité de textes de l'époque post-baconienne. Ainsi, dans la seconde charte constitutive de la Royal Society : « Les « fellows » doivent s'employer à faire progresser sous la juridiction de l'expérience, les sciences de la nature et des arts utiles pour la gloire de Dieu le créateur et le profit de la race humaine ». Termes analogues à une exhortation de Boyle qui invite ses collègues à contribuer par leurs talents à la « gloire du grand auteur de la nature et au confort de l'espèce humaine » (2). De telles intentions supposaient assurément une réforme pédagogique et la contradiction portée sans ménagement contre les habitudes scolastiques. Bacon fut des premiers à former le projet d'un collège universel voué à l'enseignement et l'avancement de toutes les sciences. Projet qui recevra l'adhésion de Comenius dans la préface du tome II des *Opera didactica omnia*, et qui trouvera sous Cromwell une amorce de réalisation à Durham. Le nom de Comenius doit être souligné ici ; il affirme à la suite de Campanella (3) le primat de la chose sur le mot dans la pédagogie (4). Ses vues furent accueillies avec sympathie en Angleterre, notamment parmi les

(1) Ce qui ressort explicitement du programme tracé dans la *Nouvelle Atlantide*. Sa fin est de repousser les limites de l'empire humain, et de déterminer comment tirer de toutes les choses possibles les objets utiles à la vie et à la connaissance. Il se propose notamment d'instituer une compagnie qui examinerait à fond les propriétés de toutes les créatures, pour la plus grande gloire de leur Auteur & l'utilité du Genre humain... il fut dit que de douze en douze ans il partiroit de ce Royaume deux Vaisseaux dans chacun desquels il y auroit trois confrères de la Maison de Salomon... avec ordre de nous rapporter tout ce qu'ils auroient remarqué... d'observer principalement tout ce qui regarde les sciences, les Arts, les manufactures & les inventions nouvelles de tout l'Univers & de se charger à leur retour de toute sorte de Livres, d'Instrumens et d'Echantillons... », trad. franç., Paris, 1702, pp. 63-64.

(2) « Les choses auxquelles je m'applique », avouait Boyle à Macomber, en 1646, « sont la philosophie naturelle, les arts mécaniques et l'agronomie, en accord avec les principes de notre nouvelle collaboration philosophique, qui n'honore le savoir que s'il est utile à la pratique », Ed. Birch, Londres, 1744, I, p. 20.

(3) Campanella institutionnalise dans sa cité idéale l'enseignement par l'image murale déjà pratiqué de longue date par l'Eglise. Mais ce sont les mérites de l'*homo faber* qu'il fait représenter. Sur le mur intérieur de la sixième enceinte « sont reproduits les métiers, les machines, les outils, en usage dans les diverses nations. A côté d'eux les portraits de leurs inventeurs. Le mur extérieur est décoré par les portraits de ceux qui, par leur intelligence, par leur génie, leurs travaux ont doté l'humanité de quelque progrès » (Ed. Zévaès, 1950) ; ainsi, se trouvent préfigurés les programmes des célébrations révolutionnaires qui déploieront l'esprit de la fête encyclopédique dans l'espace architectural de la cité. Mais ces représentations ne seront pas que le cénotaphe du génie humain ; elles auront une destination pédagogique : « Il y a dans la Cité du Soleil des professeurs qui sont chargés d'enseigner le sens de ces nombreuses peintures. Grâce à leurs leçons, de tout jeunes enfants, âgés de dix ans à peine, apprennent sans peine, et comme en se jouant ces diverses sciences et même l'histoire de ces sciences » (*Ibid.*, p. 45).

(4) Les idées pédagogiques de Comenius qui demande la participation active de l'élève et une connaissance fondée sur les rapports directs et intuitifs avec les objets ont inspiré les fondateurs des *Realschulen* allemands qui seront si importantes pour la diffusion des connaissances technologiques. Cf. A. TIMM, *Kl. gesch. Technol.*, pp. 33-39 et U. TRÖTZSCH, *Ansätze technol. Denkens...*, pp. 142-149.

puritains. Le besoin de recueillir sur le continent toutes sortes d'informations — à l'instar des observateurs de l'utopie baconienne — celui de les comparer en vue d'améliorer le confort se manifeste dès les années 1630. Ainsi John Dury notait en 1631 (*Purpose and Platform of my Journey into Germany*) son intention de collecter les inventions et de réunir les procédés et pratiques de toutes les sciences ; et il insiste d'ailleurs sur l'opportunité de recueillir plus particulièrement ce qui intéresse la santé, mais aussi l'accroissement des richesses par les industries mécaniques et les échanges commerciaux, sur terre et par mer, dans la guerre comme dans la paix. La même intention paraît dans la correspondance de Henry Justil qui écrira en 1667 à Daniel Huet en ces termes : « S'il y a quelque chose dans votre province... qui soit commode et qui puisse contribuer aux aises de la vie, je vous prie de m'en faire part. Je fais un recueil de tout ce qui se trouve en chaque pays et qui n'existe point dans un autre » (1).

A l'instar de Comenius, le Poméranien Samuel Hartlieb, devenu Hartlib à Londres, s'était épris de rassembler dans une commune tolérance les diverses sectes chrétiennes dont les rudes dissensions avaient déchiré l'Europe ; tout comme le savant morave, il accordait le plus grand prix à l'éducation technique et aux vues de l'empirisme utilitaire. Son influence qui fut considérable illustre bien l'heureuse mobilité des esprits dans la république des lettres, cette tolérance indifférente aux origines qui contrastait si cruellement parfois avec les fanatismes religieux. Le premier séjour indiscutable de Hartlib en Angleterre se situe en 1628 ; on peut mesurer son crédit à la dédicace que Milton lui fit, en 1644, de son traité sur l'éducation (2), et celle de l'*Advice* de Sir William Petty publié à Londres en 1648. C'est un ami de Hartlib, le puritain Hezekiah Woodward qui aide à la conversion des esprits vers l'enseignement utilitaire « in touch with Life » que délivreront les « Dissenting Academies ». L'enseignement scientifique trouve encore des soutiens dans l'*Humble Motion to the Parliament of England concerning the Advancement of Learning* rédigée en 1649 par John Hall ou dans l'*Academiarum Examen* publié peu après par John Webster qui revendique en faveur de la « science jamais assez appréciée de la pyrotechnie ou chimie ». Ainsi s'amorce au xvii^e siècle un courant de curiosité pour les arts pratiques et leur pédagogie, qui ne sera pas sans effet à long terme. De son propre mouvement l'éducation technologique inspire une technologie de l'éducation.

En France, l'empirisme utilitariste eut, semble-t-il, un peu plus de peine à s'affirmer. Sans doute, les signes d'impatience à l'égard de la tradition scolastique ne manquent-ils pas au xvi^e siècle. Il y a des exemples fameux dans toutes les mémoires ; mais c'est surtout Bernard Palissy qu'il faut rappeler ici, dont

(1) Cité par H. BROWN, *Scientific Organisations in the Seventeenth century France*, Baltimore, 1934, p. 175. Huet annonce au même correspondant en 1686, l'abandon de son projet de livre sur les commodités de la vie.

(2) HARTLIB est l'auteur d'une utopie publiée à Londres en 1641, *A Description of the famous Kingdom of Macaria* dans laquelle il exprime sous le voile de l'exotisme ses vues réformatrices. On trouve par ailleurs dans l'*Advice of William Petty to Mr Samuel Hartlib for the Advancement of some particular Parts of Learning* de 1648, le projet d'un *gymnasium mechanicum*, qui serait un collège d'artisans conçu en vue du progrès des manufactures.

les opinions appartiennent à l'univers baconien. Même défiance à l'égard de la spéculation théorique, même référence enthousiaste à la pratique ; dès 1580, il met en garde son lecteur contre la culture abstraite : « (J'ai) désir de l'avertir que tu te donnes garde de essayer ton esprit de sciences escriptes aux cabinets par une théorique imaginative ou crochetée de quelque livre escript par imagination de ceux qui n'ont rien practiqué ». Et tout aussitôt, il vante l'expérience intuitive, sans aucunement prévoir la rationalité de l'expérimentation : « (je) te donne gaarde de croire les opinions de ceux qui disent & soutiennent que théorique a engendré la pratique. Ceux qui enseignent telle doctrine prennent argument mal fondé, disans qu'il faut imaginer & figurer la chose que l'on veut faire en son esprit, devant que mettre la main à la besogne » (1). Tout comme Bacon, il cède à l'ivresse que procure la réactivité presque vivante de la matière quand on la tourmente, et il récuse la fécondité de l'imagination théorique, à dire vrai assez infirme ou inefficace en son temps. Si Palissy se cantonne dans un empirisme provisoirement efficace, on trouve, en revanche, chez Sully et surtout Montchrestien des vues systématiques sur l'organisation économique de la nation entière : « L'art politic dépend médiatement de l'oeconomie » affirme Antoyne de Montchrestien dans son *Traicté de l'oeconomie politique, dédié en 1615 au Roy et la Reyne mère du Roy* (2). Il les conjure d'user de leur puissance pour enrichir le pays : « On peut réduire à trois moyens principaux la principale gloire de vostre règne et l'accroissement de la richesse de vos peuples : Au règlement et augmentation des artifices & manufactures, qui maintenant sont en vogue parmi nous, ou peuvent y estre mises à l'advenir ; A l'entretien de la navigation, laquelle decheut à veüe d'œil... Au restablissement du commerce qui s'en va périssant de jour en jour en ce royaume... » (3). Ces monitions ne seront guère entendues d'une Cour obsédée de soucis politiques pressants. Le propos de Montchrestien est d'ailleurs presque unique en France, à cette époque (4). C'est qu'il en a pris l'inspiration en Angleterre, où il avait dû fuir pour échapper aux suites judiciaires d'un duel. L'Angleterre était acquise à une mentalité protestante tolérante, comme l'a soutenu Max Weber, à une religion de l'entreprise. La France demeurera, au contraire, dominée par une spiritualité de fond catholique, accueillante de

(1) *Discours admirables...*, Paris, 1589. - Avertissement aux Lecteurs, n.p.

(2) Ed. Funck-Brentano, Paris, 1889, p. 27.

(3) *Ibid.*, p. 38.

(4) Il faut signaler toutefois, à la même époque, la publication de quelques ouvrages techniques d'un mérite inégal. A côté de dispositifs ingénieux, parfois réalisables et réalisés, ils exhibent des allégories de la puissance mécanique et des rêveries machinales. Dans l'édition par G. PASCAL (Lyon, 1582), du *Théâtre des instrumens mathématiques et mécaniques* de J. BESSON (Lyon, 1578), un « prohemio » de P. BEROALDO loue également le plaisir que son théâtre procure au regard, et l'utilité de ses machines : « suo Theatro d'una falica immensa ; si ripieno egli é di varij Instrumenti & Machine tanto a guardare giocondissime, quanto utilissime ad oprarle » (A ij). Autre ouvrage notable, celui de Salomon de CAUS qui publie en 1615, *Les Raisons des forces mouvantes avec diverses Machines tant utiles que plaisantes auxquelles sont adjoints plusieurs desseings de grottes et fontaines*, Francfort. Il prétend se distinguer de ses prédécesseurs qui « ont mis en lumière quelques Machines par eux inventées sur le papier, mais peu d'icelles peuvent avoir aucun effect, & ont creü, que par une multiplication de roues dentes les dites machines auroient effect, selon leur pensée... » (Epistre au Lecteur, n.p.).

plus à l'absolutisme du monarque. La prospérité familiale y apparaîtra plus rarement comme le signe de l'élection divine, et les sources d'enrichissement autres que foncières y jouiront longtemps d'une moindre considération. Tout ce qui sera janséniste souffrira mal l'excès des soins temporels ; dans son désir de réformer l'« homme intérieur », Jansénius ne dénoncera-t-il pas, et le dernier Pascal après lui, la vaine activité de l'intelligence finie coupable de détourner le vrai chrétien de la contemplation des vérités éternelles. Cependant, à l'utilitarisme anglais font écho divers libelles en faveur des arts mécaniques et de leur enseignement. Propos qui se noue dès 1624 avec Emeric Crucé : « Les hommes qualifiez ou pour la noblesse de leur race, ou pour la subtilité de leur esprit devroient plustost s'occuper aux sciences, et surtout à celles qui regardent l'utilité de la vie, assavoir la Médecine et les Mathématiques » (1). Où l'on voit cette dernière discipline entendue dans son acception la plus extensive, c'est-à-dire tout à la fois, la règle et l'impression de cette règle dans les produits de l'art. Ce que proclamera explicitement Desargues en 1647 : « J'avoue franchement que je n'eus jamais goust à l'étude ou recherche, ny de la Physique, ny de la Geometrie, sinon en tant qu'elles peuvent servir à l'esprit, d'un moyen d'arriver à quelque sorte de connoissance, des causes prochaines des effets des choses qui se puissent réduire en acte effectif, au bien & commodité de la vie qui soit en usage pour l'entretien ou conservation de la santé... » (2).

Une « domestication » des puissances naturelles, une organisation des commodités par l'application raisonnée des habiletés géométriques nouvellement acquises, tel sera le souci de nombreux chercheurs qui songeront parfois à un enseignement technique. Mathématiser la pratique des arts, faire descendre dans la routine des métiers un peu de ce bel ordre rationnel que l'on se plaisait à dessiner dans la figure du monde, telle sera l'espérance de toute une lignée d'ingénieurs qui, d'Errard (3) à Bélidor et aux premiers polytechniciens, soutiennent en France des projets pédagogiques distincts de ce qui sera délivré en Allemagne sous le nom de technologie. Ces ingénieurs étaient militaires ; leur influence fut décisive sur la pédagogie des sciences appliquées. On ne saurait trop insister sur le rôle de ces hommes souvent engagés dans des guerres de position. Devant une artillerie de plus en plus puissante, ils prirent pleinement conscience de ce que l'effet de la fortification est directement lié à la précision des calculs et à la correction des levés topographiques. Ils ont vécu et éprouvé la puissance du

(1) Em. CRUCE, *Le Ciné d'estal sur les occurences de ce temps, aux Monarques et Potentats de ce Monde*, s.l., 1624, p. 46. Dans un autre passage, Cruce dit des arts mécaniques qu'ils « ne cèdent guère en invention ou subtilité aux arts libéraux, & en utilité les surpassent ». *Ibid.*, p. 42. - Il vante par ailleurs le « Dénombrement des personnes et des biens très utiles ». En rapprochant dans une même attention les arts et la statistique, Cruce anticipe sur la formulation du projet technologique beckmanien.

(2) « Reconnoissance de Monsieur Desargues » dans la *Manière universelle de Pracliquer la Perspective par le petit pied comme le Géométral*, par A. BOSSE, Paris, 1647.

(3) « J'ay osé entreprendre ce que tous les Ingenieurs jusques à présent n'ont voalu ou osé, au moins n'en paroist-il rien par aucun escrit traictant de celle science : Car les discours des choses mechaniques ne meritent point ce Titre ; n'estant icy question des traicts, qui à quelqu'un pourroient réussir à l'adventure ; mais des démonstrations géométriques, qui donnent à tous assurance infailible... » *La Fortification reduite en art et démontrée*, par I. ERRARD de BAR-LE-DUC, Paris, 1600.

calcul et du dessin. Leur expérience fut déterminante pour la mathématisation des arts, et ils ne participèrent guère au mode de pensée technologique qui se déploie dans le repérage et la classification des procédés et des produits des arts.

On connaît un projet tardif de Descartes, formé en 1648, visant à instituer des écoles professionnelles : « pour perfectionner les Arts... faire bâtir dans le collège royal & dans d'autres lieux qu'on auroit consacrés au Public, diverses grandes salles pour les artisans... joindre à chaque salle un cabinet rempli de tous les instrumens mécaniques nécessaires ou utiles aux Ars... faire des fonds suffisants, non seulement pour fournir aux dépenses que demanderoient les expériences, mais encore pour entretenir des Maîtres ou Professeurs... habiles en Mathématiques et en Physique afin de pouvoir répondre à toutes les questions des Artisans, leur rendre raison de toutes choses, et leur donner du jour pour faire de nouvelles découvertes dans les Arts » (1).

Descartes réclamait donc des écoles d'arts et métiers qui fussent soumises à la raison des géomètres. Si le projet ne vit d'abord pas le jour dans sa nette simplicité, du moins des programmes d'inspiration voisine connurent-ils un début de réalisation. Colbert ordonna en 1675 à l'Académie des sciences de préparer des descriptions des arts qui répondent indirectement au vœu cartésien. Le 19 juin, Claude Perrault apporte l'ordre d'« examiner les moyens de faire un traité des mécaniques avec une description exacte de toutes les machines utiles à tous les arts & mestiers dont on se sert à présent en France et en toute l'Europe. Et Sa Majesté veut que ce traité soit d'utilité & puisse estre entendu et practiqué facilement par toutes sortes de personnes... » (2). Ces descriptions demanderont une longue patience et ne verront le jour qu'assez tard et partiellement, si bien qu'en l'an VII, l'Institut national concevra encore un *Programme pour la continuation de la description des arts*, technologiquement plus élaboré, mais qui demeurera sans lendemain (3).

Selon les vœux du pouvoir, le traité des mécaniques devait en 1675 être « entendu & practiqué facilement par toutes sortes de personnes » ; il s'agissait avant tout d'éclairer les hommes de métier ; mais les gentilshommes sont implicitement inclus dans cet intérêt. En 1687, le *Traité du choix et de la méthode des études* de l'abbé Fleury renferme des suggestions proprement technologiques ; l'honnête homme doit se ménager les « commodités de la vie », grâce à sa connais-

(1) A. BAILLET, *La vie de Monsieur Des-Cartes*, 1691, t. II, pp. 433-34. La création d'un enseignement professionnel fut réclamée par la suite, sans grand succès. En 1763, Henning Calvör souhaitait encore que l'on construisît dans le Harz « une école de mathématiques où seraient instruits dans leur jeunesse les têtes les plus capables et les plus éveillées de ceux qui veulent devenir mineurs ou charpentiers. On leur enseignerait dans leur jeunesse pendant les heures qu'ils peuvent distraire à leur travail professionnel déjà avancé ; dans les fondements de la géométrie, de la trigonométrie, de la statique et de la mécanique... en tant que sciences... » *Acta historico-chronologico-mechanica circa metalurgiam in Hercynia superiori ; Oder... Nachricht des Maschinenwesens*. Le projet ressemble à beaucoup d'égards de celui de Descartes.

(2) Cité par A. BIREMBAUT, P. COSTABEL, S. DELORMES, La correspondance Leibniz-Fontenelle et les relations de Leibniz avec l'Académie royale des sciences, in *Revue d'histoire des sciences*, 1966, XIX, 2, p. 119.

(3) *Vide infra*, p. 34.

sance des « arts utiles », tandis que les « machines ingénieuses » ne lui seront plus impénétrables (1).

Ces machines ingénieuses, on les exhibe de plus en plus ; elles cessent d'être confinées dans les ateliers ou réservées à la dilection particulière de quelques princes ravis d'étonner. On en répète les images dans les « théâtres de machines » ; s'ils présentent des effets surprenants, ils figurent surtout la fabrication des machines qui sont elles-mêmes les sujets d'une dramaturgie fantastique des forces mouvantes. Les estampes des théâtres se purgeront certes en quelques décennies du maniérisme graphique qui transportait la machine dans l'espace des glorifications héroïques ; elles gagneront en froide perfection formelle, dans le temps même où les cabinets se peuplent de modèles qui fonctionnent réellement, en petit, du moins.

On a conservé le catalogue d'une exposition de modèles ouverte à Paris, en 1683, qui révèle bien l'intérêt qu'un nouveau public d'entrepreneurs ou de mondains pouvait prendre à l'explication des machines et des « forces mouvantes » (2). La maquette entre dans les cabinets ouverts jusqu'alors aux seules bizarreries de la nature et aux automates, c'est-à-dire aux objets fondamentalement exotiques. La technique machinale efficace apparaît digne de curiosité comme le furent les « gaillardises d'optique », les pyrotechnies, les « gentilles inventions » et toutes les machinations ludiques. L'esprit du théâtre de machines se réfugiera en définitive, à l'âge baroque, dans les machines de théâtre, à mesure que l'expérience des mécaniciens sera requise par l'organisation manufactu-

(1) « A mesure que l'âge avanceroit... on feroit en sorte de les instruire passablement des arts, qui regardent la commodité de la vie, leur faisant voir travailler, & leur expliquant chaque chose avec grand soin... », *Traité...*, p. 185.

(2) *Explication des modèles des machines et forces mouvantes que l'on expose à Paris dans la rue de la Harpe, vis à vis Saint-Cosme*, Paris, 1683. Le texte anonyme de la Préface contient toutes sortes de monitions à l'égard de la « diversité des Esprits qui se rencontrent dans le Public » ; on y prétend que l'« explication des machines et forces mouvantes doit être considérée comme une affaire sérieuse, importante & très utile... ». L'Explication aborde la question controversée de la dimension optimale des machines « L'on objecte qu'il est possible qu'une Machine fasse son effet en petit, & non pas lors qu'elle sera d'une grandeur plus considérable... » (p. 2 ; *vide infra*, p. 17). Le rédacteur fait allusion aux énergies motrices non encore domestiquées, « l'Ayman, le feu et la Poudre à Canon ». Cette exposition réalisait un vœu de Huygens qui écrivait en 1667 que « Pour les inventions qui consistent en pratique comme des machines utiles..., et parce que l'intelligence de celles que l'on voit donne souvent occasion et moyen d'en inventer d'autres comme aussi de perfectionner ces premières, il seroit bon de faire construire des modèles de toutes les machines utiles qui sont en usage comme de différens moulins, de pompes et autres inventions pour élévation des eaux, de celles qui servent à mouvoir de grandes pesanteurs, et autres qu'on emploie dans divers mestiers, lesquels modèles l'on arrangeroit dans une chambre, avec l'éclaircissement nécessaire par escrit ajouté à celles qui en ont besoin ». M. P. BIREMBAUT a identifié, dans un article récent, l'initiateur de l'exposition avec J.B. PICOT, fourrier ordinaire des logis. *Rev. d'hist. des sc.*, av.-juin 1967, pp. 141 sq.

Cette idée de confectionner des maquettes animées s'explique en partie par l'immaturité des techniques de dessin industriel qui ne permettaient pas de clairement rendre compte des déplacements des pièces. Quand, en 1670, Colbert ordonne de procéder à des enquêtes dans les manufactures, il a en vue la construction de maquettes : « Le roi désirant faire mettre dans sa bibliothèque des modèles des machines les plus curieuses, les intéressés en la manufacture de rubans établie à Chevreuse feront voir au sieur Niquet les nouveaux métiers sur lesquels se font plusieurs rubans à la fois, et lui laisser prendre sur les dits métiers les mesures dont il aura besoin ». *Lettre* du 29 juin 1670, citée par J. Proust, *Diderot et l'Encyclopédie*, Paris, 1962, p. 183.

rière (1). Il s'en faut cependant de beaucoup que le machinisme industriel ait accompli de ce moment des progrès décisifs. L'histoire du monde machinal semble d'abord se pulvériser en d'innombrables transitions dont le repérage est aussi difficile qu'elle est apparemment désordonnée. Pourtant, la distance est considérable entre le machinisme du début du siècle des lumières et celui de l'ère manufacturière, entre la « technologie » de l'Académie des sciences et celle qui sera mise en œuvre par les ingénieurs de l'École centrale des arts et manufactures. Une mise en parallèle s'impose entre deux types d'organisation machinale qui nous aidera à reconnaître les trajets historiquement efficaces de la pensée technologique et à en marquer les coupures décisives.

Tout d'abord, le contrat de l'inventeur avec la société est radicalement altéré car le procès de l'invention est bouleversé, cessant d'être affaire de simple intuition artistique. L'imagination des *configurations* et des *mouvements* sera assujettie au XIX^e siècle aux règles imprescriptibles d'une cinématique achevée. La réticulation mathématique de l'espace multiplie à l'infini les choix possibles de configuration, et diversifie les opérations, mais asservit, en vertu du calcul, tout modelage partiel à la considération de la totalité de l'organisme machinal. Quant aux *forces*, l'ancien ingénieur les sollicitait intuitivement, au lieu que l'ingénieur du XIX^e siècle est en possession des règles qui procèdent d'une connaissance scientifique des *énergies* de la matière et des lois de leurs transformations.

Si les anciens constructeurs de machines ne se désintéressaient pas de l'estime de l'effet, leurs calculs à ce sujet nous apparaissent bien infimes. Longtemps, ils ne purent les fonder que sur la considération des lois du levier, et sur ses applications statiques. Les lois du mouvement, la dynamique du choc,

(1) Le projet du spectacle total de Leibniz, réunissant en un seul lieu parc d'attractions, salles des jeux, représentations théâtrales, instruments, démonstrations et explications scientifiques, inventions, maquettes, modèles, reproductions, objets contrefaits, monde de l'illusion, donne l'idée de cette multiplicité des réseaux de représentations dans laquelle se reconnaît la société de l'âge baroque : « Les représentations seroient par exemple des Lanternes Magiques (on pourroit commencer par là), des vols, des météores contrefaits, toutes sortes de merveilles optiques; une représentation du ciel et des astres; comètes; globe comme de Goltorp ou Jena; feux d'artifices, jets d'eau, vaisseaux d'estrange forme; Mandragores et autres plantes rares. ... Machine Royal de cours de chevaux artificiels... Fortifications faites, élevées, de bois, ... un maistre de fortification expliqueroit l'usage de tout. Guerre contrefaite... Théâtre anatomique. Jardin des simples. Laboratoire suivront. Car outre les représentations publiques, il y aura des particulieres, comme des petites machines de Nombres, et autres tableaux, medailles, bibliotheque. Nouvelles experiences d'eau, air, vuide. Pour les représentations grandes serviroit aussi la machine de Mons. Guericke... On y feroit l'operation de transfusion et infusion... Des representations des muscles, nerfs, os, item machine representant le corps humain. Insectes de Mons. Schwammerdam... On y pourroit à la fin establir des Academies d'Exercices et des colleges pour la jeunesse, peut estre la pourroit on joindre au college des 4 nations. Comedies des modes, différentes de chaque pays... Comedies des mestiers, une pour chaque mestier, qui representeroit leur adresses, fourberies, plaisanteries, chefs d'œuvre, loix et modes particulieres ridicules... L'experience de casser un verre en criant... Faire voir l'egalité des battements des pendules. ... L'usage de cette entreprise seroit plus grand qu'on ne se pourroit imaginer... ce seroit un bureau general d'adresse pour les inventeurs... » *Drole de pensée, touchant une nouvelle sorte de representations* (texte daté de septembre 1675), in *Technische Schriften*, éd. E. Gerland, Leipzig, 1906, pp. 246-52 et in *Nouvelle Revue française*, oct. 1958, intr. et notes de Y. Belaval.

les modalités du frottement ne pénétrèrent que bien lentement (1) la théorie des mécaniciens qui s'accommodaient de correctifs tout empiriques, tout comme

(1) La question des proportions des machines a été discutée par Galilée en relation avec la résistance de leurs éléments. On connaît sa thèse qui affirme catégoriquement qu'on ne peut accroître la dimension totale d'un dispositif sans en modifier les proportions. Il la développe par l'organe de *Salvati* dans ses *Discorsi... intorno a due nuove scienze* : « ... con tutte ciò il solo esser materiale fa che la macchina maggiore, fabricata dell'istessa materia e con l'istesse proporzioni de la minore, in tutte l'altre condizioni risponderà con giusta simmetria alla minore, fuor che nella robustezza e resistenza contro alle violente invasioni ; ma quanto più sarà grande, tanto a proporzione sarà debole... Però, Sig. Sagredo, revochi pur l'opinione che teneva, e forse insieme con molti altri che nella mecanica han fatto studio, che le machine e le fabbriche composte delle medesime materie, con puntuale osservanza delle medesime proporzioni tra le loro parti, debban esser egualmente, o, per dir meglio, proporzionalmente disposte al resistere ed al cedere alle invasioni ed impeti esterni, per che si può geometricamente dimostrare sempre le maggiori essere a proporzione men resistenti che le minori ; si che ultimamente non solo di tutte le macchine e fabbriche artificiali, ma delle naturali ancora, sia un termine necessariamente ascritto, oltre al quale nè l'arte nè la natura possa trapassare. trapassar, dico, con osservar sempre l'istesse proporzioni con l'identità della materia. *Le Opere*, tome VIII, p. 51, Florence, 1933.

On sait que Galilée développe dans le second dialogue une théorie de la résistance à la rupture d'une poutre, inaugurant une série de recherches fondamentales pour toute théorie de la construction, qui seront poursuivies par Bêlidor, et surtout Coulomb et Navier.

Le problème du passage de la maquette à la machine réelle, c'est-à-dire celui du calcul de la dimension des parties relativement à la dimension d'un organisme machinal entier n'est en aucune façon réductible à des considérations de résistance. Il y entre encore la considération des frottements qui, en l'absence d'une théorie achevée, rend douteuse l'estimation *a priori* de l'effet d'une machine, ou encore de sa dimension optimale en vue de tel rendement. La difficulté de la question a été pressentie par divers auteurs, notamment le Père Malebranche et Diderot. C'est dans la *Recherche de la vérité* (VI, I, iv) que le premier note la distance qui sépare la mécanique théorique de la pratique machinale : « dans les mécaniques on suppose que les roues et les leviers sont parfaitement durs et semblables à des lignes et à des cercles mathématiques sans pesanteur et sans frottement ; ou plutôt on ne considère pas assez leur pesanteur, leur frottement, leur matière, ni le rapport que ces choses ont entre elles ; que la dureté ou la grandeur augmente la pesanteur, que la pesanteur augmente le frottement que le frottement diminue la force, qu'elle rompt ou use en peu de temps la machine, et qu'ainsi ce qui réussit presque toujours en petit ne réussit presque jamais en grand ». C'est dans l'article *Art* que Diderot traite de l'optimum de dimensions des machines : « il y a relativement aux dimensions d'une machine, un point, s'il est permis de parler ainsi, un terme où elle ne produit plus d'effet, il y en a un autre au delà ou en deçà duquel elle ne produit pas le plus grand effet dont son mécanisme était capable. Toute machine a, selon la manière de dire des géomètres, un maximum de dimensions ». Or, selon Diderot, l'optimum, la « dimension véritable et absolue » ne ressortit pas au seul calcul, c'est, dit-il « à la géométrie expérimentale et manouvrière de plusieurs siècles, aidée de la géométrie intellectuelle la plus déliée à donner une solution approchée de ces problèmes ; et je suis convaincu qu'il est impossible d'obtenir quelque chose de satisfaisant là-dessus de ces géométries séparées, et très difficile de ces géométries réunies » (éd. J. Assézat, p. 367-8).

La difficulté de constituer une théorie générale des machines explique la persistance de types d'ingénieurs représentés par Watt ou Smeaton. Dans son *Introduction à la mécanique industrielle*, Poncelet pourra encore écrire en 1829, qu'un espace immense sépare la Mécanique enseignée dans nos écoles, de ses applications, même les plus usuelles et les plus simples. Tantôt la compressibilité ou la flexibilité naturelles des corps, tantôt leur inertie et les résistances, de toute espèce, qu'ils opposent au mouvement et à l'action des forces, viennent, sinon démentir complètement, du moins modifier tellement les déductions théoriques, que les résultats diffèrent souvent du simple au quadruple ou au quintuple ». Il stigmatise les méfaits intellectuels des « idées incomplètes... sur l'équilibre absolu, sur le mouvement idéal des corps ou parfaitement durs ou parfaitement élastiques, ou sur les machines simples qui ne sont, en effet, que des êtres géométriques, la forme extérieure étant la seule chose qui leur reste », car « les principales difficultés ne résident pas tant dans la démonstration des principes généraux de l'équilibre et du mouvement mais bien dans la conception physique des phénomènes physiques » (p. xiv). - Quant au problème de l'estimation du rendement d'une machine motrice, il a reçu un commencement de traitement théorique, en 1737, dans le mémoire de PITOT intitulé *Règles pour connoître l'effet qu'on doit espérer d'une machine*. Ce problème sera également examiné par L. EULER en 1755 (voir *infra*, p. 25). La recherche des moyens à disposer en vue d'obtenir avec une puissance donnée tel effet désiré constituera un article fondamental du programme technologique idéal de HASENFRATZ (voir *infra*, p. 48).

ils soumettaient à des réglages intuitifs les « jeux » et les adhérences des pièces mobiles.

L'ingénieur moderne, pour sa part, peut dans une certaine mesure conditionner ses projets selon la graduation de tout un système de *tolérances* bien calibrées. A ces spécifications dimensionnelles, répond encore pour lui un tableau de *spécifications* proprement matérielles, beaucoup plus riches, et diversifiées, mais bien mieux normalisées que l'univers des anciens matériaux techniques. Il est vrai qu'à cet enrichissement des composants répond une diversification et une extension des milieux physico-chimiques qui entrent au contact des organes mécaniques.

En définitive, si le mécanicien d'autrefois est en mesure de construire une machine efficiente, il est bien éloigné de pouvoir prédire avec une bonne approximation son efficacité. L'ingénieur du XIX^e siècle pourra, en revanche, projeter toutes sortes de dispositifs par application de règles qui, si elles n'embrassent pas la totalité des déterminations possibles, constituent un système normatif hiérarchisé permettant de *prédire* l'effet du dispositif dans des limites connues d'approximation. Une telle démarche intègre les théories qui rendent raison des déperditions énergétiques inhérentes aux structures machinales ; elles permettent en conséquence de les réduire et de calculer au terme des ajustements le *rendement pratique* de la machine. En d'autres termes, l'ingénieur du XIX^e siècle est, au contraire de son prédécesseur, apte à déterminer par le calcul, entre plusieurs projets, celui qui produira tel effet dans telles conditions techniques données. Il accomplit par la combinaison des formes, des matières et des forces les conditions de *l'optimisation*. La valeur économique de la machine est inséparable de cette optimisation technique, bien qu'elle doive être encore référée aux structures socio-économiques contemporaines. En fait, cette estimation est toujours conjecturale, puisque la machine qui est immergée dans un ensemble économique, ne prend toute sa valeur que par son pouvoir d'adaptation à cette structure qu'elle contribue à réaliser. Bien plus, l'insertion de la machine dans la vie sociale a pour effet d'injecter des propriétés machinales dans l'organisme social même dont les crises seront désormais liées à l'ordre de la production. Une autre conséquence apparaît cependant dans la société « technologique », c'est la multiplication de produits stéréotypés, nés des machines qui engendrent l'obligation presque morale de la consommation.

La machine n'a d'abord servi qu'à amplifier la puissance de la main ; ce n'est qu'ensuite qu'elle a permis de créer des opérations techniquement et économiquement inconcevables par la seule pratique manuelle. La division du travail qui dépossède l'ouvrier d'une puissance informatrice continue, est concomitante d'un grand débit d'énergies physiques et chimiques incomparables et incommensurables aux forces humaines. Le XIX^e siècle verra donc s'instaurer un mode de production spécifiquement machinal qui modifiera peu à peu l'environnement humain. L'homme se concentre dans les machinofactures et se regroupe dans des cités usinières ; le paysage traditionnel est bouleversé, dans le temps même où se déplace la finalité des gestes techniques. Ce qui

comptera désormais, ce seront les interactions économiques de telles ou telles unités de production ; des interférences se produiront à l'échelle des nations ; la pensée technologique se déploiera, à son niveau supérieur, comme la *totalisation des organes techniques* d'une société entière.



Cette problématique de l'insertion de la machine dans la société se développera durant le XVIII^e siècle à l'horizon des *sciences camérales*. A un niveau plus spécifiquement technique, on voit alors se déplacer et s'enchevêtrer une ligne de partage entre deux attitudes qui se combattront dans l'*Encyclopédie* et jusqu'à l'École polytechnique : d'une part, la recension des procédés et la pratique intuitive ; de l'autre, la rationalisation mathématicienne. Les empiriques avaient l'avantage de la priorité dans la construction des machines ; ils furent patiemment catéchisés par les géomètres dont les écrits laissent volontiers percer quelque agacement au sujet des machines conçues dans la suffisance de la seule pratique. C'est La Hire qui concède en 1695 que « s'il s'est trouvé quelques ouvriers qui aient réussi dans des entreprises assez considérables par la seule pratique, on ne peut pas dire qu'ils ne scussent rien de mécanique & qu'il vaut bien mieux travailler comme au hasard... » (1). C'est Fontenelle qui, faisant l'éloge du Père Sébastien Truchet, rappelle que « la géométrie est absolument nécessaire pour la théorie de la mécanique. Que le génie le plus heureux pour une certaine adresse d'exécution, pour l'invention même, ne se flatte pas d'être en droit d'ignorer et de mépriser les principes de théorie, qui ne sauraient que trop bien se venger » (2). A quoi fait écho Bélidor dans son *Architecture hydraulique* : « Il faut convenir qu'il se trouve des Praticiens qui trouvent dans la supériorité de son génie des ressources merveilleuses, & qu'en général c'est aux personnes de ce caractère que l'on est redevable de ce qu'il y a de plus heureusement imaginé dans les Arts ». Mais la réussite n'est alors que le signe de la participation à un schématisme géométrique opératoire, bien commun de la société : « lorsqu'on est capable de méditer un projet & de captiver long-temps son attention sur une même chose pour en développer toutes les faces, afin de ne se déterminer qu'en faveur du parti le plus avantageux, cette manière de penser est une vraie théorie à laquelle on doit le succès qui en est la suite ; alors sans le savoir, on imite les géomètres, on en a l'esprit & les vûes, puisqu'on cherche à parvenir au même but... ». Cette fécondité instinctive a, bien entendu, ses limites : « Il se rencontre souvent des cas où les puissances dont on doit considérer l'action, renferment des rapports si compliqués, qu'il

(1) *Traité de mécanique où l'on explique tout ce qui est nécessaire dans la pratique des Arts, & les propriétés des corps pesants lesquelles ont un plus grand usage dans la physique*, Paris, 1695, p. 4.

(2) *Eloge du P. Sébastien Truchet, Carme*, in *Œuvres*, éd. 1792, Paris, t. VIII, p. 311.
En 1853, un polytechnicien, A.J. de Montferrier dénoncera encore dans un long article sur « l'importance actuelle des sciences mécaniques... la fausse idée de la supériorité de la pratique sur la théorie ». *Revue progressive*, n° 1, p. 5.

n'est pas possible de les appercevoir sans le secours d'une théorie fort délicate... Il est des choses essentielles à sçavoir que l'expérience n'apprend pas... » (1).

Avec tous ceux qui cherchent résolument dans les mathématiques des moyens de perfectionner les arts, il entend déterminer par le calcul les meilleurs profils de construction et la bonne figure des machines ; on lui est redevable des premiers traités proprement scientifiques pour l'ingénieur qui conserveront durablement leur prestige aux yeux des praticiens (2). Non seulement, il propose des dispositifs nouveaux, mais encore démontre-t-il « géométriquement plusieurs parties essentielles qui n'avoient été jusqu'à présent mises en usage que par pratique ». Cette approbation de son supérieur Gittard pourrait être étendue à ses œuvres d'hydraulique dans lesquelles il analyse, tant du point de vue cinématique que dynamique, maintes machines existantes ; il en démontre les organes et les liaisons dans de belles planches où la vue perspective est souvent accompagnée de plans géométraux et de schémas cinématiques. Comparativement, maintes planches de l'*Encyclopédie* sont pauvrement narratives et anecdotiques ; c'est bien plutôt Monge et Prony qu'il annonce. Certes, tout n'est pas irréprochable chez Bélidor, certains passages sont un peu hâtifs, il y a les erreurs sur les roues à auget, parfois les genres sont mêlés ; mais enfin, ses traités marquent positivement l'élaboration d'une science de l'ingénieur constructeur, c'est-à-dire un « homme universel » qui connaît les raisons numériques des puissances, imagine et projette les configurations, s'est enfin assimilé la « matière machinale », comme dit Fontenelle (3).

La théorie des mouvements avait retenu l'attention des mécaniciens du XVII^e siècle ; c'est en démontrant que l'isochronisme des oscillations se produit sur la cycloïde, et non sur le cercle, (4) que Huyghens énonce les conditions d'un découpage métrique du temps, et définit les propriétés de l'instrument capable de résoudre ce problème théorique. C'est une exigence de précision technique qui permettra d'indiquer avec justesse par des repères matériels la solution de ce problème ; c'est par l'acquisition de la précision que se distingue le dispositif techniquement achevé, celui dont l'action permet la mesure d'autres actions, et institue la possibilité d'étendre indéfiniment l'application du calcul aux machines. Il appartiendra aux savants mécaniciens du XVIII^e siècle de traiter les grosses machines avec l'attention des savants instrumentalistes et de graduer la hiérarchie des approximations dans la définition des formes. Mais l'impérialisme du calcul ne se déploiera pas sans peine. La contagion

(1) *Architecture hydraulique ou l'art de conduire, d'élever et de ménager les eaux pour les différens besoins de la vie*, par M. BELIDOR..., Paris, 1737. Préface, b ij.

(2) Paul Louis Courier, du temps qu'il était ingénieur militaire en Italie, demandait encore qu'on lui envoyât « son Bélidor », c'est-à-dire *La science des ingénieurs*, utile compendium pour toutes sortes d'ouvrages. L'*Architecture hydraulique* fut traduite en allemand en 1740 à la diligence de C. Wolff qui rédigea à cette occasion une intéressante préface (*vide infra*, p. 23) et Navier rééditera les deux principaux ouvrages de Bélidor en 1816 et 1819.

(3) *Vide infra*, page 24.

(4) Cf. A. KOYRÉ, Du monde de l'à peu près à l'univers de la précision, in *Critique*, n° 28, 1948. Réimpr., *Études d'histoire de la pensée philosophique*, 1961, p. 329.

subreptice de la précision échappe pour une bonne part à l'historien qui ne dispose que de discours isolés et d'exposés doctrinaux dont il est difficile de mesurer le retentissement dans la république des sciences. Tout au plus, pouvons-nous distinguer qualitativement des partis pris théoriques. Il y a lieu, en outre, de discerner ce qui est du domaine de l'assemblage cinématique dans la conception de dispositifs transformateurs de mouvement et ce qui procède d'une intention d'optimiser l'aménagement des forces. Le calcul des formes en vue du meilleur rendement énergétique ne se présentera que tardivement à l'esprit des machinistes, faute de théorie suffisante, alors que le découpage astucieux des dispositifs, objet possible de l'intuition, apparaîtra beaucoup plus tôt comme le principe même du génie mécanicien. Tel est le sentiment de Condorcet, quand il fait l'éloge de Vaucanson. Pour nous dire son idée particulière du mécanicien, il dit d'abord ce qu'il n'est pas : « ce n'est point un géomètre qui, approfondissant la théorie du mouvement et l'ordre des phénomènes, crée des principes nouveaux de mécanique ou découvre dans la nature des lois inconnues ; ce n'est pas le physicien géomètre qui, joignant la science de l'observation et de l'expérience à celle du calcul, fait de ces connaissances une application utile à la construction des machines ou aux travaux des arts » (1). Son affaire n'est donc pas ce que nous appelons la mécanique rationnelle, encore moins une thermodynamique ; ces sciences seront certes impliquées dans toute machine satisfaisante, mais le propre même de l'ingénieur mécanicien, selon Condorcet, est plutôt la conception spatiale et cinématique d'une pluralité de liaisons, une différenciation organisée de l'étendue : « Le génie dans cette partie des sciences, consiste principalement à imaginer et à disposer dans l'espace les différents mécanismes qui doivent produire un effet donné, et qui servent à régler à distribuer, à diriger la force motrice » (2). Le mécanicien de Condorcet rivalise avec la nature organique en inventant des organismes machinaux qui se déploieront tout formés dans son imagination, sans qu'il soit besoin de requérir la sanction de la pratique : « On peut inventer des chefs-d'œuvre en mécanique sans avoir fait exécuter ou agir une seule machine » (3). Condorcet fonde ici la valeur probante du projet imaginaire effectivement communicable, mais qui ne sera positivement interprétable que du jour où la théorie de l'application et la langue des arts seront fixées. Cependant, il insiste en louant

(1) CONDORCET, *Eloge des académiciens*, Brunswick et Paris, 1799, tome II, p. 212.

(2) *Ibid.*, p. 213. A un tel programme, des études du mécanicien s'oppose la conception développée par un représentant de la génération suivante, Burdin : « il ne s'agit pas tant dans cette science [la mécanique] d'établir des calculs profonds, des formules savantes sur des forces hypothétiques, ni d'inventer des machines ingénieuses, seulement par la combinaison de leurs parties, que de bien étudier les lois des forces que la nature nous présente, en combinant le calcul avec l'expérience, de les mesurer exactement et de parvenir à les approprier à nos usages le plus convenablement, le plus utilement et le plus économiquement possible », *Considérations générales sur les machines en mouvement in Journal des mines*, 1815, n° 221, p. 2. Propos d'ingénieur qui a incorporé le thème du rendement pratique dans ses projets. L'usage de la machine à vapeur fait émerger le problème de la conversion des énergies. Dans le premier tiers du XIX^e siècle, la mesure des forces et la constitution de la thermodynamique vont actualiser, de concert avec le développement de l'électromagnétisme, l'extraction et de la transformation des forces naturelles.

(3) CONDORCET, *op. cit.*, p. 213.

Vaucanson, sur l'imagination inspirée, créatrice de configurations efficaces. Les modèles ne sont à ses yeux que d'un médiocre secours, plutôt seraient-ils même des obstacles : « Les ateliers des arts, les recueils de machines montrent ce qui a été fait ; mais pour en tirer des résultats, il faut soi-même les former » (1). Cette capacité d'invention est dirigée par une espèce de finalité organique qui vise moins à inventer de nouveaux arts qu'à épargner l'effort humain : « Le mécanicien est celui qui tantôt applique aux machines un moteur nouveau, tantôt leur fait exécuter des opérations qu'on était obligé, avant lui, de confier à l'intelligence des hommes » (2). Le mécanicien, c'est donc le projecteur d'*automates* qui transporte dans l'ordre machinal la fécondité du dispositif de la main ὄργανον προ ὄργανων, prolonge en quelque sorte le plan de la création divine pour mieux presser la nature et en tirer « des produits plus abondants et plus parfaits » (3). Ces automates qui se substituent à la main de l'ouvrier, ce sont les *machines-outils* que Vaucanson contribua justement à perfectionner ; comme le rappelle M. Daumas, « il fut incontestablement le premier à construire en 1760, un tour parallèle muni d'un porte-outil à déplacement mécanique » (4) ; le premier à créer un tour industriel avant Maudslay (5), et à animer mécaniquement des *opérateurs*, pour reprendre la terminologie de Haton de la Goupillière (6). A la suite des technologues, Marx a bien marqué l'importance radicale de la machine-outil dans la genèse de la révolution industrielle : « La machine-outil est... un mécanisme qui, ayant reçu le mouvement convenable, exécute avec ses instruments les mêmes opérations que le travailleur exécutait auparavant avec des instruments pareils. Dès que l'instrument, sorti de la main de l'homme, est manié par un mécanisme, la machine-outil a pris place du simple outil. Une révolution s'est accomplie alors même que l'homme reste le moteur... La machine à vapeur elle-même... n'amena aucune révolution dans l'industrie. Ce fut au contraire la création des machines-outils qui rendit nécessaire la machine à vapeur révolutionnée » (7). Il faut certes apporter quelques correctifs à ce jugement catégorique ; on soupçonne mal le nombre des innovations tech-

(1) *Ibid.*, p. 214.

(2) *Ibid.*, p. 212.

(3) *Ibid.*, p. 213.

(4) M. DAUMAS, *Les instruments scientifiques aux XVII^e et XVIII^e siècles*, Paris, 1953, pp. 149-50. Le même auteur cite un passage de l'*Art du tourneur mécanicien*, 1775, dans lequel Hulot attribue au tour le très important mérite de la précision : « N'est-ce pas à l'art du tourneur que la construction des instrumens de mathématiques, d'astronomie, de physique, d'hydraulique, etc., doit ses plus essentielles qualités ? Et que seroient ces instrumens sans la précision que nul autre moyen que le tour ne sauroit leur procurer ? » Une telle remarque va à la rencontre du jugement de Koyré : « c'est dans la construction des instruments que s'affirme la pensée technologique ; c'est pour leur construction que s'inventent les premières machines précises ». *Op. cit.*, p. 329.

(5) Le tour à fileter de Maudslay date de 1797. Au contraire des dispositifs antérieurs de Vaucanson et de Sénot, les machines-outils de Maudslay connurent rapidement une grande diffusion.

(6) « Une deuxième partie, placée à l'autre extrémité de l'appareil, est en contact direct avec la matière à élaborer. On l'appelle *opérateur* ; elle remplace l'outil que ferait mouvoir en l'absence de la machine la main de l'ouvrier... » J.N. HATON DE LA GOUPILLIÈRE, *Traité des mécanismes et des résistances*, Paris, 1864.

(7) K. MARX, *Le Capital*, 1867, trad. franç. Joseph Roy, Paris, 1938-39, t. II, p. 66-69. (C'est nous qui soulignons). *Vide infra*, p. 62.

niques appelées par le développement même de la machine à vapeur en tant qu'organisme machinal perfectible (1), mais on ne peut manquer d'être frappé de la perspicacité de Marx sur ce sujet ; la véritable révolution industrielle n'est pas une révolution technique, mais bien technologique, dans la mesure où elle procède d'une invention et d'une définition des tâches et des opérateurs.

L'appréciation de Condorcet, on sent bien qu'elle incline à la louange du génie qui invente sans être en possession de la théorie de l'invention qui intégrerait le savoir théorique. Les rapports nécessaires entre théorie et pratique, si souvent invoqués, furent marqués des caractères d'une fausse transparence. Tous ceux qui ont médité l'amélioration des machines ont ressenti le besoin d'une *théorie de l'application* ; c'est dans ce sens qu'il faut interpréter le vœu de Wolff quand il appelle l'intervention d'« un troisième homme qui réunirait en lui la science et l'art » (2). Personnage un peu mythique prompt à résoudre

(1) Cuvier dit de la « machine à vapeurs » qu'elle est « de la géométrie et de la mécanique vivifiées », in *Réflexions sur la marche actuelle des sciences et sur leurs rapports avec la société*, 1826, p. 18.

Il ne fait pas de doute que la solution de problèmes posés par l'amélioration du rendement des machines à vapeur, en vue de leur application à quantité d'opérateurs a contribué à perfectionner certains d'entre eux ; il en est allé ainsi des machines à aléser les cylindres. C'est à la fin du XVIII^e siècle que se densifie le réseau des implications techniques. « Chaque usage nouveau d'une chose appelle et multiplie ceux d'une infinité d'autres choses ; et chaque chose appelle et multiplie ceux d'une infinité d'autres choses ; et chaque propriété nouvelle qui se découvre, aide à vaincre les obstacles qui arrêtaient l'emploi d'une multitude d'autres propriétés ». Cuvier, *Ibid.* Le même thème est repris et amplifié trente ans plus tard par Poncelet, à la veille de l'apogée de la révolution industrielle fondée sur l'énergie de la vapeur et la machinerie automatique : « c'est dans l'accroissement général, lent mais incessant, et pour ainsi dire indéfini des découvertes, des idées chimiques, physiques, mécaniques, géométriques ou mathématiques, appliquées ou non à la satisfaction de nos besoins, que réside la perfectibilité de la race humaine, plus encore que dans le prétendu progrès des idées morales, philosophiques et artistiques ». *Travaux de la Commission française sur l'industrie des nations, Machines et outils spécialement employés à la fabrication des matières textiles* (3^e vol., 1^{re} partie, 2^e section), Paris, 1857, p. 3.

(2) « Ceux qui veulent être mutuellement secourables se trouvent opposés ; comme chacun des partis méprise l'autre, la science et l'art ne peuvent que pâtir de leur incompréhension mutuelle. Dans ces circonstances, il serait nécessaire que survînt un troisième homme qui réunirait en lui la science et l'art ; il remédierait à l'infirmilé des théoriciens, il délivrerait les amateurs des arts du préjugé selon quoi ceux-ci pourraient se parfaire sans la théorie qu'il conviendrait d'abandonner aux cerveaux oisifs que le monde ne saurait employer à rien » (traduit de l'allemand) in *Préface de Wolff* à la traduction allemande de l'*Architecture hydraulique* de Bélidor, n.p., 1740.

Déjà, en 1715, Swedenborg réclamait avec insistance des agents organisateurs : « il conviendrait qu'à chaque groupe de dix mathématiciens s'adjoigne un homme éminemment pratique qui pourrait mener les autres au marché. Ce seul homme... se révélerait plus utile que les dix autres mis ensemble ». Cf. H. DINGLE, *L'œuvre scientifique de E. Swedenborg* in *Endeavour*, n° 67 (1958).

Ce thème est repris en 1825 par Auguste Comte qui réclame que les « rapports entre la théorie et la pratique » soient « régulièrement organisés ». Il assigne à la « classe des ingénieurs comme corporation distincte » la tâche de servir d'« intermédiaire régulier entre les savants et les industriels pour les travaux particuliers », *Considérations philosophiques sur la science et les savants*, novembre 1825, in *Opuscules de philosophie sociale* (1819-28), Ed. E. Leroux, Paris, 1883, p. 231.

Le motif est repris en 1826 par P.H. SUZANNE dans son *Guide du mécanicien* : « Si la pratique n'est pas éclairée par les principes ou si les principes sont séparés de la pratique, en vain vous attendrez des perfectionnements remarquables dans l'industrie », p. i. - Cf. également, du même auteur, les *Principes généraux d'économie publique et industrielle en forme d'entretiens*, Paris, 1826, p. 11.

A la même époque, la figure du Civil engineer prend de l'importance en Angleterre ; Smeaton, plus encore peut-être que Watt, en donne le modèle. Tredgold situe, en 1828, les fonctions du Civil engineering dans une tradition explicitement baconienne : « Civil engineering is the art of directing the great sources of power in Nature for the use and convenience

l'écart toujours tendu entre les fécondités possibles d'un savoir théorique en développement et l'évolution des exigences techniques. Il n'a pas échappé aux savants du XVIII^e siècle que si la géométrie est une condition théorique nécessaire de la construction pratique, « le géomètre a encore beaucoup à apprendre pour être un vrai mécanicien ; il faut que la connoissance des différentes parties des arts, et cela est presque immense, lui fournisse dans les occasions des idées et des expédiens ; il faut qu'il soit instruit des qualités des métaux, des bois, des cordes, des ressorts, enfin de toute la *matière machinale* (Beckmann parlera dans le même sens de la *materia technologica*)... pour n'être pas trompé par des accidens physiques imprévus qui déconcerteront les entreprises » (1). L'*Encyclopédie* tient le même langage et proclame la nécessité de correctifs empiriques ; les éléments de mathématiques « seroient nuisibles en plusieurs occasions, si une multitude de connoissances physiques n'en corrigeoient les préceptes dans la pratique », et ces connoissances embrassent aussi bien le domaine technologique (au sens actuel) que proprement physique. Autrement dit, la construction des machines ne serait pas entièrement réductible à une théorie mathématique ; entre les conditions de l'exécution pratique, « il y en a, et en grand nombre, et de très essentielles dans l'usage qu'on ne peut même soumettre à cette partie du calcul qui s'étend jusqu'aux différences les plus insensibles des quantités » (2). Or, Leonhard Euler, dans un mémoire

of man ; being that practical application of the most important principles of natural philosophy which has, in a considerable degree, realised the anticipations of Bacon, and changed the aspect and state of affairs in the whole world. The most important object of Civil engineering is to improve the means of production and of traffic in states, both for external and internal trade » ; cité par W.H.G. ARMYTAGE, *A social history of engineering*, London, 1961, p. 124.

L'apologie des fonctions du « troisième homme » wolfien sera reprise à satiété dans le milieu doctrinal de la toute récente Ecole centrale : « on ne saurait trop le dire, ce qui retarde le plus les applications des nouvelles découvertes, des théories scientifiques aux arts industriels, c'est qu'un trop petit nombre d'hommes instruits se trouvent dans la position de s'occuper journellement à la fois des progrès des sciences naturelles et des fécondes ressources qui en découlent pour l'industrie manufacturière... », *Annales de l'industrie française et étrangère*, t. I, Paris, 1828, p. 14.

Un propos analogue est tenu à la même époque par le polytechnicien H. de Villeneuve qui appelle, dans une formule plus saisissante, « le concours de l'homme à théorème et de l'homme à expérience », Sur quelques préjugés des industriels in *Annales des sciences et de l'industrie du midi de la France*, Marseille, 1832, p. 11.

Les mêmes idées circulent ensuite avec une autre terminologie ; cf., par exemple : « L'industrie manque d'ingénieurs de manufacture, de conducteurs de grands travaux, de bons constructeurs et conducteurs de machines et d'appareils, de chimistes et de physiciens applicateurs », Napoléon LANDAIS, *De l'éducation et de l'instruction en France*, Paris, 1837, p. 258. - La carence de techniciens français dans les années 1840 est attestée par Morin : « Qu'on se reporte aux huit ou dix dernières années où le développement des grands travaux publics ne trouvait pas assez d'agents capables et offrait tant de débouchés pour lesquels manquaient les sujets instruits », A. MORIN, Ecoles d'arts et métiers in *Le Moniteur universel*, 21 juillet 1850, p. 10.

(1) FONTENELLE, *Œuvres...*, t. VIII, p. 312. En cette matière, les opinions de Fontenelle ne sont pas neuves ; elles ne font que cristalliser des réflexions déjà anciennes sur la pensée technique. Cf., par exemple, Bonaiuto LORINI dans ses *Fortificationi...*, Venise, 1609 : « Il giudicio del Mecanico che deve ordinare, e comandare a gli essecutori dell'opera, consiste in grandissima parte nel sapere provvedere le difficoltà che apportano le diversità delle materie, con che si conviene operare ; e tâto più deve in ciò esser cauto quâto che di tali impedimenti accidentali non se ne può dar regola sicura », p. 195.

(2), *S.v. Art.*

contemporain (1) proclamera la souveraineté du calcul infinitésimal dans tout essai de perfectionner la théorie des machines ; il voit justement dans son application la seule voie qui permette de balancer la part accordée nécessairement par les constructeurs aux connaissances étrangères à la géométrie (2). Son *De machinis in genere* enregistre le défaut de maturité de la théorie des machines, telle qu'elle se présentait au milieu du XVIII^e siècle et complète à cet égard les motions un peu moins explicites du passage de Diderot sur la *Géométrie des arts*. Pour Euler, si le projet dessiné ne permet pas de prévoir l'effet de la machine, c'est que la théorie est infirme, qu'on n'en peut valablement déduire les éléments de la construction : « Bien que la structure d'une nouvelle machine puisse paraître conforme aux principes de la mécanique, on ne peut pourtant se permettre aucune conjecture sur son effet avant qu'intervienne la probation expérimentale ; et, quoique souvent, ceux qui ont consumé beaucoup de peine et d'attention dans la construction des machines acquièrent une telle sagacité en vertu d'une longue pratique, et qu'ils osent se prononcer en certitude sur l'effet des machines avant de consulter l'expérience, il s'en faut de beaucoup que l'on puisse attribuer à leur savoir théorique une telle disposition ; il convient plutôt de la référer à la seule expérience. Par conséquent, celui qui se propose de construire des machines, en seule possession des règles habituelles de la mécanique élémentaire, soit, il ne pourra rien prédire de leur effet, soit, comme il arrive le plus souvent, il sera frustré des espérances qu'il avait conçues. D'où on conçoit clairement que la connaissance habituelle des machines, telle qu'elle est exposée dans la mécanique élémentaire, est absolument defectueuse, et ne mérite en aucune façon le nom de théorie » (3). Reproche bien plus grave que d'incriminer cette théorie de ne pas rendre compte de tous les détails rencontrés dans la pratique, comme le rappelle Euler dans le même mémoire.

Bien entendu, la question des frottements est nouée à ce problème : si les travaux d'Amontons au début du siècle (4) avaient donné une assise expérimentale à la connaissance de la friction, la théorie en était encore bien douteuse cinquante ans plus tard. Elle demeurerait « malgré les calculs, une affaire de mathématiques expérimentales et manouvrières ». Aux yeux des

(1) L. EULER, *De machinis in genere* in *Nova Comment. Acad. St. Petersb.*, 1750-51, pp. 254-85.

(2) La préface de la *Chamber's Cyclopaedia* définit bien le poids du savoir non susceptible de définitions mathématiques : « An art... appears to be a portion of science, or general knowledge, considered not in itself, as science, but with relation to its circumstances, or appendages : In a science, the mind looks directly backwards & forwards, to the premisses & conclusions... in art we also look laterally, to the concomitant circumstances... To art, ... belong such things as mere reason would not have attained to things which lie out of the direct path of deduction, and which require a peculiar cast, or turn of mind... » 5th ed., 1742, p. ix.

(3) *Op. cit.*, p. 255-6.

(4) « M. Amontons... donna un moyen de calculer assés exactement la valeur des frottemens & le déchet qu'ils causent à une machine, ce que l'on avoit pas eu jusqu'à présent, même par une estime grossière... ». *Histoire de l'Académie royale des sciences pour 1699*, Paris, 1702, p. 106. - « Cet effet du frottement seul peut paroître étonnant & fort au dessus de ce qu'on auroit imaginé à veuë de pais. Par là il est aisé de voir combien l'on doit se méprendre dans le calcul d'une Machine, quand on n'y considère que les rapports de la puissance & du poids & de leur distance au point d'appuy & que l'on néglige les frottemens comme on fait d'ordinaire, ou du moins qu'on conte qu'ils n'iront pas bien haut ... ». *Ibid.*, p. 109.

théoriciens, le frottement joue le rôle de bouc émissaire responsable de tous les désaccords entre l'effet supputé et l'effet obtenu. Il n'empêche que le frottement, dira Euler, non sans ironie, quoique il « perturbe notablement le fonctionnement des machines, c'est néanmoins à tort qu'on l'invoque à tout propos. Car la connaissance des machines dont on fait habituellement parade est si imparfaite que, même en l'absence de tout frottement, il serait impossible d'en tirer une évaluation tant soit peu précise de l'effet des machines » (1).

Si, donc, la construction des machines exige des connaissances qui, par nature, se déroberont à l'emprise de la mécanique, il n'en demeure pas moins pour Euler que le fondement de la théorie des machines est défectueux. A ses yeux, ce dernier problème peut être résolu à l'intérieur de la science même, et plus précisément par le recours à l'analyse supérieure ; sans quoi, la connaissance des lois du mouvement ne peut être ni exposée, ni appliquée à la pratique (2). Ainsi s'établira la communication entre la théorie et la pratique dans la lignée mécanique. Quant à la première tâche de rectification, elle incombera aux technologues qui établiront la communication selon la lignée non mécanique. Théorie des machines et opérations industrielles suscitent des problèmes qui se trouvent bien définis vers 1750 ; désormais, la pratique individuelle et naïve cessera d'avoir cours, en droit.

..

La technologie, en tant que discipline spécifique, objet d'enseignement régulier, de recherche et de diffusion, ne naît pas seulement d'une réflexion inspirée par des problèmes proprement techniques. Elle procède encore de la volonté de *légiférer* sur la technique, compte tenu des moyens de production et des besoins sociaux. Vers la fin du xvii^e siècle, il y a un désir évident de classer et de systématiser les informations répandues dans les récits de voyage, touchant à l'état des métiers et du commerce ; il s'agira désormais, pour des administrateurs éclairés, de recenser les ressources en vue d'une utilisation plus rationnelle. La multiplicité des dénominations témoigne d'une convergence encore tâtonnante des intérêts : à la *topographie politique* d'un Leibniz, répondent l'*arithmétique politique* de Boisguillebert et la *statistique* (au sens premier de *statuum scientia*) d'Achenwall.

C'est dans une note de 1678, relative à l'administration, que Leibniz, alors conseiller du duc Jean-Frédéric, trace le programme des investigations statistiques du xviii^e siècle (3). A cette époque, paraissent plusieurs ouvrages trai-

(1) *Op. cit.*, p. 256.

(2) *Ibid.*, p. 255.

(3) Il s'agit d'une note rédigée en allemand dont nous donnons ici la traduction littérale : « *Topographia politica*. Description de l'état actuel du pays. Là aussi le nombre et la condition de tous les biens immobiliers, des constructions, de tous les habitants et de leur propriété. Tous les produits ou matières brutes qui se trouvent dans le sol, l'endroit, la quantité et la qualité ; toutes les manufactures ou objets qui sont le produit d'un art ; ce qu'on consomme approximativement à chaque endroit dans le pays ; quelles marchandises sont apportées dans le pays, lesquelles sont exportées ; le prix des marchandises ; combien gagne chacun par son travail et combien il travaille. Liste de ceux qui dépassent les autres par leur

tant de la richesse des nations et de leur gestion. Dans son *Christenstaat*, Ludwig von Seckendorff intègre des vues économiques décidées. La même année, 1685, P.W. Hornigk fait sentir dans son *Oestereich ueber alles wann es nur will*, tout l'avantage qui résulterait d'un recensement systématique des moyens de production, et du traitement mathématique des questions manufacturières (1). William Petty introduit systématiquement les données quantitatives dans sa *Political Arithmetick* publiée en 1691. Boisguilebert brossera peu après dans le *Détail de la France* (1695) un tableau assez noir de l'économie du pays et propose en 1707 des remèdes draconiens dans son *Factum de la France*. Après la mort de Louis XIV, le Régent ordonne, entre autres mesures de sauvegarde, une vaste enquête sur les ressources naturelles et manufacturières (2). Le mercantilisme va tenter d'unifier ces aspirations dispersées, en prenant pour principe que la richesse d'une nation s'accroît aussi bien par les échanges que par la production. C'est dans ce contexte qu'il faut comprendre l'initiative du *Dictionnaire de commerce* de Savary (3).

application et invention et qu'on peut utiliser pour des tâches particulières » (*Sämliche Schriften und Briefe*, I. Reihe, 2, n° 70, pp. 74-5). A ce texte est annexée une note de Leibniz : « villes, agglomérations, villages, hameaux, maisons isolées. Paysans. Nombre de gens ; de morgen (arpents de terre) ; de maisons, des champs, des prés, des bois ; bonnes cartes géographiques. Les rivières et leur cours. Les parties non bâties de la terre. Combien de solde ; troupes, combien de marchands, de compagnons, proportion des métiers. Recenser non seulement ceux qui vont mourir, mais aussi ceux qui viendront, comme en Angleterre. Les taxes douanières d'importation et d'exportation. Pretia rerum, quantité de monnaie dans le pays ». On peut rapprocher de ces textes, un passage de la correspondance de Friedrich Adolf Hansen, « agent général de Leibniz à Paris » (*Ibid.*, n° 491, p. 498).

Dans un projet pour la fondation de l'Académie des arts et des sciences en Allemagne, Leibniz note explicitement que la décadence des manufactures allemandes est liée à l'incapacité de tirer profit des compétences des artisans et des maîtres du pays qui sont forcés d'offrir leurs services là où on sait les apprécier. Une des tâches de l'académie serait précisément de mettre un terme à ce *brain drain*, car « il faut garder les talents (*ingenia*) de la contrebande plus que la marchandise, plus que l'or, le fer, les armes et autres choses » (*Bedencken von Aufrihtung einer Academie oder Societät in Teutschland, zu Aufnehmen der Künste und Wissenschaften*, in *Werke*, ed. Klopp, I, p. 136).

(1) Hornigk prétend explicitement que « maintenant l'art mathématique a une grande main dans les manufactures » (p. 84). Il demande ailleurs la publication d'une encyclopédie technique où seraient consignées les connaissances mécaniques et physiques propres à accroître la production. La rédaction devrait en être confiée à des spécialistes intègres qui n'auraient en vue que le bien général. Cf. MIKULAS TEICH, *Královská česká společnost nauk a počátky vedeckého pruzkumu přírody v Čechách*, in *Rozpravy Československé akademie věd*, 1959 (69), cahier 4, p. 7. - Près d'un siècle plus tard, ce sera le langage que tiendra Roland de la Platières (*vide infra*, p. 56).

(2) Les réponses, parvenues au cours de 1716, se trouvent dans les archives de l'Académie des Sciences. Elles n'ont pas encore fait l'objet d'une recherche approfondie. Cf. la notice de Jean PILISI : L'enquête ordonnée par le Régent sur les richesses naturelles de la France (1716-1717), in *Documents pour l'histoire des techniques*, n° 3, juin 1964, p. 373-4, reproduit in *Revue d'hist. des sciences*, t. XVI (1963), n° 4.

(3) *Dictionnaire universel de commerce*. Les deux premiers tomes parurent à Paris en 1723, le troisième en 1730. Il fut commencé par Jacques Savary-Desbruslons, inspecteur général des manufactures, et continué par son frère le chanoine Savary. Cette entreprise visait à la normalisation des produits de l'industrie et du langage des métiers, en vue d'uniformiser la réglementation économique. Le pouvoir connaissait les plus grandes difficultés à régler les dispositions relatives à la nature et à la qualité des marchandises. « Comme dans ces règlements il est parlé de quantité de choses, et qu'on y emploie divers termes qui ne sont guère connus que des ouvriers qui y travaillent, on perdoit bien du temps à se faire expliquer par ceux qu'on consultoit, la véritable signification de ces termes, qui ne pouvoient pas manquer de paroître nouveaux à des personnes accoutumées à décider des plus importantes affaires de l'Etat, mais qui n'étoient pas faites au détail et au jargon des ouvriers et des gens de métier », t. I, p. xvi.

Il faudra attendre le premier tiers du XVIII^e siècle pour que, sur le continent, les disciplines économiques deviennent matière d'enseignement. Nous trouvons ici encore Leibniz qui appelle et justifie les réformes, lorsqu'il écrit sur la division civile des sciences, selon les Facultés et les emplois : « Quelques uns ont cru avec quelque raison, qu'on pourroit ajouter aux autres la Faculté économique, qui contiendrait les arts mathématiques et mécaniques, et tout ce qui regarde le détail de la subsistance des hommes et les commodités de la vie, où l'agriculture et l'architecture seroient comprises » (1). Il faut surtout éviter en ces matières la rupture entre théorie et pratique. Présente, et opérante dans les arts manuels, mais encore dans la médecine, l'art de la guerre et chez les virtuoses, leur alliance est la condition nécessaire du « grand dessein » de Leibniz (2). « et si les principes de toutes ces professions et arts et même des métiers, étaient enseignés pratiquement chez les philosophes, ou dans quelque autre faculté de savants que ce pourrait être, ces savants seraient véritablement les précepteurs du genre humain... Mais, ajoute Leibniz, il faudrait changer en bien des choses l'état présent de la littérature et de l'éducation de la jeunesse et par conséquent de la police ».

La première étape du projet technologique est fixée par Christian Wolff. Dans un texte plus abstrait, qui traite également de la classification des sciences, puisqu'il s'agit du chapitre *De partibus philosophiae* du Discours préliminaire à sa *Philosophia rationalis sive Logica* de 1728, Wolff résume dans un nom et codifie dans une définition toute l'aspiration technicienne du XVII^e siècle. Mais il ne propose pas l'exploitation systématique des forces et des richesses naturelles sous la direction des savants, dont parle Bacon. Plus modestement, il s'agit de réunir en un corps de doctrine cohérente le savoir implicite dans les opérations de l'art et de l'inscrire sur la carte intellectuelle du système universitaire. « Possibilis quoque est philosophia artium, etsi hactenus neglecta » (3), car tout art, comme le droit ou la médecine, renvoie aux raisons de ses opérations qui en expliquent la possibilité. Même un art manuel aussi servile que la fragmentation du bois met en jeu une structure conceptuelle implicite qui régit l'exécution des opérations instrumentales : « il y a une raison pour laquelle on peut couper le bois, et pourquoi on peut le faire à l'aide d'un coin, ou cependant aussi bien par la hache » (4). Or — et c'est là le point essentiel de la conception wolffienne de la philosophie des arts — la conceptualisation des règles auxquelles est soumis l'usage des instruments et des outils, même les plus simples, fait intervenir des rapports et des concepts susceptibles d'un traitement mathématique. « Les forces du coin et l'attaque qui le pousse peuvent être démontrées

(1) *Nouveaux essais...*, IV, 21. - Parmi les « quelques-uns », mentionnons Christian Thomasius qui écrivait qu'« on devrait aussi enseigner, dans les universités, l'économie comme une des disciplines du droit, et il faudrait nommer pour cela un professeur spécial... ». *Caurele der Rechts-Gelehrtheit*, XVII, § 1.

(2) « Le grand dessein que j'ai, et qui enferme tous les autres, c'est l'avancement des arts et des sciences utiles aux hommes, et avantageux à l'Etat », écrivait-il dans une lettre au duc Jean-Frédéric (*Sämtl. Schr. u. Briefe*, I. Reihe, 2, n° 110, p. 121).

(3) *Logica*, Disc. prel., ch. III, § 71.

(4) *Op. cit.*, ch. II, § 39.

mathématiquement. Il y a donc une connaissance philosophique et mathématique de cet art servile, d'où la philosophie puise toute sorte de certitude ».

La discipline dont le concept est ici pour la première fois défini est, conformément aux vœux d'un Leibniz ou d'un Hornigk, une discipline mathématique.

L'innovation conceptuelle de Wolff est soulignée par la dénomination. A cette philosophie des arts, Wolff donne le nom de technologie : « *Etam Technicam aut Technologiam appellare posses* », opérant ainsi la mutation sémantique décisive du sens d'un terme de rhétorique en terme désignant un discours rationnel sur l'activité technique. « La *Technologie* est donc la science des arts et des œuvres de l'art, ou, si l'on préfère, science des choses que les hommes produisent par le travail des organes du corps, principalement par les mains » (1). On le voit, Wolff ne se contente pas d'une indication sommaire (comme celle du *Dictionnaire* de Phillips) : il est le premier à définir le mot dans son acception moderne, à formuler le projet d'une discipline et à lui assigner une place exacte dans l'ensemble des sciences. Cette technologie emprunte ses principes à la physique, en particulier à la physique expérimentale, sans se confondre avec elle. « *Ars versatur circa corpora naturalia* » (2) ; la connaissance de ces corps, de même que celle de la structure et du fonctionnement des dispositifs instrumentaux est du ressort de la physique et de la mécanique. La technologie est l'étude des règles opératoires et des œuvres : « *reddenda hic potissimum ratio est regularum artis et operum, quae arte perficiuntur* » (3). Ces règles sont la conséquence des théories philosophiques ; dans la classification et l'exposé des sciences, la technologie doit suivre la physique. Le problème de sa division interne est abordé — il faut, soit établir autant de disciplines qu'il y a d'arts divers, soit, pour limiter leur nombre, former « *artium quaedam genera* » — sans qu'il puisse être résolu à partir d'un simple projet, car il suppose un savoir déjà achevé, constitué. Comme « nous n'avons [même] pas, jusqu'ici, une histoire minutieuse des arts » (4), il est impossible d'établir une classification efficace qui supposerait une connaissance d'ensemble des activités techniques.

Historiquement, le projet de Wolff n'a pas eu de suite ; jusqu'à l'avènement de Beckmann, on ne parlera plus de technologie et l'enseignement des arts sera incorporé dans les sciences camérales. Wolff a cependant pris activement part à la diffusion de savoir technique de son temps (il préfaça la traduction allemande de l'*Architecture hydraulique* de Bélidor cependant qu'il encourageait Réaumur à publier les planches des *Descriptions*) et sa philosophie des arts conceptualise les collections et les descriptions des opérations et outils, prolonge et unifie des remarques et des projets des théoriciens, découvre et thématise un domaine nouveau de la réflexion philosophique. « L'art apportera

(1) *Op. cit.*, ch. III, § 71.

(2) *Op. cit.*, ch. III, § 113.

(3) *Op. cit.*, ch. III, § 71. - WOLFF a donné deux échantillons de cette technologie traitée selon les normes scientifiques : le premier concerne l'architecture civile (« est enim architectura civilis hac ratione pertractata species Technologiae », *ibid.*), le second, *Tenamen de vera causa multiplicandi frumentum*, l'agriculture.

(4) *Op. cit.*, ch. III, § 114.

le secours aux philosophes » (1) ... Les opérations de l'art, de même que les expériences, mettent très souvent au jour les faits naturels (*facta naturae*) qui autrement resteraient latents ... Par le ministère de l'art, la connaissance arcane (*arcana cognitio*) se réduit ainsi à la connaissance commune » (2). C'est pourquoi Wolff recommande aux philosophes de « recueillir et décrire exactement les phénomènes qui se présentent dans les ateliers des artisans et ailleurs dans les arts (par exemple dans l'économie rurale) ; car ils constituent la partie de la connaissance historique arcane qu'il est impossible d'obtenir autrement avec, pour seul guide, les sens » (3).

Ce texte important de Wolff est contemporain de la fondation à Halle de la première chaire de sciences camérales : Frédéric Guillaume I^{er} appelle, en 1727, Simon Peter Gasser aux fonctions de professeur. Le programme de cet enseignement (4) est d'abord dicté par les besoins des Chambres : assurer l'instruction des fonctionnaires de l'administration, en particulier dans le domaine financier : les taxes régaliennes, les douanes, le fisc, la comptabilité d'État, mais déjà le premier programme contient des matières du futur enseignement technologique : les guildes et les métiers, les fabriques et leur accroissement. Le manuel classique de Just. Christoph Dithmar, *Einleitung in die ökonomischen. Polizey- und cameral-Wissenschaften* (1^{re} éd. 1731, 6^e éd. 1769) souligne davantage encore la contribution des arts et métiers à la nutrition et à la richesse, à la « félicité temporelle » (5) ; désormais, la place prise par les métiers et les manufactures dans l'évolution de l'économie s'accroîtra par rapport aux ressources domaniales et régales du prince. Aux sciences camérales pourra se substituer une nouvelle discipline qui ne sera plus exclusivement subordonnée aux décisions politiques et économiques de l'arbitraire princier. Le terme de « caméralistique » subsistera — Schmalz publiera encore en 1823 à Leipzig une *Encyclopédie des sciences camérales* qui comprennent l'économie politique et une *Gewerbskunde*, doctrine des métiers où la technologie prend place entre l'agriculture, la sylviculture, les mines et le commerce — mais il subira une concurrence de plus en plus forte de la « technologie ».

Depuis le milieu du xviii^e siècle, le foyer des sciences politiques et camérales se transporte de Halle à l'université récemment fondée à Göttingen. En 1743, Achenwall fonde la *statistique* et la fait entrer dans les programmes de l'enseignement ; pendant deux ans, de 1755-57, un des principaux représentants de la caméralistique allemande, J.H.G. Justi fait des lectures sur les

(1) *Op. cit.*, ch. II, § 39.

(2) *Op. cit.*, ch. I, § 24.

(3) *Op. cit.*, ch. I, § 25.

(4) S.P. GASSER, *Programma publicum oder Nöthiger Vorbericht von der von Ihrer Königl. Maj. in Preussen auf der Universität Halle allergnädigst fundierten Profession über die Oeconomischen- Kameral- und Polizey- Wissenschaften*, Halle, 1728.

(5) C'est l'objet de la science économique. La police aura pour tâche d'enseigner « comment maintenir l'être intérieur et extérieur d'un Etat dans un bon ordre et constitution pour la félicité de tous » ; les sciences camérales, « comment utiliser, améliorer et appliquer à la conservation des affaires publiques les domaines et régales du prince et comment élever les revenus du prince de ces domaines, aussi bien que des prestations dues par les sujets et d'autres fonds publics » (I. Abtheilung, § 7 et 10).

sciences domaniales et l'économie, mais s'intéresse également aux manufactures (Beckmann lui-même publiera les deuxième et troisième éditions de son *Vollständige Abhandlung von den Manufakturen und Fabriken*). Dans la seconde moitié du siècle, deux amis de Beckmann, l'historien et statisticien juriste A.L. Schlözer et le géographe et statisticien Büsching s'y illustreront dans les nouvelles disciplines.

Cet enseignement avait un caractère éminemment pratique ; il incluait la *Gewerbekunde*, la science des métiers et l'agronomie, les deux disciplines qui incubent la technologie ; en outre, on donnait à Göttingen des cours d'architecture civile, d'architecture hydraulique et Gmelin y professa la chimie appliquée aux arts et métiers. Mais il n'existait aucun enseignement réunissant dans une même discipline arts et métiers, enseignement rendu urgent par le progrès des manufactures en Angleterre qui devait transformer la face de l'Europe. Il se trouve que la consécration universitaire de la technologie est contemporaine du moteur de Watt. Elle n'en fait pas moins corps avec l'ancien monde des arts et métiers ; elle s'enracine dans l'univers des guildes, de l'économie artisanale et paysanne du régime absolutiste ; l'information qu'elle transmet, les schémas qu'elle décrit, la communication rationnelle qu'elle instaure supposent encore un savoir-faire empirique quasi-ésotérique incomplètement explicité (1).

Le sentiment que les technologues allemands prenaient du retard économique de leurs pays, relativement à d'autres nations, les a portés à rechercher à l'étranger des modèles d'organisation et des méthodes techniques. L'industrie anglaise était au XVIII^e siècle plus active, plus développée que celle d'aucun autre pays ; mais elle était le lieu de transformations techniques qui échappaient pour une bonne part à la conscience des observateurs continentaux ; des entrepreneurs étaient jaloux de leurs procédés, les *Transactions* de la Royal Society accordaient assez peu de place aux questions industrielles, les patentes et les inventions, annoncées plus fréquemment dans la seconde moitié du siècle, n'étaient pas toujours dignes d'intérêt (2). Les processus décisifs n'apparaissaient donc pas clairement sur le fond bigarré des transformations

(5) Dans *Science and Technology in the eighteenth century* (apud *History of Science*, vol. I, 1962, pp. 30-43), D.S.L. CARDWELL fait remarquer que, même en l'absence d'une théorie scientifique cohérente et achevée, le traitement scientifique des problèmes techniques peut partiellement s'imposer. La machine à vapeur conçue et réalisée bien avant sa théorie totale est une application segmentaire de notions scientifiques définitives concernant la pression atmosphérique. La mécanique classique n'a que peu de rapports avec une théorie générale des machines qui doit intégrer la connaissance des sources d'énergie, et ne peut se constituer que du jour où l'on sait mesurer les puissances mécaniques et les échanges énergétiques. Les motifs technologiques seront alors englobés dans la science des machines. On comprend dès lors l'échec des tentatives d'Hassentratz. On comprend également pourquoi le terme de technologie qui commence par désigner un discours systématique sur les arts utiles en viendra à se charger d'un contenu scientifique « and come ultimately to be regarded as almost synonymous with *applied science* ». Cf. C. SINGER, E.J. HOLMYARD, A.A. HALL, *A history of technology*, 3^e ed., Oxford, 1956, t. I, p. vii.

(2) Comme le note J.G. FORSTER en 1790, c'est à un « petit nombre de citoyens » que l'industrie anglaise dut son essor (*Voyage philosophique... fait en 1790*, trad. POUGENS, Paris, an IV, pp. 182-3). Citoyens souvent réunis dans des sociétés provinciales, par exemple la célèbre *Lunar Society* de Birmingham. Si l'éducation professionnelle des classes inférieures se développe, au début du XIX^e siècle, dans les cités industrielles, la science de l'ingénieur apparaît timidement dans quelques chaires universitaires. A partir de 1795, W. FARISH traite à Cambridge des productions industrielles et de la construction des machines. L'*University Calendar* de 1802 désignait ce cours comme excitant à une « real practice » les personnes « already acquainted with the principles of mathematics, philosophy and chemistry » (p. 81).

techniques dont les déterminismes se perdaient dans une totalité socio-économique complexe. L'Angleterre incubait alors le stade embryonnaire d'une société machiniste avancée, la France exhibait le stade achevé d'un type d'organisation sociale plus proche des structures allemandes archaïques. C'est assez naturellement que les technologues germaniques cherchèrent des enseignements en France, dont ils entendaient la langue. Le prestige de l'Académie balançait bien celui de la Royal Society et diminuait l'éclat des sociétés scientifiques allemandes. Le projet de traité sur les arts avait suscité beaucoup d'intérêt et quand les premières *Descriptions* parurent avec bien du retard, elles furent accueillies avec faveur.

Le programme d'une enquête sur les arts avait été donné à l'Académie, comme on l'a vu plus haut, en 1675. En fait, les choses traînèrent, et les premiers documents attestés sur cette activité datent de 1693 (1). Et trois ans plus tard, l'*Histoire de l'Académie* renfermait un commentaire *Sur la Description des Arts* qui est comme une excuse à la lenteur de sa publication : « Le travail de l'invention est le plus agréable & en même temps le plus glorieux, l'on seroit assez porté naturellement à n'en entreprendre point d'autre. Mais comme l'Académie a plus en vûe d'être utile au public, que de s'occuper avec plaisir, ou de s'attirer de l'éclat, elle a embrassé volontiers un travail sec, épineux & nullement brillant, tel que celui de la Description des Arts dans l'état où ils se font aujourd'hui en France » (2). Ayant ainsi protesté de ses bonnes intentions, le secrétaire promet que « cette Description entrera dans les derniers détails, quoiqu'il soit souvent très difficile, ou de les apprendre des artisans, ou de les expliquer, & elle représentera soit par discours, soit par figures toutes les matières qu'on employe, tous les instrumens & toutes les opérations des ouvriers ». Il s'agit d'abord d'un enregistrement des procédés existant, et la première justification que donne l'article est bien d'ordre archéologique : « On assure à la postérité les Arts, tels du moins qu'ils sont présentement parmi nous, elle les retrouvera toujours dans ce Recueil, malgré les révolutions & si nous en avons perdu quelques uns d'importans qui fussent chez les Anciens, c'est que l'on ne s'est pas servy d'un semblable moyen pour nous les trans-

(1) • Le recueil des dessins et des gravures ayant appartenu à Réaumur et conservé à l'Institut montre que certains dessins ont été approuvés dès 1693. Le manuscrit de Jaugeon sur l'art de construire les caractères donne aussi la date de 1693 pour le début des travaux de l'Académie », J. Proust, *Diderot et l'Encyclopédie*, Paris, 1962, p. 183.

(2) Sur la Description des Arts, in *Histoire de l'Académie royale des sciences pour 1699*, p. 177. - La même attitude est relevée plus d'un siècle plus tard par Burdin qui, en 1815, dans le *Journal des mines* avoue « convenir que la science des machines... n'a pas marché d'un pas égal avec la mécanique rationnelle. La nécessité de recourir sans cesse à l'expérience, les difficultés et les incertitudes qui se présentent dans la mesure rigoureuse des forces, tant actives que passives, qui agissent dans les machines, n'ont pas peu contribué à rebuter les esprits qui se sont jetés de préférence dans l'étude de l'astronomie et de la haute physique lesquelles donnent plus de prise aux calculs et présentent à l'imagination des résultats plus vastes et plus attrayants », *Considérations générales sur les machines en mouvement*, loc. cit., pp. 2-3.

mettre (1). Ces descriptions faciliteront cependant la comparaison des « pratiques de France avec celles des autres Païs », elles seront enfin l'occasion pour d'« habiles gens qui ne peuvent se donner la peine, ou qui n'ont pas le loisir d'étudier les Arts chez les Artisans... de travailler à leur perfection », étant bien entendu que l'« Académie ne manquera pas non plus à marquer dans les occasions ce qu'elle jugera qu'on y pourroit ajouter, ou du moins ce qui seroit à désirer » (2). Tout cela dit sereinement, comme il convient à une académie, mais un peu trop tout de même. On trouvera plus de feu dans un *Avertissement* bien postérieur, celui de 1761 : « Ne doit-on pas attendre de nouveaux degrés de perfection dans les Arts, lorsque les Savans exercés sur les différentes parties de la Physique se donnent la peine d'étudier & et développer les opérations souvent ingénieuses que l'Artiste exécute dans son atelier » (3). Quant aux approbations les plus chaleureuses, c'est de l'étranger qu'elles viendront. « Depuis l'invention de l'Imprimerie je ne crois pas qu'on ait formé de projet plus grand ni plus utile que celui de Messieurs de l'Académie royale des sciences » proclame J.E. Bertrand dans sa préface de la réédition neuchâteloise des *Descriptions* qui connaîtront à la même époque une traduction allemande par Justi et Schreber (4). Le professeur de Neuchâtel louait les académiciens d'avoir su « donner une idée exacte & détaillée des métiers, décrire avec netteté les opérations les plus difficiles, faire connaître avec exactitude les outils & les machines employées par les divers artisans qui travaillent pour nos besoins, nos commodités ou nos plaisirs, parler un langage intelligible aux plus ignorans, pousser la précision au point qu'un homme doué de quelque talent puisse, après une lecture attentive, exécuter lui même les procédés de tous les arts... ». Cependant, il note les défauts que présente la *langue des arts* ; il appelle de ses vœux l'introduction d'une nomenclature uniforme des instruments et des opérations :

(1) Dans la Préface du même volume, Fontenelle dénonce la cécité trop commune devant l'univers des métiers : « Il est étonnant combien de choses sont devant nos yeux sans que nous les voyions. Les boutiques des artisans brillent de tous côtés d'un esprit & d'une invention, qui cependant n'attirent point nos regards, il manque des spectateurs à des Instrumens & à des Pratiques très utiles, & très ingénieusement imaginées, & rien ne seroit plus merveilleux, pour qui en sauroit être étonné ». Le même argument sera repris plus fermement par Diderot : « ... se familiariser avec les objets : ils en valent bien la peine, soit qu'on les considère par les avantages qu'on en tire, ou par l'honneur qu'ils font à l'esprit humain. Dans quel système de physique ou de métaphysique remarque-t-on plus d'intelligence, de sagacité, de conséquence, que dans les machines à tiler l'or, à faire des bas, et dans les métiers de passe-mantiers, de gaziers, de drapiers ou d'ouvriers en soie ? Quelle démonstration de mathématiques est plus compliquée que le mécanisme de certaines horloges, ou que les différentes opérations par lesquelles on fait passer ou l'écorce du chanvre, ou la coque du ver, avant que d'en obtenir un fil qu'on puisse employer à l'ouvrage ? Quelle projection plus belle, plus délicate et plus singulière que celle d'un dessin sur les cordes d'un sample, et des cordes du sample sur les fils d'une chaîne ? Qu'a-t-on imaginé en quelque genre que ce soit qui montre plus de subtilité que de chiner des velours ? Je n'aurais jamais fait si je m'imposais la tâche de parcourir toutes les merveilles qui frapperont dans les manufactures ceux qui n'y porteront pas des yeux prévenus, ou des yeux stupides », s.v. *Art*, éd. Assézat, p. 369-370.

(2) *Op. cit.*, p. 117.

(3) On y trouve également l'allusion à une science de l'application dans le sens de la technologie beckmanienne, quand l'auteur de cet avertissement évoque « les secours qu'on peut faire passer d'un Art dans un autre, & que l'Ouvrier est rarement à portée de connaître ». Cité par J.E. BERTRAND dans son édition des *Descriptions*, en 1771, p. xvi.

(4) *Schauplatz der Künste und Handwerke*, 21 vol., 1762-1805.

« J'ose donc inviter les Savans de Paris à entreprendre à perfectionner à cet égard, leur langue, qui deviendra la langue commune de l'Europe » (1).

Quand à la fin du siècle, l'Institut tracera le *Programme pour la continuation de la description des arts*, il insistera sur ce que « la description d'un art est bonne lorsque un discours clair et précis, accompagné des dessins et des tables nécessaires, la rend intelligible à quiconque veut pratiquer l'art ». Ces exigences de précision trouveront, en quelque sorte, leur récompense dans ce que tous les termes de la description, « par une attention soutenue à dire chaque chose dans le lieu qui lui est propre », iront s'insérer dans un « système qui embrasse l'universalité des arts » ; et ce ne peut être qu'« un système philosophique, une méthode qui passe du simple au composé, une déduction suivie... » (2). On reconnaît bien là, à une époque qui bavarde sur les signes, l'écho longtemps répercuté de l'aphorisme de Condillac, « les langues sont des méthodes analytiques ».

Nous touchons ici à un nœud important du réseau constitutif de la technologie. Il y a une langue technique, à toute époque, nécessaire, mais jamais très bien fixée. Or, tout discours tant soit peu approfondi sur les techniques suppose qu'on l'ait définie au préalable, pour un temps assez long. Sur ce thème, Diderot a dit des choses décisives.

La possibilité de rendre publics, de communiquer les procédés des arts dépend de la création d'une *langue unifiée* des métiers. Or, avant l'*Encyclopédie*, c'est à peine si l'on peut parler de la langue des métiers (3) : la terminologie varie parfois d'une manufacture à l'autre ; l'insularité et l'imperfection de la langue technique résultent tantôt d'une surabondance de synonymes, tantôt du défaut de dénominations propres, pour telle matière, tel outil, telle opération. Tout comme les structures corporatistes et le secret des fabrications, l'irrégularité terminologique fait obstacle au développement des manufactures. Instru-

(1) *Op. cit.*, p. xiii.

Scit., 1798.

(2) Institut national, *Séance publique*, 15 vendémiaire, an VII, p. 3. Le souci de réformer la terminologie technique a préoccupé les comités révolutionnaires qui ont bien compris que toute réforme radicale doit prendre racine dans la première éducation. Cf. le *Rapport sur la composition des livres élémentaires destinés à l'Instruction publique*, par L.F.A. ARBOGAST. On y lit, après la réterence obligée à Condillac, que « les termes et sur-tout les termes techniques, représentent toujours une nouvelle combinaison d'idées ou un fait constaté suffisamment ; ils consacrent une analyse déjà faite pour en faciliter d'autres plus difficiles. L'état de la science se trouve tout entier dans la langue qu'elle fait, dans la nomenclature dont elle se sert ; mais dans beaucoup de sciences et d'arts, cette nomenclature est encore vicieuse ; elle est au-dessous des connoissances acquises, et souvent en contradiction avec les faits les mieux constatés », p. 11.

Ce programme fait suite à l'enquête demeurée sans lendemain qu'avait instituée le *Journal des Arts et Manufactures*, en vue d'éclaircir le sens de maint vocable des métiers : « les correspondans voudront bien nous faire parvenir les définitions accompagnées de tous les développemens nécessaires pour en fixer le sens. Ces précautions sont indispensables pour parvenir à une synonymie exacte des arts et métiers, et en donner un vocabulaire exempt d'ambiguïté, ouvrage important qui produiroit le bon effet d'exclure du langage de l'industrie cette confusion fâcheuse qui fait que les ouvriers d'un atelier n'entendent pas ceux d'un atelier voisin », t. I, p. 52. 1795

(3) Dans un texte antérieur à 1643, Comenius faisait allusion à la « confusion babylonienne » de la langue des artisans : « Confusionem Babylonicam patiuntur linguæ omnes, non solum inter se invicem, sed et in semel ipsa unaquæque. Nam et Artifices ipsi in tradendis artibus, vocum et terminorum significationes confundunt, ut se mutuo vix intelligant, aliquando etiam idem ille vix se ipsum ». *Two Pansophical works*, *op. cit.*, p. 137.

ment de divulgation, l'*Encyclopédie* aspire à réaliser la communicabilité universelle des arts, en constituant un vocabulaire homogène, réglé comme celui de la géométrie, toute attribution étant normalisée. Cette constitution de la *terminologie technique unilaire* achève et unifie le monde des arts et métiers, en permettant de le considérer comme un réseau complexe mais unique (1) d'opérations transformatrices, rationnellement décrites. C'est par cette volonté d'unification sémantique que l'*Encyclopédie* se distingue des *Descriptions* de l'Académie, plus spécialisées, plus critiques, plus avancées, mais plus dispersées.

Cette unification ne concerne pas seulement la normalisation du vocabulaire. Elle va jusqu'à la syntaxe du langage des arts, à la détermination des rapports logiques dans une fabrication ou dans une machine donnée. Cette nouvelle syntaxe, proposée davantage que réellement appliquée, apporte d'abord une simplification dans la description des opérations et des machines : « ... je suis convaincu que les manœuvres les plus singulières, et les machines les plus composées, s'expliqueraient avec un assez petit nombre de termes familiers et connus, si on prenait le parti de n'employer des termes d'art que quand ils offriraient des idées particulières » (2). Mais de plus, une machine qui a atteint la perfection — par exemple, le métier à bas — peut être conçue comme un modèle exhibant et réalisant une structure formelle : « on peut la regarder comme un seul et unique raisonnement dont la fabrication de l'ouvrage est la conclusion » (3). Etant donné que « les machines composées ne sont que des combinaisons des machines simples » et que « tous les mouvements sont réductibles, sans aucune erreur considérable, au mouvement rectiligne et au mouvement circulaire » (4), il est possible de décrire la structure des machines et leurs opérations à l'intérieur d'un système, à partir d'un petit nombre de notions primitives. La constitution de la langue des arts implique donc, en même temps, la normalisation du vocabulaire et la réforme de la syntaxe. Ces tâches n'incombent pas à l'artisan ni à l'ingénieur, mais bien au logicien : « il serait donc à souhaiter qu'un bon logicien, à qui les arts seraient familiers, entreprit les éléments de la grammaire des arts ». Le premier problème que Diderot entend lui soumettre serait de « fixer la valeur des corrélatifs, grand, gros, moyen, mince, épais, faible, petit, léger, pesant, etc. », c'est-à-dire un problème de normalisation du système des mesures. Le second, tout aussi essentiel, concerne la détermination des formes et des opérations : il faudrait établir des classes

(1) L'unification du réseau des opérations transformatrices était la condition du progrès technique. Au xviii^e siècle, en France, « dans l'industrie lainière, le tissu doit passer successivement dans les mains de huit ou neuf artisans, appartenant à des professions diverses et à des communautés rivales. Cette fragmentation du processus de fabrication empêche l'artisan d'imaginer et d'imposer une innovation technique ou une économie. Les statuts des communautés, les règlements royaux, le protectionnisme douanier, tout contribuait à rendre plus difficiles, moins lentants le progrès technique et l'invention », P. DEYON, *La production manufacturière en France au xviii^e siècle et ses problèmes*, in *Dix-septième siècle*, 1966, 70-71, p. 62.

(2) *Encyclopédie*, art. Art.

(3) *Ibid.*, art. Bas.

(4) *Ibid.*, art. Art.

d'outils et d'instruments, de même que des classes d'opérations dont chacun ou chacune serait désigné par le même terme (1).

Le logicien que Diderot appelle de ses vœux, a effectivement existé ; il avait proposé, quelque soixante-dix ans plus tôt, non seulement une grammaire des arts, mais encore un système de notation des composants et des opérations des machines. C'est Leibniz ; son projet de *caractéristique universelle* devrait permettre de représenter au moyen d'une langue symbolique appliquée aux figures géométriques, les éléments de structures machinales. Si cette caractéristique était achevée, « de la manière que je la conçois, dit-il, on pourroit faire en caractères, qui ne seront que des lettres de l'Alphabet, la description d'une machine, quelque composée qu'elle pourroit estre, ce qui donneroit moyen à l'esprit de la connoître distinctement et facilement avec toutes les pièces et même avec leur usage et mouvement sans se servir de figures ny de modelles et sans gener l'imagination, et qu'on ne laisseroit pas d'en avoir la figure présente dans l'esprit autant que l'on se voudroit faire l'interpretation des caracteres » (2). L'utilité pratique du projet — l'économie des modèles et même des figures qui simplifie le raisonnement — est étayée par l'idée d'une science unitaire réduisant successivement la matière machinale à la mécanique, la mécanique à la géométrie, la géométrie au langage symbolique commun : « Je croy qu'on pourroit manier par ce moyen la mécanique presque comme la géométrie, et qu'on pourroit mesme venir jusqu'à examiner les qualites des materiaux, parce que cela depend ordinairement de certaines figures de leurs parties sensibles » (3). En vertu du mécanisme universel, des éléments de ce qu'on désignera plus tard technologie pourront être soumis au même traitement caractéristique que la mécanique. Cela ne fut qu'un projet.

Cependant, l'idée était séduisante de fixer dans une notation symbolique configurations successives et mouvement organique des machines. Les représentations graphiques ordinaires peuvent bien procurer l'image d'un état donné d'une machine, voire les trajectoires de certaines parties mobiles ; mais, elles ne peuvent rendre compte des vitesses et de leurs variations. Il fallait inventer un code capable d'exprimer le plus d'informations possibles sur la

(1) *Ibid.* - Le projet de Diderot est repris dans le discours préliminaire à la 3^e édition du *Dictionnaire de l'industrie*, Paris, an IX. Parmi les « moyens de ranimer l'industrie en France », figure cette injonction : « rajeunissez les arts et métiers par une nouvelle nomenclature, un nouvel idiôme » ; il importerait de formuler une « grammaire générale des arts contenant une classification et une courte définition des ustensiles, outils et instrumens utiles et communs à un grand nombre d'arts et métiers, et sous des chapitres séparés, une courte définition des outils et instrumens de chaque art en particulier, indication de la manière d'en faire usage, de leurs effets et des résultats de la main-d'œuvre », p. xxxvi.

(2) Lettre de Leibniz à Huyghens du 8 septembre 1679, *Der Briefwechsel von G.W. Leibniz mit Mathematikern*, ed. Gerhardt (Hildesheim, 1962); Beilage, p. 570-71. - Devant le scepticisme de Huyghens, Leibniz entre dans les détails du projet : « Je puis demonstrier que ce que j'ay avancé suit de ma caractéristique lineaire ou geometrique dont je vous ay envoyé un essay. Car *premierement* je puis exprimer parfaitement par ce calcul toute la nature ou definition de la figure... Et je le puis en toutes les figures, puisqu'elles se peuvent expliquer toutes par des spheriques, plans, circulaires et droites, dans lesquelles je l'ay fait... Or toutes les machines ne sont que certaines figures, donc je les puis décrire par ces caractères, et je puis expliquer le changement de situation qui s'y peut faire, c'est-à-dire leur mouvement. » (Lettre non datée, *ibid.*, p. 580).

(3) *Ibid.*, p. 571.

structure géométrique et cinématique d'une machine. Cette tâche fut tentée par Babbage. Il publie, en 1826, dans les *Philosophical Transactions*, une méthode qui permet de « déterminer une partie quelconque de machine, de connaître à tout moment donné son état de mouvement, sa relation aux mouvements de toute autre partie, et s'il le faut, de remonter l'enchaînement du mouvement par tous les relais successifs jusqu'à la source motrice originelle (1). Sa notation est constituée d'éléments géométriques, lignes et points, et de nombres représentatifs des caractéristiques du dispositif, le tout assujéti à des règles syntaxiques. Pour lui, ce « langage des signes » se justifie par le « grand pouvoir que l'analyse tire d'une signification condensée » (2). En outre, comme il l'écrira plus tard, le champ d'application de cette notation s'étend à la « description d'un combat sur mer ou sur terre », aussi bien qu'à la « représentation des fonctions de la vie animale » (3), c'est-à-dire, à toute structure réductible à un modèle machinal. Il insistera encore sur l'avantage que l'on peut tirer de ce que son système permet des descriptions parfaites sans recourir à la moindre terminologie (4). Ce faisant, il dépossède l'homme des métaphores anthropomorphiques du monde factice des machines, il expulse de cet univers le verbe et il anticipe sur les traitements programmés de l'information (5). Son souci de la notation condensée s'applique encore dans une direction plus « technologique », au sens contemporain, quand il réclame l'élaboration d'un code des apparences matérielles, plus particulièrement une notation universelle des couleurs ; problème difficile entre tous, dont il ne pouvait seulement que souligner l'avantage qui résulterait de sa bonne solution : « l'utilité de tels assortiments d'éta-lons colorés permettrait à toutes les nations de parler une langue relative aux couleurs, à la fois précise et universelle ». Il touche là à l'un des motifs majeurs de la technologie, la spécification exacte et normalisée des matières et des productions.

Si Leibniz, Diderot et Babbage appellent donc la création d'une symbolique universelle des structures machinales et de leurs productions, avant même, cependant, toute tentative sérieuse de constituer une telle langue, des discours et des bavardages technologiques se font entendre partout où des hommes songent à organiser la machinerie sociale, en y privilégiant l'activité transformatrice de l'homme sur la matière. Parmi beaucoup de voix discordantes, Beckmann vint qui *invente* la technologie et fonde son enseignement.

(1) C. BABBAGE, On a method of expressing by signs the action of machinery, in *Philosophical Transactions*, 1826, part II, p. 260. Il insiste sur la « difficulty of retaining in the mind all the contemporaneous and successive movements of a complicated machine, and the still greater difficulty of properly timing movements ».

(2) *Ibid.*, p. 260.

(3) *Passages from the life of a philosopher*, London, 1864, p. 143.

(4) *Ibid.*, p. 192. Voir aussi, *The Exposition of 1851... views on the industry, the science and the government of England*, London, 1851, p. 138.

(5) « The Science of Calculation which becomes continually more necessary at each step of our progress, and which must ultimately govern the whole of the application of Science to the Arts of Life », *A Treatise on the Manufactures and Machinery of Great Britain*, by Peter BARLOW, to which is prefixed an Introductory view of the principles of Manufactures, by Ch. BABBAGE, London, 1836, p. 81.

Le mot apparaît furtivement pour la première fois dans un texte en 1772 (1); c'est l'époque où Beckmann commence à enseigner la discipline qui fera sa réputation. Son *Anleitung zur Technologie* de 1777 fixe le terme, définit le concept et expose la matière.

Cette technologie apparaît d'abord comme une extension naturelle de la carrière de Beckmann. Agronome, naturaliste, caméraliste, économiste, il n'ignore pas la physique ni les mathématiques, il possède une solide instruction philologique, tant théorique que pratique. Il fait un voyage en Hollande, passe deux années à Saint-Pétersbourg et retourne par la Suède où il reste plusieurs mois. Ses journaux de voyages révèlent un observateur extrêmement minutieux, attentif au ménagement de son temps, à l'exactitude de ses comptes rendus; il se lie vite avec le monde savant — Linné le reçoit très cordialement —, ne laisse échapper aucun objet de curiosité, aucune rencontre fructueuse. Il visite les ateliers, les manufactures et les fabriques, il descend dans les mines. Mais surtout, il n'omet de noter aucun détail de ce qu'il voit et entend, et s'applique à corriger les relations de voyages antérieures. On peut reconstituer ses déplacements heure par heure, pas à pas. Sur recommandation de Büsching, il devient à son retour, en 1766, professeur extraordinaire d'économie à Göttingen où il se fixera jusqu'à sa mort.

Son enseignement s'oriente d'abord vers l'agronomie, mais bientôt, il donnera des lectures sur des sujets très variés : comptabilité commerciale, banques, sciences camérales, minéralogie, botanique, arts et métiers, marchandises. Mais ce qui importe surtout dans cet enseignement, c'est son esprit et sa méthode. Les sciences camérales de même les parties technologiques incorporées avaient été dispensées principalement, sinon uniquement, sous forme de discours. Beckmann bouleverse des habitudes bien établies. Il ne recourt pas seulement — comme les naturalistes — aux collections minéralogiques et aux ressources du jardin botanique; traitant de métallurgie ou d'agronomie, il exhibe en même temps les modèles de diverses machines et outils de sa collection privée (2). Mais l'emploi des schémas et des modèles trouvera sa place la plus importante dans un nouvel enseignement qui se constitue entre 1770 et 1777 : celui de la technologie. J.S. Pütter, historiographe de l'enseignement

(1) *Physikalisch-ökonomische Bibliothek*, tome III (1772), p. 309.

(2) Les deux jugements suivants sur l'enseignement de Beckmann sont moins intéressants par leur contradiction — apparente seulement — que par l'indication qu'ils donnent sur le changement d'orientation de l'enseignement supérieur allemand.

a) « Ses leçons, qui parurent, dans le temps une nouveauté piquante, furent fréquentées par l'élite de la jeunesse studieuse, que les nations les plus civilisées de l'Europe envoyaient à l'Université de Göttingue; et l'on peut affirmer que les hommes d'Etat et les administrateurs de l'Allemagne les plus distingués ont été ses auditeurs ». (*Biographie universelle ancienne et moderne*, Paris, 1843, t. III, art. Beckmann Jean, par STAFFER).

b) « On enseigne encore à faire le devis d'une distillerie, d'une goudronnerie, d'un moulin de gruau, on enseigne combien de fibres doit avoir la toile et le taffetas dans la chaîne et dans la trame, on enseigne comment fabriquer le tromage et comment fondre le fer, comment expulser les chenilles et les hannetons, mais on n'a encore aucune idée de principes supérieurs de la science politique » (Leopold KRUG, *Beobachtungen über Nationalreichthum des preussischen Staats*, I, préf., p. 5, Berlin, 1805, cité d'après Jul. Löwenberg, in K. BRUNNS u.a. : *A. von Humboldt*, I (1872), p. 51).

supérieur en Allemagne, note l'orientation pratique des cours de Beckmann qui « possède de nombreux modèles, des échantillons de *matériaux bruts*, de marchandises principales et de leurs modifications » (1). Mais Beckmann va plus loin : si les outils, les machines et leurs produits ont leur place à l'école, c'est réciproquement l'école toute entière qui se déplace dans les ateliers pour suivre l'enchaînement des opérations d'une fabrication donnée. « Les travaux eux-mêmes sont montrés chaque fois aussi dans les ateliers et les manufactures... pour qu'on puisse les voir dans leur succession propre. Dans cette intention, il (Beckmann) parcourt aussi chaque été, avec les auditeurs qui veulent bien le faire, quelques salines, verreries, faïenceries, etc. voisines... ; aussi fait-il parfois avec quelques auditeurs qui le souhaitent particulièrement un voyage technologique dans le Harz et dans d'autres endroits voisins, étant donné que la région autour de Göttingen est vraiment très riche en objets technologiques divers » (2).

C'est donc à la manière d'un naturaliste décrivant minutieusement ses objets — allant les chercher au besoin dans leur milieu propre — et établissant leur classification que Beckmann pratique l'enseignement de la technologie, mais — trait essentiel — cet enseignement intègre les arts et métiers dans l'univers économique : la technologie n'est pas *d'abord* un prolongement de la mécanique ou de la chimie, elle est une discipline camérale, économique. Aussi, son intention n'est pas d'instruire des artisans, mais, en premier lieu, d'informer les officiers des chambres princières, les administrateurs et les fonctionnaires sur le travail artisanal. En ce sens, la technologie beckmanienne est bien plus près de l'*Encyclopédie* que des *Descriptions* de l'Académie. Les cours de Beckmann sont destinés d'abord aux futurs caméralistes et c'est à eux que pense Beckmann en première ligne lorsqu'il rédige son *Anleitung* (3) ; mais il s'adresse également aux agriculteurs et aux négociants et son public se recrute effectivement parmi des « fils de riches commerçants et artisans qui ont déjà complètement appris le métier paternel » (4) et qui désirent ainsi

(1) *Versuch einer akademischen Gelehrten-geschichte*, II (1788), p. 337.

(2) *Ibid.* - A propos des richesses du Harz et de leur valeur d'expérience, on ne peut manquer de rappeler les réflexions que Leibniz adressait au duc Jean Frédéric : « V.A.S. a dans son pays un trésor presque inépuisable... De plus, c'est une source d'une infinité d'expériences et belles curiosités, et c'est le fondement sur lequel V.A.S. peut bâtir un jour ce beau dessein qu'elle a formé d'une Assemblée pour l'avancement des sciences, qui par ce moyen pourra être rendue perpétuelle, et passer jusqu'à la postérité... [le Harz] enferme dans son sein de grandes richesses et il s'agit seulement de les en tirer, mieux qu'on n'a fait... je ne parlerai ici présentement que des machines, mais surtout de celles qui servent à élever les eaux... on n'entassera pas tant de pompes sur pompes, qui coûtent beaucoup à faire et à entretenir. » (*Sämtl. Schriften v. Briefe*, I. Reihe, 2, n° 73, p. 83.

(3) « La connaissance des métiers, des fabriques et des manufactures est indispensable à quiconque veut se consacrer à la police et aux sciences camérales. Car on devra au moins connaître ce qu'on doit arranger, établir, ordonner, apprécier, diriger, entretenir, améliorer et utiliser. Les questions : quels métiers font défaut à notre patrie, lesquels de ceux qui nous manquent pourraient être introduits avec profit, d'où faut-il apporter les matériaux, d'où amène-t-on les artisans, à quel endroit conviendrait-il de les installer, qu'est-ce qui défavorise les métiers que nous avons, comment peut-on les aider, dans quelle mesure chacun participe au bien commun, comment peut-on calculer leur revenu ? — ce n'est qu'après avoir acquis cette connaissance que les caméralistes pourront répondre à de telles questions, ainsi qu'à beaucoup d'autres également importantes. » *Anleitung zur Technologie*, préface.

(4) PÜTTEN, *Versuch...*, II, p. 340.

compléter leur instruction. Compléter, non remplacer : le technologue, au sens de Beckmann, n'est pas un artisan et la connaissance des métiers ne signifie pas leur pratique. « Elle [la technologie] ne doit pas former des tisserands, des brasseurs, ni aucun artisan en général ; pour l'exercice de leur art, ceux-ci ont besoin de beaucoup de savoir faire et de nombreux tours de main qui tous doivent être acquis séparément par un exercice pénible, mais qui sont inutiles à ceux auxquels je m'adresse » (1). La fonction de technologue est une fonction de *stratégie globale* : « Le général doit connaître le métier des artilleurs, mais ce n'est pas une honte pour lui si les artilleurs savent pointer le canon avec plus de précision et plus rapidement » (2).

L'*Anleitung zur Technologie* de 1777, qui résume cet enseignement, est le premier manuel de la nouvelle discipline. Il est important, d'abord et surtout, par son titre, par le concept qu'il introduit et définit. L'activité artisanale y devient objet d'une science : « La technologie est la science qui enseigne le traitement des produits naturels ou la connaissance des métiers. Au lieu qu'on montre seulement dans les ateliers comment on doit suivre les instructions et les habitudes du maître pour fabriquer la marchandise, la technologie donne une instruction approfondie et selon un ordre systématique, permettant de trouver, à partir de principes véritables et d'expériences sûres, les moyens d'atteindre ce but final, et d'expliquer et tirer parti des phénomènes qui apparaissent pendant le traitement » (3). Le discours beckmanien se propose donc de traduire la consécution des actes transmissibles uniquement par observation directe et imitation des gestes/en un enchaînement de propositions ne relevant que de « principes » et d'expériences sur lesquels repose le procédé en question. L'activité technique de l'homme est traitée d'après le modèle déductif d'une science exacte.

Beckmann a une conscience très nette de la nouveauté de son procédé et la dénomination « technologie » souligne la coupure séparant une discipline scientifique des présentations encyclopédiques antérieures qui tendaient à embrasser la totalité des cas particuliers, mais ignoraient les similitudes dans les opérations et leurs principes. « Je me suis risqué, dit-il au même § 12 de l'*Anleitung*, à utiliser le terme de *technologie* au lieu de celui d'*histoire des arts* (Kunstgeschichte) en usage depuis un certain temps et qui est au moins aussi incorrect que le terme d'*histoire naturelle* pour désigner les sciences naturelles. C'est le récit des inventions, de leur progrès et de la fortune d'un art ou d'un métier qui peut être appelé *histoire de l'art* ; la *technologie* qui explique complètement, méthodiquement et distinctement tous les travaux avec leurs conséquences et leurs raisons est bien davantage. Assurément, les mots suivants : $\tau\epsilon\chi\nu\omicron\lambda\omicron\gamma\iota\alpha$, $\tau\epsilon\chi\nu\omicron\lambda\omicron\gamma\epsilon\iota\omega$, $\tau\epsilon\chi\nu\omicron\lambda\omicron\gamma\omicron\varsigma$ sont anciens, mais il est évident que les Grecs, en les prononçant, ne pensaient pas toujours aux métiers, pas plus que par

(1) BECKMANN, *Anleitung...*, préface.

(2) *Ibid.*

(3) *Ibid.*, Introduction, § 12.

οἰκονομία, πολιτικῇ et des centaines d'autres mots, ils ne pensaient à ce que nous entendons par ces termes. »

Que doit contenir une telle technologie ? Une description et une classification naturelle des métiers suivant « l'égalité ou la similitude dans le procédé lui-même et dans les raisons (Gründe), sur lesquelles il repose » (1). Mais ce manuel des arts et métiers est pris dans un contexte caméral, économique : l'Introduction définit les concepts d'art, de métier, de matériaux (*materia technologica*), mais développe en même temps des considérations sur les guildes et les corporations, sur le choix de l'emplacement d'une fabrique ou manufacture, sur les éléments qui entrent dans le prix de la marchandise. L'ordre des métiers présentés ne suit pas l'ordre « naturel » exposé préalablement ; certains métiers (serrurier, par exemple) sont absents et malgré le traitement détaillé, complet, reposant sur une connaissance intime et directe, de certains d'entre eux, la partie vraiment neuve et importante du livre consiste dans la préface et dans l'introduction.

Le projet beckmanien est suffisamment ferme et étendu pour que, cent ans après, un Karmarsch puisse écrire l'histoire de la technologie dans ce sens ; mais quand il met à exécution son propre projet, le professeur de Göttingen ne fait que reprendre et condenser des exposés antérieurs, au point que maintes présentations prébeckmaniennes de dispositifs d'industrie attestent souvent plus de maturité dans le traitement scientifique de la création technique. Beckmann exhibe bien la nécessité d'une régulation des principes d'application, sans offrir, en contrepartie, de réalisation qui réponde aux exigences de ses principes. Dans ce premier manuel gît déjà l'ambiguïté qui affecte insidieusement le concept de technologie. Elle naît de l'écart entre la décision claire d'un traitement discursif et déductif des opérations techniques, et le mode tout empirique de description isolée des métiers sans référence aux principes unificateurs annoncés. Ce que l'ouvrage de Beckmann ne contient pas est, en définitive, aussi déterminant que ce qu'il renferme pour la destinée de la technologie. Les références de Beckmann, relatives aux métiers dans les ateliers et les fabriques, donnaient place à des descriptions détaillées de mécanismes et de machines ; il n'y a aucune trace de cela dans l'*Anleitung* où Beckmann privilégie les arts chimiques, il consacre toute son attention au traitement et à la transformation (*Verarbeitung*) des matériaux. La technologie beckmanienne ignore le détail des mécanismes et ne regarde guère le machinisme industriel. A l'époque où se prépare — au loin, il est vrai — la révolution industrielle du XIX^e siècle, la nouvelle discipline qui se donne explicitement pour domaine la fabrication manufacturière et qui crée un concept susceptible d'embrasser les opérations techniques et les postulats économiques impliqués dans l'industrie, se réalise dans la description d'un monde corporatif des métiers et des modes de production condamné à brève échéance. Dans un concept prospectif la technologie beckmanienne enveloppe une archéologie.

(1) *Ibid.*, Introduction, § 13.

L'orientation de la technologie et sa détermination conceptuelle se ressentiront de ce champ d'exemples, de cette limitation. Le concept évoluera dans deux directions : au sens qui la rattache aux descriptions beckmaniennes, la technologie deviendra une discipline particulière des techniques, discipline de portée assez limitée : connaissance des marchandises et de leur fabrication. D'autre part, dans les pays anglo-saxons, le mot se fixera dans le sens de la définition théorique qu'en donne Beckmann et finira par désigner l'ensemble de l'activité technique fondée sur l'application des sciences aux procédés de l'industrie.

L'essor de la technologie beckmanienne, sa diffusion rapide, attestent cependant la reconnaissance de l'activité technique comme composante essentielle de l'ordre social. Cet essor vient satisfaire au besoin d'introduire, à tous les niveaux d'instruction un enseignement sur les modes de production dont la transformation pèsera bientôt sur la société entière. Dans la décennie qui suit la publication de l'*Anleitung*, le nouveau terme et concept est universellement répandu en pays germaniques; dans les universités, les écoles supérieures et les écoles militaires, on fonde des chaires de technologie.

Celle-ci fait d'abord partie de l'enseignement caméral. H. Jung-Stilling la professe à l'École supérieure camérale de Kaiserslautern à partir de 1778 ; B.F.J. Hermann, un disciple de Beckmann, en donne des cours en 1781 à Vienne, où il publie la même année ses réflexions *Sur l'introduction à l'étude de la technologie*. L'année suivante, il part pour la Russie, où il contribuera à la naturalisation de cette discipline par ses descriptions technologiques des provinces russes et par sa participation aux travaux de l'Académie de St-Petersbourg. J.G. Cunradi l'enseigne au couvent de Berg près de Magdebourg. A l'Université de Halle, centre important des sciences camérales, son enseignement est confié à G.F. von Lamprecht et à Fr. Meinert. On l'enseigne, entre autres à Leipzig, à Innsbruck, à l'Académie Caroline de Stuttgart où l'apprendra le jeune Cuvier (1) à Tübingen, et, bien entendu, à Berlin où s'illustrera plus tard Hermbstädt. En France, Haffner, professeur de théologie à l'université de Strasbourg, intègre dans son programme d'études supérieures une traduction libre de la préface de l'*Anleitung* de Beckmann (2).

L'activité universitaire est doublée d'une importante activité d'édition. Pour tous les degrés de l'enseignement, les manuels et les traités de technologie, imitant et complétant l'ouvrage classique de Beckmann, se multiplient un peu partout ; cependant que la technologie commence à se diversifier en branches spéciales, apparaissent, dans tous les pays d'Europe, les grandes encyclopédies et les dictionnaires dressant un tableau du savoir technique, destinés non plus à l'honnête homme, mais au spécialiste. La technologie, d'abord science pour

(1) Dans une lettre de Caen (22 juin 1789), il prie son correspondant Pfaff de « faire [ses] compliments les plus empressés à tous ceux qui se souviennent de [lui], et en particulier à Class, Schmid, Weisser et Drüch ». Weisser fut son professeur de technologie à l'Académie Caroline de Stuttgart en 1788. *Lettres à Pfaff*, p. 94. *Vide infra*, p. 49.

(2) HAFFNER, *De l'éducation littéraire ou essai sur l'organisation d'un établissement pour les hautes études*, Strasbourg, Paris, 1792, p. 230-232.

administrateurs, se met au service de l'industriel, de l'ingénieur, du chimiste, du constructeur de machines (1).

Le concept lui-même cependant ne subit aucune modification. La discipline s'approprie progressivement les domaines les plus divers de la fabrication et dans la littérature technologique la production industrielle remplace la description des arts et métiers.

Vers la fin de sa carrière, en 1806, Beckmann revient encore une fois sur la scène avec un opuscule qui, s'il ne bouleverse pas le concept, du moins, ébranle les normes établies par l'usage de la littérature technologique depuis trente ans. On a vu que l'*Anleitung*, malgré la promesse d'un traitement scientifique, s'est contenté d'une simple description empirique de plusieurs métiers qui n'étaient reliés, ni entre eux, ni aux principes des sciences. C'est l'*Entwurf der allgemeinen Technologie* qui vient, au moins en principe, d'accomplir les vœux de l'*Anleitung* en exhibant un fil conducteur qui permet de regrouper les opérations impliquées dans des métiers différents : Beckmann abandonne le découpage descriptif qui doit suivre les étapes successives d'une fabrication donnée — et qui doit donc se borner à reproduire un *état de fait* — en faveur de la méthode comparative. L'exposé du travail artisanal n'est plus lié à un métier particulier, mais à un *procédé général* dont les variantes sont impliquées dans des métiers différents. « Celui qui s'est donné pour étude d'apprendre à connaître de nombreux arts et métiers et qui s'est exercé à en embrasser beaucoup d'un seul regard, celui-là ne peut pas ne pas observer qu'un très grand nombre de métiers — quels que soient ses matériaux et les marchandises fabriquées — soit ont à exécuter des travaux divers dans la même intention, soit savent réaliser une même intention par des voies très différentes. » (2) Que faut-il entendre par une intention ? C'est le but propre commun à des procédés particuliers; ainsi, « le travail au rabot d'un menuisier, le polissage des verres, le massicotage accompli par le relieur, le calendrage des toiles » sont des activités

(1) En 1781 paraît *Technologisches Wörterbuch* de JACONSON ; l'immense compendium de plus de 200 volumes *Ökonomische Encyclopädie* de J.G. KRUNITZ (à partir de 1773) élargit en 1784 son titre en *Ökonomisch-technologische Encyclopädie*. Sa réplique française est l'*Encyclopédie méthodique* de PANCKOUCKE, mais le terme n'apparaît dans le titre d'une encyclopédie française qu'en 1835 avec le *Dictionnaire technologique ou Nouveau dictionnaire universel des arts et métiers*. En 1845, Ch. LABOULAYE publie une *Encyclopédie technologique*.

Contemporaines de ces ouvrages encyclopédiques sont les premières revues technologiques : *Annales des arts et manufactures, ou mémoires technologiques sur les découvertes modernes concernant les arts, les manufactures et le commerce* de R.O'REILLY (à partir de l'an VIII), *Annales de l'Industrie nationale et étrangère ou Mercure technologique* (à partir de 1820), *Bulletin des Sciences technologiques, Tekhnologitcheskii Journal* de HERMANN publié à Saint-Petersbourg. Il faut y ajouter des collections comme la *Physikalisch-ökonomische Bibliothek* de BECKMANN contenant des mémoires originaux et des comptes rendus de livres et une multitude de publications analogues traitant les matières technologiques, même si le mot ne figure pas dans le titre. En même temps paraissent des bibliographies de la technologie comme celle de G.E. ROSENTHAL, *Literatur der Technologie, d.i. Verzeichniss der Bücher, Schriften und Abhandlungen...*, Berlin, Stettin, 1795 ou celle de S.F. HERMSTÄDT, *Bibliothek der neuesten physischen, chemischen, metallurgischen, technologischen Literatur*, 1788, et les premiers exposés de son histoire : les *Contributions à l'histoire des découvertes* de BECKMANN (1780-1805) et l'*Histoire de la technologie* de POPPE. - Toutes ces publications achèvent et confirment la constitution de la discipline, sa prise de conscience d'elle-même et son insertion dans l'univers de la culture.

(2) *Entwurf*, p. 1.

procédant de la même intention, à savoir « surfacier les corps » (1). Une intention désigne donc une *classe d'opérations*; la technologie générale, au lieu de classer les métiers va classer les opérations, en comparant les différents procédés, les différentes réalisations d'une intention. Elle a pour but d'établir « une liste de toutes les intentions différentes qu'ont les artisans dans leurs différents travaux, et en plus une liste de tous les moyens par lesquels ils savent réaliser chacune de ces intentions » (2). Ce n'est qu'ensuite, une fois exposées les opérations dans leur enchaînement rationnel, que viendra la technologie spéciale pour donner une description des métiers particuliers. L'*Entwurf* doit logiquement précéder l'*Anleitung*.

C'est aussi l'optique générale de la technologie qui change avec l'*Entwurf*. L'usage de la technologie ne consiste plus uniquement dans la transmission des schémas simplifiés des opérations d'un métier aux administrateurs et aux fonctionnaires de l'État, c'est-à-dire aux *non artisans*. Cette fois-ci, la technologie est susceptible d'intervenir en proposant un perfectionnement technique aux métiers eux-mêmes : le recensement et la comparaison des procédés qui réalisent la même intention permettent de *transporter* telle ou telle opération d'un métier à un autre (3). On ne saurait assez insister sur ce concept de transport qui rend possible de sortir des limites d'un métier donné dans lesquelles était enfermée la technologie classique, et d'établir des liens entre les métiers très différents.

Beckmann montre sur deux exemples comment il faut concevoir l'exécution de son projet. En choisissant comme « intentions » exemplaires : 1° la fragmentation, 2° le polissage, planissage et le lissage, il énumère des procédés qui sont tous des espèces de ces intentions. Ainsi, en ce qui concerne le premier cas, Beckmann recense et commente toutes les opérations de fragmentation, divisées en six groupes suivant les propriétés des corps : corps durs (exemple : casser, disséquer, briser, concasser etc.), corps mous (exemple : couper etc.), corps fibreux (exemple : rompre), métaux (exemple : granuler), sels (exemple : dissoudre), eaux (exemple : faire la graduation).

Par l'*Anleitung*, Beckmann a fondé la technologie. Mais ce premier ouvrage de technologie ne visait que la reconstitution idéale de l'*histoire* d'un produit par la description des étapes de sa fabrication, de la succession des opérations qui ne sont reliées qu'extrinsèquement, par le but, l'objet que se propose de construire l'artisan. L'*Entwurf* ne procède pas à partir de métiers existants,

(1) « Elle [la technologie] enseignerait de combien de manières et avec quelles variétés d'outils on polit, dépolit, diminue, humecte, sèche, rectifie, cintre, durcit, raidit, condense, disperse, dilue, crible, chauffe ou refroidit, éclaircit ou opacifie, assouplit et rend plus élastiques etc. les corps des espèces les plus diverses ; ensuite, par quels moyens on clarifie, décolore, vaporise, adoucit les liquides... » *Ibid.*

(2) *Ibid.*

(3) « De cette manière, lorsque sera élaborée la technologie générale, et lorsque l'inclination technologique des savants continuera à croître, nombre d'entre eux qui auront le temps et l'occasion feront de sorte que les maîtres habiles essaieront de transporter des moyens et des outils divers [d'un métier à l'autre] ». *Ibid.*, p. 2.

ni à partir de l'objet à fabriquer : le concept primitif de la technologie est le concept d'*opération* permettant de découvrir le lien interne des métiers dans l'« intention » commune des opérations. L'opération n'est plus un simple maillon d'un métier particulier ; c'est plutôt le métier qui devrait être conçu comme lieu géométrique particulier découpé dans le réseau des opérations. Le *Projet* de Beckmann rejoint ainsi le projet de Bachelier qui se proposait de mettre en lumière « l'enchaînement qu'il convient de donner à la description de ces arts, remontant à ceux qui sont, pour ainsi dire, les arts primitifs, dont les pratiques fondamentales se rencontrent dans plusieurs arts ; pratiques qui sont seulement ou modifiées ou perfectionnées relativement à leur objet » (1).

L'*Entwurf* demeure, certes, ce qu'annonce son titre : essentiellement un *projet*. A de très rares exceptions près, la technologie en est restée au niveau de la description. Comme le dit W.F. Exner, le biographe de Beckmann, « le dessein proposé dans ce *Projet* d'une technologie générale est resté un projet jusqu'aujourd'hui et, tandis que la technologie *mécanique* descriptive continuait à se développer pendant un siècle, tandis qu'elle fut divisée en technologie *mécanique* et en technologie *chimique*, tandis que la première bénéficiait, en particulier sous la direction de Karmarsch, de soins sérieux et que la seconde a trouvé des représentants éminents dans Prechtl, Graham-Otto et dans d'autres, le projet beckmanien d'un traitement comparé, scientifique de la technologie est resté en sommeil jusqu'à nos jours » (2).

Deux personnages les plus représentatifs de la technologie allemande, Hermbstädt et Poppe, poursuivent dans la voie tracée par l'exemple beckmanien. Dans l'œuvre de Hermbstädt, apothicaire royal, professeur de chimie et de technologie à l'Université de Berlin, cette dernière discipline atteint une forme classique. Cet auteur consacra de nombreuses monographies à la technologie chimique (blanchissage, teinturerie, fabrications du vinaigre, de la bière, etc.) et son grand traité *Grundriss der Technologie* est une sorte de remise à jour de l'*Anleitung* de Beckmann. Du point de vue du concept, il est à noter que le lien de la technologie avec les disciplines économiques issues des sciences camérales est affirmé avec encore plus de vigueur que chez ses prédécesseurs et qu'elle est même identifiée à l'*économie technique* : « La technologie ou la science de l'économie artisanale (*Technologia, τεχνολογία, Oeconomia technica*) est cette branche de la science politique générale (*Oeconomia politica*) qui comprend la connaissance, *empirique* aussi bien que *rationnelle*, des arts, des fabriques, des manufactures et des métiers » (3).

Ajoutons, enfin, qu'un lien entre les mathématiques, l'économie et la technologie s'établit dans l'œuvre, peu connue, du comte Georges Bouquoy

(1) *Rapport fait à l'Académie des Sciences le 22 juillet 1772 par Messieurs Le Roi et Bailly sur un cours public des Arts et Métiers, qui lui a été présenté par Monsieur Bachelier*, p. 22.

(2) W.F. EXNER, *Johann Beckmann - Begründer der technologischen Wissenschaft* (Wien, 1878). Cf. aussi K. KARMARSCH, *Geschichte der Technologie*, p. 867-7.

(3) S.F. HERMBSTÄDT, *Grundriss der Technologie* (1814), § 1, p. 1.

qui ajoute à sa *Theorie der Nationalwirtschaft* (Leipzig, 1815) trois compléments, dont le troisième porte le titre *Système de technologie du point de vue économique* (1818).

. . .

Quand Reuleaux légiférant sur l'ordre machinal au cœur du XIX^e siècle, tranche nettement entre une science des machines — réduite à un jeu de concepts opératoires — et une technique de leur usage fondée sur la physico-chimie des transformations matérielles, il ne fait que consacrer un partage dont les signes apparaissent dans les projets pédagogiques de la Révolution française. Ceux-ci font place aux arts, et la question se posera aux réformateurs de définir le champ de l'instruction proprement technique à tous les niveaux d'enseignement. C'est vraisemblablement à la prédication de l'*Encyclopédie* que l'on doit tout à la fois l'accueil fait aux arts et les hésitations, pour ne pas dire les polémiques, qui marquèrent cette greffe dans le nouvel ordre pédagogique. Après le relais des *Descriptions* académiques, l'*Encyclopédie* a transporté, en plein siècle des lumières, le projet baconien. Il suffit de se référer à l'article *Art* de Diderot, ou même à certains passages du *Discours préliminaire* de d'Alembert pour percevoir le rebond, pris au vol, des motions de Bacon et leur naturalisation dans le discours encyclopédique. M. Simondon a certes raison quand il nous montre l'*Encyclopédie* déployant le spectacle des forces et des puissances ; elle réalise un envoûtement : « C'est la société humaine avec ses forces et ses pouvoirs obscurs qui est mise dans le cercle, devenu immense et capable de tout renfermer... Tout ce qui est figuré dans le livre encyclopédique est au pouvoir de l'individu qui possède un symbole figuré de toutes les activités humaines dans leurs détails les plus secrets. L'*Encyclopédie* réalise une universalité de l'initiation..., tous les ressorts actifs, toutes les forces vivantes des opérations humaines sont rassemblées dans cet objet symbole. Chaque individu capable de lire et de comprendre possède le vout du monde et de la société. Magiquement chacun est maître de tout, parce qu'il possède le vout de tout » (1). Mais ne peut-on douter de l'existence de la coupure souvent notifiée au sujet du caractère « foncièrement majeur des planches de schémas et de modèles de machines qui sont un hommage aux métiers et à la connaissance rationnelle des opérations techniques » ? Hommage assurément, dans ce défilé un peu désordonné qui participe encore de l'esprit des théâtres de machine et annonce le climat des expositions du XIX^e siècle. On y trouverait difficilement les signes d'invention radicale dans la présentation de l'univers des arts et métiers ; les planches de l'*Encyclopédie* démarquent, pour une bonne part, comme l'a montré M. Huard, celles qui furent préparées pour les *Descriptions* de l'Académie (2); et l'on pourrait trouver

(1) *Du mode d'existence des objets techniques*, p. 94-95.

(2) G. HUARD, Les planches de l'*Encyclopédie* et celles de la *Description des Arts et Métiers* de l'Académie des Sciences in *L'Encyclopédie et le progrès des sciences et des techniques*, Paris, 1952, pp. 35-46.

par ailleurs des modèles de présentation dans Béliador, et plus anciennement encore chez Lorini qui juxtapose les vues perspectives d'engins à de clairs schémas de structure, y ajoutant même parfois des figures de montage très praticables. Enfin, ces planches, on le sait bien, n'étaient point destinées aux artisans dont elles reproduisent avec d'inégales minuties les outils et les attitudes (1). Ce qui, en revanche, demeure à l'actif de l'*Encyclopédie*, c'est d'avoir élevé la dignité des métiers en assimilant la description des arts à l'histoire naturelle. Le regard des curieux plonge dans les ateliers au moment où les peintres prennent leur thème de la vie des bons paysans.

Cette naturalisation des arts devait marquer en France les projets d'enseignement technique, tant élémentaire que supérieur, qui fleurirent dans les années de diffusion de l'*Encyclopédie* et des *Descriptions* de l'Académie. Ces deux publications suscitent dans leur sillage toute une littérature *technologique* comme le dira Leclerc en 1789 (2).

A un niveau élémentaire d'enseignement, on ne peut manquer d'évoquer ici l'initiative du peintre Bachelier, lié aux Encyclopédistes, qui ouvrit en 1766 l'École gratuite de dessin, dont un premier projet avait été déjà proposé plus de vingt ans auparavant par Ferrand de Montholon. Le discours inaugural de Bachelier trace le programme d'une éducation qui « au lieu de verser chaque année dans la société un essaim d'hommes inutiles et dangereux, fourniront aux ateliers des arts, des milliers d'ouvriers instruits tant en théorie qu'en pratique » (3). Un tel enseignement assurera, selon Bachelier, « l'extension de l'industrie nationale » ; on y professera gratis « les principes du dessin, de la géométrie pratique, de la mécanique, de la chimie, de l'histoire naturelle... » (4). Curieusement, Bachelier proposera quelques années plus tard d'étendre cet enseignement dans un « cours public des arts et métiers » destiné aux « gens du monde, à qui il donnera les idées de la fabrique de toutes les choses dont ils font un usage habituel », tout en étant également utile aux « savans et aux philosophes ». Le *Lycée* réalisera cette intention. Le programme de mécanique de cet établissement pour l'année 1786 nous est conservé ; c'est Condorcet lui-même qui le

(1) S'il fallait rapporter d'autres critiques bien fondées à l'encontre de l'*Encyclopédie* il suffirait de mentionner l'opinion de Roland quand il la met en parallèle avec les *Descriptions*, « suite de traités complets dont chacun doit non seulement conduire l'ouvrier par la main, mais faire un ouvrier de chaque homme », tandis que la collection de Diderot est qualifiée de « colosse sans proportion, compilation indigeste où les arts mécaniques sont traités avec une inexpérience dont aucun ouvrage ne donne l'idée ». (*Manufactures, arts et métiers*, Paris, 1785, t. I, pp. iii et xxiv). Opinion à compléter par le jugement de Biot : « immense travail, rédigé à la hâte par une foule d'écrivains différens... On peut même lui reprocher beaucoup d'imperfections dans les détails ; mais il n'en a pas moins rempli son véritable but, qui était de mettre sous les yeux des gens du monde, une table des matières où ils puissent apprendre l'existence d'une foule de connaissances positives qui leur étaient entièrement inconnues », in *Essai sur l'histoire générale des sciences pendant la Révolution française*, Paris, au XI, p. 5.

(2) « Ce n'est que dans ces derniers siècles que les arts se sont vus hors des laboratoires de l'ouvrier, faire l'occupation de la plume et des discours polis... ils ont produit une si grande quantité de livres que la technologie est devenue un genre de littérature très considérable ». *Abrégé des études de l'homme fait, en faveur de l'homme à former...* par M. LECLERC, Paris, 1789, p. 296.

(3) *Discours sur l'utilité des Ecoles élémentaires en faveur des arts mécaniques*, prononcé le 10 septembre 1766, Paris, 1792, p. 16.

(4) *Ibid.*, p. 15.

présente : « nous expliquerons la théorie des machines simples, la manière dont on peut par la disposition des différentes pièces, produire un effet donné, si l'on connoit la quantité et la direction de la force à employer ; et la méthode de calculer l'effet des différentes machines, d'abord d'une manière abstraite, ensuite en ayant égard aux frottemens et aux forces perdues. Nous donnerons... la méthode d'évaluer les différentes forces motrices employées dans les machines, telles que la force de l'homme et des animaux, le poids ou le choc d'un corps solide, la pression de l'eau, l'action du vent, celle de la vapeur. Nous enseignerons le moyen de composer ces forces motrices, et de connoître celle qui doit être préférée, suivant le but que l'on se propose, ou les circonstances locales... » (1).

Ce texte n'est pas sans intérêt, car il préfigure un enseignement qui sera délivré à partir de 1793, par J.H. Hassenfratz, au Lycée des Arts sous le nom de *technologie*, et dont on trouve un programme succinct dans les annuaires de l'an III et de l'an VII. Ce qui caractérise le programme de 1799, c'est l'intention d'adjoindre à une description, sans doute classique, des « arts de productions des matières premières », un cours sur « la série des arts à l'aide desquels, on construit les outils et les instruments employés dans les arts et métiers. Dans cette série, l'art de construire les machines occupe le premier rang ». Et ce qui relève l'intérêt de cette initiative, c'est l'importation de la notion de *rendement* dans la conception des machines : « Il y a un grand nombre de traités de mécanique, et les hommes les plus célèbres se sont occupé des méthodes, pour calculer le résultat des machines construites ; mais aucun n'a donné les élémens communs à ces machines, et n'a fait connoître les moyens de produire un effet demandé avec une force donnée. C'est cette partie nouvelle de la science que le citoyen Hassenfratz se propose de développer, ainsi qu'il le fait en ce moment, avec le plus grand succès à l'École Polytechnique » (2).

(1) *Discours sur les sciences mathématiques*, prononcé au Lycée le 15 février 1786, par M. de CONDORCET, Paris, 1812, p. 29.

(2) La première annonce que nous avons repérée du cours de technologie d'Hassenfratz figure dans la première livraison du *Journal du Lycée des arts* datée du 15 avril 1793. On trouve un programme très succinct de son enseignement dans l'*Annuaire du Lycée des arts pour l'an III* : « Technologie (18) - Description générale des Arts et Métiers - Examen des élémens des machines et de leur application aux machines construites - Connaissance des détails et des procédés des manufactures. Par le citoyen Hassenfratz de la Société d'histoire naturelle, de celle du Point central et du Bureau de consultation des Arts » (p. 56). Un imprimé raturé de la Bibliothèque nationale suggère une introduction antérieure du terme par Hassenfratz. Il s'agit de la *Nouvelle Constitution des sciences, arts et métiers, avec le projet de décret présenté à l'Assemblée nationale, et rédigé par la Société du Point Central des arts et métiers*. Ce texte daté de mars 1792, atteste l'activité fébrile des « techniciens » et des inventeurs insurgés contre la souveraineté de l'Académie des sciences. Il invoque à maintes reprises le primat des arts utiles et répond en fait à l'espérance, candide ou intéressée, qu'une masse de médiocres carresse de se faire entendre. La section V du texte traite « De la classification générale des savans et des artistes » ; le système adopté est simplement celui de l'ordre alphabétique, car le législateur ne doit « reconnaître aucune espèce de prééminence entre des hommes qu'il ne peut considérer que sous le point de vue de leurs rapports avec l'utilité publique ». La première classe est celle de l'Agriculture, la seconde celle des *Arts mécaniques et métiers*. Cette dénomination a été biffée à l'encre et remplacée par *Technologie, cours théorique et pratique des arts et métiers*. En marge, mention du C^{es} Hassenfratz. L'énumération suivante n'a pas été barrée : « Cette étude comprendra la description de tous les outils ou machines qui concernent les fabrications de toute espèce ; les moyens de perfection ; les inventions ; les préparations de

Ce fut, à notre connaissance, le premier cours professé en France sous cette dénomination qui ne devait pas jouir d'une bien longue fortune (1). Le terme n'apparaît aucunement dans le tableau de l'enseignement polytechnique ; Hassenfratz y figure pour l'exploitation des mines et la physique générale. Pourtant, il ne fait pas de doute qu'il dut tenter de développer ses conceptions technologiques. Il les affirme d'abord dans le discours qu'il prononce le 7 pluviôse de l'an VII : « L'examen, la détermination et l'étude des lois générales de la nature doivent avoir pour objet spécial le perfectionnement de l'instruction, des travaux et de l'industrie humaine. En conséquence, on aura soin en présentant chaque loi de présenter l'application qu'elle doit avoir dans les services auxquels les élèves de l'école sont destinés, ainsi que dans les arts et métiers » (2). Et ce choix décidé pour l'application, il le propose alors, non plus tellement

matières premières ; les secrets relatifs aux métiers et les instrumens nouveaux » (pp. 56-7). Puis, adjonction de la même main : « La description des travaux des manufactures ou (ill.) dans ses ateliers ».

Le *Programme du Lycée républicain pour l'an VI* ne mentionne qu'un « Cours des arts et métiers, par le Citoyen Hassenfratz » (p. 12). Le *programme* pour l'an VII réintroduit le terme de technologie avec un commentaire plus étoffé (p. 7).

L'article *Technologie* du quatrième tome de la *Physique* de l'*Encyclopédie méthodique*, Paris, 1823, précise qu'« un cours de technologie a été fait par M. Hassenfratz à l'Athénée de Paris. Ce cours a duré dix ans pour être complété ».

Le mot technologie apparaît sous la main de Cuvier, en l'an IX, dans le registre d'entrée des *Procès verbaux* de l'Institut. *Technologie* est prononcé par Fourcroy en 1802 à la tribune du Corps législatif, qui se réfère aux initiatives de Beckmann : « les arts mécaniques et chimiques qu'on enseigne depuis si long-temps dans plusieurs universités d'Allemagne, sous le nom de *Technologie* auront deux écoles spéciales placées dans les villes les plus riches en industrie et en manufactures. Généralement désirées, ces écoles contribueront à la prospérité nationale par les méthodes nouvelles qu'elles feront connaître, les instrumens et les procédés peu connus ou inconnus encore qu'elles répandront, les bons modèles de machines qu'elles montreront ; en un mot par tous les moyens que la mécanique et la chimie fournissent aux arts ». *Discours* prononcé par A.F. Fourcroy, orateur du gouvernement, sur le projet de loi relatif à l'instruction publique, 30 germinal, an X, p. 16. Le préfacier du *Dictionnaire de l'industrie*, publié l'année précédente à Paris, réclamait que l'on attachât « à chacune des écoles centrales un démonstrateur des arts, un professeur phylotechnique » (*sic*), p. xxxvj. — *Technologie* apparaît en l'an XII et se maintiendra jusqu'en 1827 dans les rubriques de la *Notice de l'almanach sous verre des associés*.

La référence aux initiatives pédagogiques allemandes se trouve chez Prieur qui invoque l'exemple de l'enseignement de la chimie à l'école des mines de Banská Štiavnica (Schemnitz), *Mémoire sur l'école centrale des travaux publics*, messidor an III, p. 13.

Un autre emploi contemporain de technologie est à noter à propos de la nomination de Vauquelin en l'an XII aux fonctions de professeur de « chimie technologique au Jardin des plantes ». - Cf. *Bull. Soc. encour. ind. nat.*, n° 3, fructidor, an XII, p. 55. Il y a un apparentement évident entre l'industrie chimique et la technologie qui survit actuellement dans les expressions comme « technologie des matières plastiques », « technologie des hydrocarbures », etc. Cet emploi du terme technologie qu'il importe de distinguer des calques ambigus de « technology », renvoie à des opérations et des spécifications définies.

(1) La désuétude dans laquelle le terme même de technologie devait tomber dans les programmes scolaires est attestée en 1845 dans la *Revue générale de l'architecture et des travaux publics* : « L'étude de la technologie officiellement reconnue aussi importante que celle du manchoux : Notre collaborateur M. Barral vient d'être nommé professeur de technologie à l'école municipale (François I^{er}) ... Jusqu'à ce jour, il n'y a qu'un seul professeur de technologie en France, tout juste autant que pour le chinois ou le manchoux... », t. VI, col. 267.

Il serait téméraire de vouloir fonder l'histoire d'une notion en démarquant pas à pas les vicissitudes d'un terme. La destinée lexicographique de technologie est inséparable du nomadisme de la mode. En Angleterre également, on assiste à des avatars difficilement explicables du terme ; ainsi, l'*Universal technological dictionary* de GRABN, 1^{re} éd. 1823, 2^e éd. 1833, sera réédité en 1851 sous le titre de *Technical Dictionary*. Il faut, bien entendu, tenir compte, en cette occurrence, du vieillissement des néologismes.

(2) *Journal de l'École polytechnique*, an VII, p. 239.

comme la conséquence de l'exigence idéologique et constitutionnelle qui prétend que « tous les Français sachent un métier », mais dans le champ d'une concurrence économique internationale : « la force d'une nation environnée de nations commerçantes dépendant... de l'industrie de ses habitans » (1). On est éclairé sur les initiatives pédagogiques d'Hassenfratz à l'École polytechnique en 1799 par un discours optimiste de Gayvernon prononcé également le 7 pluviôse : « La géométrie descriptive de la première année est terminée par un cours d'éléments des machines... Personne n'était encore parvenu à décomposer les machines faites et à faire, de manière à en déterminer les élémens ; c'est un cours absolument neuf que l'on doit à la réunion des lumières des hommes instruits qui composent l'enseignement de l'école ; ce travail a été fait par le C^{ra} Hassenfratz qui est chargé de cette partie de l'enseignement. Ce cours ramenant la construction des machines à la simplicité qui leur appartient procurera aux arts, aux manufactures et à l'industrie française les perfectionnemens qu'ils auraient inutilement attendus ailleurs » (2). Fourcy précise qu'effectivement 27 leçons d'*éléments des machines* furent délivrées en 1799 aux élèves de première année (3). Mais Hassenfratz n'a pu unir, dans un même enseignement, physique et composition des machines. Les notes de cours manuscrites conservées à la bibliothèque de l'École, prises à ses leçons de physique ne répondent pas aux partis précédents. On sait seulement qu'il encouragea et conduisit des visites d'ateliers. Quant au calcul de l'effet des machines, les mécaniciens de l'École le revendiquaient, sans qu'ils eussent au demeurant acquis une grande sûreté méthodologique. En 1811, le Conseil de perfectionnement souhaitait encore que le cours de mécanique « renfermât un plus grand nombre d'*applications du calcul à l'effet des machines*, tout en ne dissimulant pas combien le choix des exemples demandait de travail et de recherches, pour être réduit à ce qu'il peut offrir de plus utile, et ne contenir que des résultats dont la vérité soit incontes-

(1) *Ibid.*, p. 241.

(2) *Ibid.*, pp. 253-54.

(3) *Histoire de l'École polytechnique*, Paris, 1828, p. 376. L'explication des machines sera encore annexée au cours de géométrie descriptive dans le programme de 1807. Il y est prévu entre autres, l'étude « des machines simples, du mouvement circulaire, du mouvement rectiligne, du mouvement de va et vient ; de la forme des machines par lesquelles ces mouvements se combinent deux à deux ; division de ces machines en dix séries... » (*Conseil de perfectionnement*, 6 novembre 1807, fol. 21). L'explication des machines bénéficiera des classifications systématiques de Lanz et Bétancourt. « Les instituteurs de géométrie descriptive présentèrent au Conseil d'instruction, pour tenir lieu du précis des leçons sur les élémens des machines, dont ils étaient aussi chargés, l'ouvrage encore manuscrit de Lanz et Bétancourt intitulé *Essai sur la Composition des Machines*. Les auteurs en offraient la propriété à l'École, aux conditions qu'elle pourvoirait aux frais d'impression et de gravure, et qu'il leur en serait remis deux cent cinquante exemplaires. L'offre fut acceptée. (Fourcy, *op. cit.*, p. 278). Charles Laboulaye dira de cet ouvrage, en 1848 : « ce travail est un important pas de fait, mais il est inouï que depuis quarante ans on se soit le plus souvent contenté de le copier, sans jamais tenter de l'améliorer. Il est pourtant bien insuffisant et offre de très grands défauts... borner la composition des machines à la transformation des mouvements... confondre le moteur physique qui imprime le mouvement avec la machine... enfin, le travail de MM. Lanz et Bétancourt, conçu sans vues scientifiques, n'offre rien de satisfaisant à l'esprit, ne peut servir de base à aucun enseignement rationnel » (*Association polytechnique, Cours de cinématique*, Séance d'ouverture, 7 janvier 1848, pp. 18-19). Laboulaye cherche manifestement à justifier sa propre entreprise qu'il inspire des conceptions exprimées en 1830 par AMPÈRE dans son *Essai sur la philosophie des sciences* : la cinématique « doit renfermer tout ce qu'il y a à dire des différentes sortes de mouvement, indépendamment des forces qui peuvent les produire ».

table » (1). Il est vrai qu'il faudra l'invention du frein de Prony pour disposer d'une technique sûre de détermination de l'« effet dynamique des machines de rotation », ou de la « quantité d'action fournie par un moteur », selon que l'on adopte la terminologie de Prony (2) ou celle de Fourneyron (3). Il semble bien, en définitive, que Hassenfratz, d'ailleurs sollicité par d'innombrables tâches, n'a pu réaliser et imposer l'autonomie d'un enseignement de la technologie à l'École polytechnique. Le projet d'une science unitaire de l'activité manufacturière était peut-être cohérent dans ses visées, il ne pouvait l'être dans ses moyens ; aussi Hassenfratz dut-il se résigner à la dispersion de son programme entre plusieurs enseignements dont chacun mettait en œuvre un outillage conceptuel distinct et provisoirement insuffisant. Il faudra attendre Poncelet pour que soit fondée une théorie scientifiquement achevée du « meilleur établissement des machines » (4), il faudra que se constitue la cinématique des opérateurs, selon les vues d'Ampère, pour que la construction des machines et de l'ordre machinal s'affranchisse du poids de l'empirie.

La convulsion révolutionnaire n'en excite pas moins une nouvelle réticulation des activités industrielles et réclame des talents scientifiques leur application aux problèmes économiques. « Les Arts mécaniques et chimiques liés aux sciences par la pratique et la théorie... sont peut-être de toutes les occupations humaines, celles dont la Révolution française a le plus favorisé le succès. On sait assez l'activité qu'ont prise depuis trois ans les manufactures de tous les genres », s'écrie Fourcroy devant le Lycée des Arts en avril 1793 (5). Cependant, cet accroissement de l'activité industrielle serait sans lendemain, si elle n'était soutenue par une nouvelle organisation pédagogique ; « l'éducation nationale a besoin de s'appuyer sur des bases entièrement nouvelles », affirme Lindet (6) ; et ces bases, les réformateurs cherchent à les définir avec passion, car il ne s'agit de rien moins que de régénérer l'humanité dans le rayonnement de Paris, source de la révolution, mais aussi « asyle de toutes les connoissances

(1) FOURCROY, *op. cit.*, p. 304.

(2) Note sur un moyen de mesurer l'effet dynamique des machines de rotation par M. de PRONY, s.d., « ... donner la mesure de l'effet dynamique... d'un système tournant, par le poids et la position d'une masse qu'on maintient dans un état d'immobilité ».

(3) FOURNEYRON, dans son *Mémoire sur l'emploi du frein de M. de Prony*, note l'intérêt que la méthode introduira dans les contestations entre fabricants de machines à vapeur ou de roues hydrauliques et utilisateurs. *Annales de l'industrie française et étrangère*, Paris, 1829, p. 145. Il est remarquable que l'introduction d'une méthode objective d'évaluation des puissances motrices a coïncidé avec la fondation de l'École centrale des arts et manufactures, le développement des chemins de fer, et la floraison de toute une littérature d'information technologique (*vide infra*, pp. 65-66).

(4) Le problème est posé dans le *Cours de mécanique appliquée aux machines* (éd. litho., 1836), éd. 1874, p. 50 : « Conditions du meilleur établissement des machines, rendre au maximum l'effet utile ou la quantité d'ouvrages confectionnée, et au minimum la dépense en travail moteur et en argent ; de sorte que l'unité d'ouvrage de chaque espèce soit fournie au moindre prix possible ».

(5) *Discours sur l'état actuel des Sciences et des Arts dans la République Française* prononcé à l'ouverture du Lycée des Arts le dimanche 7 avril 1793, l'an second de la République, par A.F. FOURCROY, in *Journal des inventions et découvertes*, vendémiaire, an IV, p. 65.

(6) *Instruction sur la manière d'inventorier et de conserver dans toute l'étendue de la République, tous les objets qui peuvent servir aux arts, aux sciences et à l'enseignement*, proposée par la Commission temporaire des arts et adoptée par le Comité d'Instruction publique de la Convention nationale, Paris, an II, p. 2.

humaines et le dépôt de tous les trésors de l'esprit... c'est à Paris qu'il faut rassembler tous les monumens des sciences et des arts... dont l'étude seule peut former le dernier degré de l'instruction publique : c'est là qu'il faut organiser pour les siècles et pour l'univers l'école suprême de l'homme » (1). Tout aussi urgente, l'organisation des premiers degrés demande les soins du législateur. Contre ceux qui rêvent d'une éducation sentimentale nourrie du symbolisme des fêtes (2), Hassenfratz réclame une sévère éducation professionnelle : « On néglige dans l'instruction publique la partie la plus essentielle, celle du développement de l'industrie nationale, l'éducation des arts et métiers, et l'on remplace cette éducation par des fêtes » (3). Les projets d'institution d'un enseignement public des arts et métiers furent effectivement étudiés. Lavoisier et Monge ne dédaignèrent pas de s'en occuper. Les *Réflexions* adressées à la Convention par le *Bureau de consultation des arts et métiers* préconisent l'organisation de trois enseignements fondamentaux pour ceux qui se destinent à la pratique des arts, savoir « dessin, géométrie graphique ou descriptive, chimie applicable aux arts » (4). Ainsi, se décide une répartition qui s'imposera durablement dans la plupart des écoles techniques. Le rapport prévoit certes la difficulté de traiter des « arts que l'on peut considérer comme mixtes et emploient à la fois des instrumens mécaniques et des agens chimiques », mais ce qui importe avant tout, c'est que l'enseignement soit réduit à un système analytique. Les rapporteurs insistent sur ce que toute machine est « susceptible d'être décomposée, d'être réduite en élémens simples » et distinguent dans leur examen le calcul de la force, objet de la mécanique théorique, de « la direction de l'agence et le moyen dont la force est appliquée ». Ce qui est proprement l'objet de la « mécanique pratique, science qui n'existe point encore ou du moins

(1) *Quelques idées sur les arts, sur la nécessité de les encourager, et sur divers Etablissements nécessaires à l'enseignement public*, Paris, l'an II, pp. 164-65.

(2) On connaît les thèmes exposés au début de juin 1793 par Lakanal, rapporteur du Comité d'instruction publique (*Archives parlementaires*, Mavidal et Laurent, LXXVIII, 507). Les propositions ne furent pas adoptées par le pouvoir législatif ; mais on en trouve des échos dans de nombreux libelles, par exemple dans *De l'éducation dans les grandes républiques*, par J.G. LABENNE, an III : « Voulez-vous que votre constitution soit impérissable ?... Donnez vous des institutions civiles ; créez une morale publique ; établissez des rites nationaux ; organisez des fêtes républicaines ; paltrissez sous vos mains l'opinion publique tandis qu'elle se prête encore à toutes vos impressions », p. 239. Ce goût de la fête dont les témoignages sont innombrables atteste le dynamisme organisateur de la Révolution qui, par la suite, sera dévié dans la planification industrielle de la société libérale également travaillée par de grands mythes.

(3) *Réflexions sommaires sur l'éducation publique* par le républicain J.H. HASSENFRTZ, s.l.n.d., p. 6. - Le même texte est reproduit dans le numéro dix du *Journal du Lycée des arts*, en date du 29 juin 1793. L'auteur se plaint amèrement que les Arts aient été oubliés dans le *Plan d'Education* soumis à la Convention par le comité renouvelé d'instruction publique ; pour lui les fêtes « belle idée métaphysique » ne peuvent être prises en considération que chez un « peuple isolé » ; leur organisation détourne le pays de la compétition économique européenne : « prenons garde que pendant que nous nous occupons à organiser des fêtes, nos voisins n'organisent leur industrie et ne détruisent nos manufactures et notre commerce. Ce n'est pas avec des fêtes que les Anglais sont parvenus à acquérir une grande prépondérance dans la balance politique de l'Europe ». La planification économique et industrielle lui semble un but en soi ; par là, il se sépare du jacobinisme rhétorique et annonce le rationalisme technocratique : « La plus belle fête que l'on puisse donner à la République Française est d'organiser l'*Education des Arts et Métiers*, de donner un grand essor à l'industrie nationale, de l'activité à nos fabriques, à notre commerce... », p. 16.

(4) *Réflexions...*, par le *Bureau de consultation des arts et métiers*, Paris, s.d. [1793], p. 19.

sur laquelle il n'a point été rédigé de traité méthodique et élémentaire ». Nous retrouvons ici le point de vue de Condorcet sur la science des configurations. Cependant, les rapporteurs prétendent faire régner la même clarté dans l'enseignement de la chimie industrielle : « Le professeur fera voir que les opérations chimiques relatives aux arts peuvent se classer, se décomposer comme les machines... » (1). Ce souci de réunir en une théorie analytique les nombreuses opérations des arts, on le voit encore apparaître dans la *Pétition du Directoire du Lycée des Arts* signée de Lavoisier et Désaudray : « Tous les arts et métiers, malgré leur grande variété, se rapportent à un très petit nombre de principes qui n'exigent peut-être pas beaucoup plus d'intelligence et de travail que les objets destinés à être enseignés à l'école primaire. On pourroit donc facilement instituer des écoles primaires de ces différens principes applicables à tous les arts qui en dépendent » (2). Mais c'est sans doute dans les rares, mais fermes, textes de Monge sur l'enseignement que nous pouvons le mieux percevoir l'espérance mûrie d'une révolution pédagogique. Il avait certes un instrument tout neuf de représentation et d'investigation à offrir aux spécialistes de la mécanique pratique dont nous venons de voir que des traités leur faisaient défaut. Sa géométrie descriptive qu'il enseigne à l'École normale et à l'École polytechnique, il la présente comme « un moyen de chercher la vérité... propre à exercer les facultés intellectuelles d'un grand peuple et à contribuer par là au perfectionnement de l'espèce humaine » (3). S'il professe une telle confiance dans les vertus de sa géométrie, c'est qu'il entrevoit qu'elle pourrait modifier radicalement les caractères de la production manufacturière. Non seulement, elle doit faciliter considérablement la construction des machines « au moyen desquelles l'homme mettant à contribution les forces de la nature, ne se réserve, pour ainsi dire, dans ses opérations d'autre travail que celui de son intelligence » (4) ; mais encore, en introduisant dans les esprits des exigences d'exactitude, elle répandra le besoin de la normalisation des procédés et parlant l'uniformité des productions. « Il faut diriger l'éducation nationale vers la connaissance des objets qui exigent de l'exactitude... accoutumer les mains de nos artistes au maniement des instrumens de tous les genres qui servent à porter la précision dans les travaux, et mesurer ses divers degrés » (5). Que l'étude de la géométrie fût inséparable d'un bénéfice moral, c'était là un thème rebattu de la pédagogie depuis un siècle, mais c'est un thème neuf que développe Monge quand il prédit que désormais « les consommateurs devenus sensibles à l'exactitude pourront l'exiger dans les divers ouvrages » (6). Proposition significative qui préfigure, en pleine crise de production, le langage de l'économie industrielle la plus prospère, et annonce de nouveaux rapports entre l'homme et l'objet fabriqué ; celui-ci s'offre désormais comme la solution répétée avec la

(1) *Ibid.*, p. 18.

(2) Pétition présentée à la Convention nationale sur l'Instruction publique par le Directoire du Lycée des Arts in *Journal du Lycée des Arts*, n° 11, 15 juillet 1793.

(3) G. MONGE, *Géométrie descriptive*, Paris, 1811, pp. viii-ix.

(4) *Ibid.*, p. ix.

(5) (6) *Ibid.*, p. vii.

meilleure approximation possible d'un problème qui comporte théoriquement une solution idéale. Tel objet qui contient en lui les puissances du calcul, il ne restera plus qu'à le soumettre aux conditions formelles du fonctionnalisme esthétique développées par Dupin en 1824 (1) pour entrer de plain-pied dans l'ère de la machinofacture moderne ; la possibilité de notation de toutes les opérations productrices permet dès lors de jeter sur un marché une population d'objets identiques, qui sera sans lendemain, du jour où un des déterminants de la notation aura changé, tandis que l'objet d'extraction artisanale peut naître identique en des temps et des lieux éloignés qui ne se connaissent pas.

Avec Monge, se constitue une théorie complète et universelle de la représentation des objets « susceptible d'une définition géométrique ». De cette impeccable description graphique des corps, il peut « déduire tout ce qui suit nécessairement de leurs formes et de leurs positions respectives » (2), c'est-à-dire qu'il peut notamment décrire les projections et les sections de tel corps donné, dans différents sites, mais encore déterminer la forme d'un modèle qui satisfasse à telles conditions préalablement formulées. La théorie de Monge crée un langage universel de description ou de conception de modèles communicables, intelligibles. Le prestige dont jouira ce système entraînera par un effet d'induction le développement du dessin linéaire qui tendait d'ailleurs à s'imposer pour des motifs extratechnologiques. Le dessin que Degérando, définit la « philosophie des sens » (3) est considéré alors comme un langage, un système de signes. Il apparaîtra avec évidence comme le médiateur nécessaire entre le projet technique et l'objet, et devra donc être enseigné non seulement aux ingénieurs (4) mais « surtout aux gens du peuple dont les travaux consistent presque toujours à imiter des formes » (5). Cette imitation n'est industriellement satisfaisante que si elle se conforme à des normes d'exactitude rigoureuse et de précision qui ne peuvent être exprimées que par le dessin linéaire, en attendant que

(1) C. DUPIN, *Aux manufacturiers et aux chefs d'atelier, dédicace précédant le Discours d'ouverture d'un cours de mécanique appliquée aux arts*, le 11 novembre 1824 : « ... faire acquérir aux produits de l'industrie les qualités qui les rendent désirables : 1° La convenance rigoureuse des formes, d'après l'usage que les produits sont destinés à remplir ; 2° l'élégance et la beauté de ces formes, résultat d'un choix heureux des justes proportions que doit recevoir chaque partie, pour concourir à la perfection de l'ensemble ; 3° la précision du dessin, la continuité bien sentie des contours et des superficies, l'exactitude des joints, la solidité des assemblages, le beau poli des surfaces. Toutes ces qualités des produits de l'industrie ne peuvent être obtenues que par des procédés empruntés aux règles, aux méthodes de la géométrie ». *Annales de l'industrie nationale et étrangère*, t. XVI, n° 59, p. 196.

(2) *Op. cit.*, p. VIII.

(3) *Des signes et de l'art de penser considérés dans leurs rapports mutuels...* par J.M. de GERANDO, t. II, Paris, an VIII, p. 391.

(4) Neveu, instituteur de dessin à l'Ecole polytechnique déclarait, le 7 pluviôse an VII, que, « c'est par le secours du dessin qu'ont été conservées et transmises une multitude d'inventions utiles aux arts, aux manufactures, au commerce, à la guerre. L'ingénieur qui ne s'est point rendu familier ce moyen de fixer sa pensée, expiera par de longs regrets les suites de sa négligence », *op. cit.*, p. 250.

(5) *L'enseignement du dessin linéaire d'après une méthode applicable à toutes les écoles primaires*, par L.B. FRANÇOIS, 2^e éd., Paris, 1827, Développemens préliminaires, p. 1.

les procédés partiellement automatiques déchargent les ouvriers d'une bonne part de leur pouvoir de jugement sur les objets fabriqués (1).

A la même époque, les vertus d'une organisation (2) administrative des activités industrielles s'imposent clairement en France. Les inlassables initiatives du Comité de Salut public qui réquisitionne les savants, réussissent à mettre sur pied une efficace industrie de guerre. L'intervention de l'Etat dans les affaires de manufacture ne date cependant pas de cette époque critique. Il est à peine besoin d'invoquer le dirigisme de Colbert qui prescrivit quantité de règlements et de spécifications, souvent ressentis comme des entraves économiques ; on peut rappeler l'enquête ordonnée par le Régent en vue d'inventorier les ressources du pays qu'avaient affaibli les guerres de Louis XIV ; il y a encore lieu de noter les intentions politiques qui inspirèrent la rédaction du *Dictionnaire de Commerce* de Savary, ou les préoccupations de Turgot. Le pouvoir de l'ancien régime avait établi en province des inspecteurs des manufactures et délégué des missions chargées d'enquêter à l'étranger sur les procédés de l'industrie (3). Certains de ces inspecteurs accomplirent de remarquables tâches de documentation ; ainsi, Roland de la Platières, le futur ministre de l'Intérieur, qui publiera trois volumes de l'*Encyclopédie méthodique*, consacrés à l'industrie textile. Il nous a laissé un tableau des devoirs de son état, tels qu'il se les représentait en 1777, alors qu'il n'était qu'élève-inspecteur des manufactures : « L'Inspecteur est l'homme du Conseil, envoyé dans les Provinces, pour

(1) Poncelet insistera en 1857 sur la « régularité et la rigoureuse précision des formes qu'apportent toujours avec eux les procédés automatiques », *Travaux de la Commission française sur l'industrie des nations*, op. cit., t. III, p. 50.

(2) Dans sa *Critique du jugement*, KANT note que « dans la transformation totale récemment entreprise d'un grand peuple en un Etat, on s'est fréquemment servi du terme organisation... Dans un pareil ensemble, chaque membre doit être non seulement un moyen, mais aussi une fin ; et tout en contribuant à la possibilité de l'ensemble, déterminé à son tour par l'idée même de cet ensemble, dans sa situation et dans sa fonction propre » (trad. GIBET).

Le thème biologique de l'organisation sera complété dans l'idéologie jacobine par l'argument antagoniste de la désorganisation. Auguste Comte définira en 1822 le système social contemporain par une compétition entre « deux mouvements... l'un de désorganisation, l'autre d'organisation », in *Opuscules de philosophie sociale* (1819-1829), Ed. E. Leroux, Paris, 1883, p. 60.

(3) Le métallurgiste G. Jars consacre un long temps à visiter les pays miniers ; son intérêt s'est porté, entre autres, sur la région de Banská Štiavnica, qui est alors, avec Freiberg, le plus notable centre d'enseignement minier. Comme le dit Jozef Vlachovič, « il saisit bien le fait qu'une simple empirie ne suffit plus au perfectionnement de la technologie métallurgique. Ainsi, il indiqua indirectement, combien il est indispensable d'organiser un établissement d'enseignement spécialisé notamment pour l'éducation dans le domaine de la chimie et de la métallurgie ». L'enseignement technique supérieur des mines en Slovaquie au XVIII^e siècle, in *Acta historiae rerum naturalium nec non technicarum*, Prague, 1965, Special issue I, p. 62. — C'est Jacquin qui créa en 1663-64 un premier laboratoire d'enseignement de chimie à l'école des mines de Banská Štiavnica, initiative qui anticipe dans le domaine de la pédagogie sur celle d'un Liebig à Giessen. En se référant à cet exemple, Fourcroy recommande l'institution, à l'Ecole centrale des travaux publics, de « cette méthode qui a le double avantage de faire concourir tous les sens à la fois aux progrès de l'instruction et de fixer l'attention des élèves sur une foule de circonstances qui échappent presque toujours dans les leçons, ou aux professeurs, ou aux auditeurs » (*Gazette nationale ou le Moniteur universel*, n^o 8, octidi 8, vendémiaire l'an 3). — Autre voyage d'étude à signaler ici, celui de HASENFRATZ qui rappelle dans sa *Sidérotechnie*, Paris, 1812, que le gouvernement français le chargea en 1782, « conjointement avec Stultz et Lefebvre d'Hellencourt, d'aller étudier l'art de fabriquer le fer et l'acier dans les usines de la Styrie et de la Carinthie ».

examiner l'état des arts et du commerce, pour observer les causes de la lenteur des progrès de ces différentes parties ; rechercher les moyens propres à leur donner de l'extension & à les conduire à la perfection dont elles sont susceptibles. Il est question du bien public & cette espérance doit leur élever l'âme... Il faut qu'un tel homme ait reçu une éducation mâle & vigoureuse, dont la vie frugale, laborieuse & sans faste soit le fruit ; que l'urbanité de ses mœurs l'annonce & qu'un désintéressement absolu le caractérise. Son extérieur sera modeste ; son âme sensible et humaine. Échauffé de l'amour du bien, il n'aura que cet objet en vue, il s'y adonnera tout entier... » (1).

Qu'une description méthodique des ressources d'un pays et des aptitudes de l'organisme social doive précéder toute décision économique importante, c'est là une idée contagieuse à la charnière des deux siècles. Le travail se définit progressivement comme une fonction sociale et Saint-Simon écrira, en 1818, dans l'*Industrie* que la politique est la « science de la production ».

A la faveur de l'unification des mesures qu'avait décrétée la Convention, et de la centralisation corrélatrice des pouvoirs, des services de statistique seront mis en place. S'agissait-il de dénombrer des productions définies, la tâche n'offrait pas de difficulté insurmontable (2) ; elle était moins facile quand il importait d'évaluer des forces de production mal déterminées, incomplètement développées ; leur recensement n'offre alors que des tableaux de configurations opaques. On ne peut, du jour au lendemain, fonder une statistique des virtualités sans le secours, toujours contestable, de présupposés économétriques. Aussi, n'y a-t-il pas lieu de s'étonner qu'aient été formés à l'époque révolutionnaire des projets de décrire, dans leur entière variété, l'ensemble des propriétés du pays considéré comme un immense organisme. Telle était bien, semble-t-il, l'intention de Siauve, quand il demandait en l'an V qu'on instituât une *Société ambulante de technographes*. Les membres auraient eu pour mission, de « parcourir les campagnes, peindre les sites, décrire les monuments, visiter les ateliers, pénétrer dans les entrailles de la terre, interroger la nature, analyser ses différentes productions, lui arracher en quelque sorte ses secrets les plus cachés » (3). Leurs investigations auraient eu pour fin de déterminer l'ampleur efficace des « secours du gouvernement aux manufacturiers et aux artistes » ; ils eussent été les auxiliaires du progrès technique en aidant à « perfectionner

(1) Lettre de M*** écrite de Naples, le 10 janvier 1777, à M*** Elève Inspecteur des Manufactures en France, in *Lettres écrites de Suisse, d'Italie, de Sicile et de Malthe à Mlle **** à Paris, en 1776, 1777, 1778. Amsterdam, t. IV, 1780, pp. 322 et 336.

(2) En théorie, du moins ; car, l'établissement des statistiques industrielles rencontre communément la défiance des manufacturiers ; cf. C.A. COSTAZ, *Essai sur l'administration de l'agriculture, du commerce, des manufactures et des subsistances*, Paris, 1818, p. 103.

(3) E.M. SIAUVE, *Projet d'établissement d'une société ambulante de technographes*, Paris, an V, p. 17. L'idée de Siauve apparaît déjà dans le programme du *Journal des arts et manufactures* (publié sous la direction de la Commission Exécutive d'Agriculture et des Arts), Paris, an III, « rassembler tous les matériaux qui pourront former à la longue une bonne géographie industrielle de la France », p. 15. Hassenfratz avait déclaré devant le Comité d'Instruction publique, lors de sa 48^e séance le 12 mars 1792, à propos de l'enseignement de la géographie élémentaire, qu'il importait de « familiariser de bonne heure les jeunes gens avec les idées des relations industrielles que les Français peuvent avoir avec les diverses nations », GUILLAUME, *Procès verbaux*, p. 146.

les différentes méthodes » industrielles, et ils auraient amélioré enfin l'état social, en se préoccupant au cours de leurs enquêtes d'« amplifier l'instruction, lui associer cette morale pratique qui est à la portée de tous les esprits ; affranchir tous les hommes du joug des préjugés... » (1), le tout grâce à la collaboration de « citoyens doux et paisibles propres à développer (ces) principes et à propager (les) découvertes » (2).

La pensée de cette évangelisation technographique, on la retrouve plus mûrie dans un texte à peine postérieur de Chaptal, son *Essai sur le perfectionnement des arts chimiques en France*. Il s'y préoccupe de définir le « système de conduite bien approfondi » que le gouvernement doit suivre pour développer la richesse industrielle de la France. Pour lui, la police des manufactures se réduit « à trois moyens également faciles. Le premier de tous consiste à former des fabricans éclairés. Le second se borne à rendre la fabrication plus économique. Le troisième a pour but d'indiquer aux fabricans sur le sol de la République, les emplacements les plus convenables aux divers genres de fabrication » (3). Dans le détail, il prône toutes sortes de mesures qui répondent assez bien à un projet de libéralisme économique contrôlé. L'action du gouvernement ne sera jamais contraignante, elle vise à orienter l'utilisation des capitaux dont il faut encourager l'investissement — en écartant le « mauvais système d'administration qui ne voyoit dans les fabriques qu'une source d'impôts et jamais la base principale de la prospérité publique » (4). L'intérêt du pouvoir est encore de stimuler la fécondité d'invention et développer les talents professionnels. « Le seul moyen qu'a le Gouvernement de s'acquitter envers les artistes de la dette sacrée de leur éducation ; c'est de former pour eux des écoles d'instruction pratique qui répondent à la grandeur et à l'intérêt de l'objet ». Et il appelle de ses vœux la formation « de grans établissemens qui embrasseraient la totalité des opérations qui appartiennent aux fabriques » (5). Enfin, la diminution des frais de main-d'œuvre fera la prospérité du fabricant qui développera dans ses ateliers la mécanisation des tâches et la division du travail : « l'ouvrier qui reste toujours attaché à l'exécution de la même partie contractera tellement l'habitude du même travail qu'il fait mieux et plus vite » (6). Les mêmes thèmes se trouvent repris dans le volumineux essai *De l'industrie française* où il examine

(1) *Ibid.*, p. 17.

(2) *Ibid.*, p. 13. SIAUVE a également publié un *Projet sur les Etablissemens publics constitués pour les sciences et les arts*, s.d., dans lequel il souhaite la création d'un Ministère des sciences et des arts (p. 3). Idée qui était dans l'air ; on lit dans le second numéro du *Journal des Sciences, arts et métiers*, en date du 29 janvier 1792, que « Les sociétés réunies des Inventions, du Point central, de la Commune des arts et d'autres travaillant en commun à la rédaction d'un plan général d'organisation des Arts et des Sciences pour tout le Royaume... », p. 13.

SILVESTRE prônera en l'an VII que l'on adjoigne au Collège de France, une « université de degré supérieur » où l'on enseignerait « quelques parties négligées telles que le commerce, les arts et métiers, l'économie rurale... » in *Rapports généraux des travaux de la Société philomathique de Paris*, IV, p. 86.

(3) *Essai sur le perfectionnement des arts chimiques en France*, par J.A. CHAPTAL, Paris, an VIII, p. 3.

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

(5) *Ibid.*, p. 19.

(6) *Ibid.*, p. 50.

les moyens de relever l'économie nationale au lendemain de la Restauration. S'il rompt des lances en faveur de la mécanisation des opérations industrielles (1), c'est tout en rappelant les initiatives qu'il avait prises, du temps qu'il était ministre, telles que l'institution d'une statistique générale de la France (2), la protection accordée à la toute récente « Société d'encouragement », et l'organisation d'expositions périodiques des produits de l'industrie agricole et manufacturière. Ainsi, se trouve préfiguré, dans ses grandes lignes, ce que sera le XIX^e siècle manufacturier et son « élan industriel » dont Saint-Simon est à la même époque le prophète exalté (3).

La même année que l'essai de Chaptal sur l'industrie française paraît un ouvrage qui, dans une étape déjà avancée de la révolution industrielle, donne une formulation des problèmes liés à l'activité technique de l'homme ; le *Plan de technonomie* (4) du premier directeur du Conservatoire national des arts et métiers, Gérard-Joseph Christian. Quoique parfaitement inconnu, (il n'est cité par aucune bibliographie, mentionné par aucune histoire de la technologie) le

(1) « L'industrie manufacturière... a opéré un changement total de nos mœurs, nos lois, nos relations... » *De l'industrie française...*, Paris, 1819, t. 1, p. xiv. « L'application des machines aux travaux de l'industrie a décuplé le travail de la main-d'œuvre en Angleterre, ce qui a singulièrement augmenté la production... » *Ibid.*, p. 89. Peu à peu, l'« écart technologique » des pays continentaux avec l'Angleterre se réduira dans le premier tiers du siècle. La puissance industrielle de l'Angleterre dépendra alors au premier chef de ses ressources en capital. Vers 1825, ce sont des facteurs purement économiques qui limiteront le développement de certaines techniques industrielles ; ce n'est pas l'utilisation de la science par l'ingénieur qui pose problème aux polytechniciens, mais plutôt l'utilisation de l'ingénieur par l'industrie. L'impact du machinisme était parfaitement bien ressenti dans les écoles supérieures techniques : témoin, cet extrait d'un discours académique prononcé à Delft en 1830 : « La question n'est pas, Messieurs, de nous demander si nous approuvons ou réprouvons la stupéfiante révolution qui a déferlé sur le monde par l'application des machines, s'il faut l'accepter ou la rejeter. La révolution s'est accomplie ; ses suites agissent encore et sont même loin d'avoir atteint leur pleine maturité. Des événements d'une telle ampleur ont besoin de plusieurs siècles pour déployer la gamme entière de leurs conséquences, qu'elles soient parallèles ou contraires au système entier des affaires humaines. Il est dès lors de la plus grande importance de ne pas se laisser entraîner, inertes et les yeux fermés, par le courant d'un tel événement, mais au contraire de l'éclairer dès le début de la lumière de notre entendement et de notre perspicacité et de nous tenir sur nos gardes. Une telle attitude nous confèrera la compétence d'agir lorsque le besoin se fera pressant ; le pouvoir de gouverner là, où autrement nous n'aurions été qu'un vil instrument ; et finalement la capacité d'infléchir les forces qui ébranlent et agitent la communauté des peuples et cela de telle manière qu'au lieu de nous entraîner à leur suite, elles règlent leur rythme sur les progrès communs d'une existence sociale bien organisée et tendant vers une harmonie interne ». Discours sur « l'influence des machines sur l'ensemble des rapports sociaux et civils », prononcé en 1830, cité par H. J. WOLTER, *La liberté académique et l'ordre universitaire*, in *Enseignement supérieur et recherches scientifiques aux Pays-Bas*, 1965, vol. IX, n° 4, p. 4.

(2) « A peine parvenu au ministère de l'intérieur, j'éprouvai le besoin de connaître toutes les richesses de notre belle France, et conçus le projet de travailler à une statistique générale ». *Ibid.*, p. xxiv.

(3) Dans son *Industrie littéraire et scientifique ligée avec l'industrie commerciale et manufacturière*, Paris, 1817, A. THIERRY qui s'intitule « Fils adoptif de M. Saint-Simon » proclame qu'« une nation n'est autre chose qu'une grande société d'industrie » (p. 66), et que « l'industrie éclairée est essentiellement morale » (p. 32). Cette idée que les opérations et les produits de l'industrie sont d'essence morale, incarnent de l'énergie morale sera un des thèmes favoris des scientistes. « C'est en vain qu'on cherche à séparer l'homme de ses œuvres... on est émerveillé des résultats dus aux machines... Ce sont jusque dans les plus simples et les plus grossiers détails des prodiges de force vive, de force morale... ». F. P'ASSY, *Les Machines et leur influence sur le développement de la société*, Paris, 1866, p. 91.

(4) *Vues sur le système général des opérations industrielles ou Plan de technonomie*, Paris, 1819.

Plan de technonomie est un des ouvrages les plus riches, les plus mûrs et les plus philosophiques de cette histoire.

Il est vrai que le terme n'est plus le même. Pourquoi technonomie substituée à technologie ? Si Christian forge ce vocable, c'est dans une vue critique : la technonomie est une *critique de l'évolution historique de la technologie*. Le court historique de cette dernière — retrouvé et réinventé, presque textuellement quelque cinquante ans plus tard par Karmarsch qui, naturellement, ignorait Christian — analyse la réalisation des projets des technologues. Si les premières connaissances, telles qu'elles sont exposées, par exemple, dans divers *Théâtres de machines*, restèrent longtemps « un recueil de faits isolés, de documents pratiques... qui occupaient la mémoire sans exercer la raison » (1), la tentative de leur organisation rationnelle devait être précédée par un découpage de la pratique d'un métier en une suite d'opérations : on se proposait d'abord d'« examiner les détails dont se composent les différents arts et de les décrire chacun en particulier, en cherchant pourtant à expliquer les motifs de chaque procédé, et à montrer comment il se lie à celui qui précède, comme à celui qui le suit dans le même art. C'est ainsi qu'on rangea, dans une sorte d'Encyclopédie, les divers travaux industriels, avant de penser à les classer d'une manière régulière » (2). Cette période qui englobe en particulier les *Descriptions* et l'*Encyclopédie*, procédait donc par dissection des arts en éléments opératoires, en suivant fidèlement la pratique d'un art donné, sans s'interroger sur les similitudes des opérations elles-mêmes. Ce niveau de l'analyse descriptive n'est pas dépassé — on l'a vu à propos de Beckmann — dans le travail effectif des technologues : « lorsque l'industrie s'étendit de toutes ses parties, que les faits et les observations se multiplièrent, que l'administration publique eut à se prononcer journallement sur ses intérêts, on sentit la nécessité de présenter, sous des formes didactiques, les connaissances pratiques qu'on avait recueillies sur les arts ; on écrivit des traités de technologie, et on les vit, surtout en Allemagne, exposés dans des cours publics, à côté des branches les plus importantes des connaissances humaines (3). Mais en ce qui concerne la manière dont les métiers sont décrits dans ces traités, on ne peut pas les regarder « comme autre chose qu'un arrangement, une simple classification systématique des procédés des arts » (4). La technologie beckmanienne, dans sa réalisation, se borne à reproduire un enchaînement empirique dans les opérations d'un métier : « on y chercherait en vain des faits généraux, des déductions théoriques et fécondes, en un mot, une doctrine qui les domine et les embrasse tous » (5). En absence d'une telle doctrine, elle ne fait que juxtaposer les métiers différents ; « chaque art a eu son traité particulier et une place arbitraire ; de sorte qu'on peut apprendre à connaître tous les détails de l'un, et n'avoir aucune

(1) *Ibid.*, p. 35.

(2) *Ibid.*, p. 34-35.

(3) *Ibid.*, p. 35.

(4) *Ibid.*, p. 35.

(5) *Ibid.*, p. 35.

nolion, ni du précédent, ni du suivant : car il faudrait pour cela qu'ils fussent éclairés par une lumière commune » (1). Enfin, les divisions des arts et métiers adoptées par les technologues procèdent soit à partir du but, soit à partir des matières premières, donc de critères extrinsèques, de sorte que « les cours de technologie, tels que nous les connaissons aujourd'hui, ne présentent... qu'une suite de traités particuliers sur les divers arts dont se compose l'industrie générale » (2).

Ces descriptions et classifications ne « creuseront jamais les fondements mêmes de la puissance et des ressources de la production » (3). C'est pourquoi le terme de technologie qui désigne en fait, non un traitement systématique, mais une reproduction des enchaînements empiriques des opérations d'un art, doit être remplacé par technonomie qui accomplirait ainsi ce que la première avait promis sans être en mesure de le réaliser.

Le concept primitif de la technonomie n'est pas celui de l'art, de métier, ni celui de produit ou de manière première. C'est le concept d'*opération*. Sans le savoir sans doute, Christian renoue avec le *Projet* de Beckmann de 1806. Mais tandis que Beckmann était tourné vers le monde clos des arts et métiers, Christian écrit à une époque de transition où le travail artisanal subsiste encore, mais où le mode de travail industriel a acquis une prépondérance qui va en croissant. C'est pourquoi la technonomie est la science des opérations *industrielles* et, en particulier, une science des conditions économique-techniques du processus de l'*industrialisation*.

Les métiers peuvent être divisés en trois classes suivant le mode sous lequel ils s'exercent : soit, ils exigent une attention soutenue, soit ils s'exécutent par une habileté mécanique devenue habitude ; une troisième classe comprend les métiers qui réunissent les opérations appartenant aux deux espèces précédentes. Possible pour les deux dernières catégories seulement, la mécanisation des opérations manuelles peut s'effectuer de deux manières : « soit directement, en faisant faire par un mécanisme les mêmes mouvements que la main, soit indirectement, en substituant une autre combinaison de mouvements propre à faire arriver au même but » (4). Dans le premier cas, la mécanisation suppose que les mouvements de la main ont été décomposés en une succession de gestes dont chacun est appliqué de manière univoque au mouvement que doit exécuter la machine. Mais alors, une opération relativement simple peut souvent exiger un mécanisme trop complexe. Dans le second cas, la technonomie doit proposer un schème opératoire, non à partir de l'articulation des gestes de la main, à laquelle devrait se conformer la machine, mais à partir de la tâche à exécuter elle-même. Il s'agit là d'une véritable invention technologique, consistant dans la détermination de la séquence optimale des opérations techniques en vue d'une tâche donnée : « on aborde franchement toutes les conditions

(1) *Ibid.*, p. 35.

(2) *Ibid.*, p. 36.

(3) *Ibid.*, p. 37.

(4) *Ibid.*, p. 49.

du travail ; ... sans s'embarrasser du mode de travail manuel, on cherche à remplir toutes ces conditions par les voies les plus simples et les plus en harmonie avec les règles de l'économie manufacturière » (1).

Dans la troisième classe des métiers, il convient de séparer les procédés qui relèvent de l'attention, des autres qui sont mécanisables. L'avantage du découpage des opérations d'un art apparaît aussi lorsqu'il s'agit d'établir les principes de l'apprentissage : on sépare ainsi « ce qui doit être indispensablement le sujet d'un apprentissage plus ou moins long, de ce qui appartient tout simplement à la main-d'œuvre, ou de ce qui convient au service des agents de la nature » (2). Laisser à un homme seul le soin de toutes les opérations d'un métier implique un apprentissage long ; « mais qu'on divise méthodiquement ces opérations ; qu'on emploie pour chacune des outils mieux conçus, et le temps d'apprentissage sera très court, et le travail se fera même avec plus de précision et de régularité » (3).

La technonomie est donc l'étude du travail industriel. Elle a comme point de départ, non les principes théoriques, mais le travail à exécuter : c'est à partir de la tâche proposée que le technonome doit chercher les moyens et les instruments les plus appropriés pour l'accomplir : « on ne doit jamais oublier que ce sont les résultats du travail qui intéressent spécialement le technonome ; et parmi la multitude de moyens qu'il peut avoir pour les obtenir, la qualité ou la perfection des résultats, ainsi que l'économie de l'opération, fixent son choix. » (4)

Ce sont les choix économiques qui déterminent des décisions technonomiques et qui définissent la spécificité de la technonomie relativement aux sciences fondamentales. Elle n'en est pas une simple application. Les exigences économiques de l'industrie limitent les choix techniques et bornent le champ d'application des déterminations physico-chimiques des opérations.

Avec Christian, nous sommes au cœur du problème fondamental de la technologie : il s'agit de définir une nouvelle composition du travail humain, centrée non plus sur l'habileté et l'initiative de l'individu manieur d'outils, mais sur l'enchaînement des opérations exécutées par les machines dont l'homme devient l'auxiliaire, l'annexe et même l'instrument. C'est chez Marx, informé des travaux anglais (Babbage et Ure en particulier), que s'articulent selon une nouvelle configuration les idées esquissées par la génération de technologues contemporaine de la mécanisation industrielle. Intégrée dans une autre problématique, l'appréciation critique de la technologie par Marx renvoie aujourd'hui aux théoriciens du machinisme des grandes fabriques ; à Christian notamment, qui a clairement thématiqué le savoir technique et scientifique impliqué dans le travail industriel. Mais les technologues s'ingénient à analyser

(1) *Ibid.*, p. 75.

(2) *Ibid.*, p. 50.

(3) *Ibid.*, p. 51.

(4) *Ibid.*, p. 66-67.

et prédire le développement des processus industriels, à en discerner le profit économique. En se situant hors du cercle de la seule programmation technique et en prenant pour instrument d'appréciation les rapports du travail ouvrier avec les conditions socio-économiques de la production, Marx discerne les tensions qui dans ses vues ne peuvent manquer de se produire et d'aboutir à une désintégration de l'ordre économique capitaliste.

En reprenant à son compte les analyses des technologues et en les complétant, Marx distingue le travail *manufacturier* de la grande industrie moderne. Ce travail est une étape intermédiaire entre l'artisanat et l'industrie : par la fragmentation des opérations, elle prépare la grande industrie, mais cette parcellarisation demeure encore assujettie aux exigences particulières du travail manuel : la technologie reste dans la dépendance de l'organologie. Effectuée d'abord dans la pratique, c'est-à-dire dans les usines elles-mêmes, l'analyse des opérations manufacturières procède dans deux directions : « d'un côté, elle [la manufacture] a pour point de départ la combinaison de métiers divers et indépendants que l'on désagrège et simplifie jusqu'au point où ils ne sont plus que des opérations partielles et complémentaires les unes des autres dans la production d'une seule et même marchandise ; d'un autre côté, elle s'empare de la coopération d'artisans de même genre, décompose le même métier en ses opérations diverses, les isole et les rend indépendantes jusqu'au point où chacune d'elles devient la fonction exclusive d'un travailleur parcellaire » (1). Mais, même cette décomposition accomplie, toute opération s'exécute par la main et doit être conçue en fonction des possibilités anatomiques et physiologiques de l'organe. « L'analyse du procès de production dans ses phases particulières se confond ici tout à fait avec la décomposition du métier de l'artisan dans ses diverses opérations manuelles... Cette base technique n'admet l'analyse de la besogne à faire que dans des limites très étroites. Il faut que chaque procédé partiel, par lequel l'objet de travail passe, soit exécutable comme main-d'œuvre, qu'il forme, pour ainsi dire, à lui seul un métier à part » (2).

Le passage décisif s'opère, selon Marx, en faisant abstraction des organes de l'homme dans l'exécution de la tâche. La technologie commence au moment où l'homme et la machine échangent leurs fonctions : l'ouvrage n'est plus façonné par la main de l'homme s'aidant de la machine ; il est l'œuvre de la machine qui se sert de l'homme. La main humaine comme organe modelant la matière est remplacée par la machine-outil, la machine à faire des machines. C'est l'exécution de l'ouvrage, et non seulement l'augmentation du pouvoir mécanique, qui sont désormais assurées par la machine. La technologie affranchit le travail de la dépendance des particularités de l'organisme vivant qui, cette fois-ci, doit s'adapter à la composition et au rythme du travail collectif fragmenté selon les exigences des mécanismes machinaux (3). C'est donc la

(1) *Le Capital*, trad. fr. de Joseph roy, Paris, 1938-39, II, p. 33.

(2) *Ibid.*

(3) MARX applique cette visée technologique au monde vivant en assimilant les organes aux outils et instruments destinés à assurer la production de la vie : « Darwin a attiré l'attention sur l'histoire de la technologie naturelle, c'est-à-dire sur la formation des organes végétaux et animaux considérés comme instruments de production pour la vie des plantes et des animaux... La technologie révèle le comportement actif de l'homme vis-à-vis de la nature, le processus immédiat de production de sa vie, et par suite, ses relations sociales et les représentations spirituelles qui découlent d'elles ». *Le Capital*, II, p. 65.

machine qui gouverne la décomposition des procédés, en particulier la machine-outil. C'est aussi pourquoi, selon Marx, la révolution industrielle s'opère, non simplement à partir d'une machine-moteur augmentant la puissance, mais comme on l'a déjà vu, à partir de la machine-outil qui oblige à repenser, à reconstruire les opérations élémentaires et leur agencement. Leur fragmentation et recomposition imprimera au travail humain l'empreinte du modèle machinal, la transparence et l'objectivité du savoir rationnel. « Ce voile, qui dérobaux regards des hommes le fondement matériel de leur vie, la production sociale, commença à être soulevé durant l'époque manufacturière et fut entièrement déchiré à l'avènement de la grande industrie. Son principe qui est de considérer chaque procédé en lui-même et de l'analyser dans ses éléments constituants, indépendamment de leur exécution par la force musculaire ou l'aptitude manuelle de l'homme, créa la science toute moderne de la technologie. Elle réduisit les configurations de la vie industrielle, bigarrées, stéréotypées et sans lien apparent à des applications variées, conscientes et réfléchies de la science naturelle, classifiées d'après leurs différents buts d'utilité » (1). Tous les thèmes de la technologie — analyse objective des procédés de la fabrication, technique de l'application des sciences, planification consciente de cette application, motif d'utilité économique — sont résumés dans ce texte.

Le recensement des buts utilitaires est effectué près de trente ans plus tôt par Léon Lalanne dans l'*Essai philosophique sur la technologie* (2), directement inspiré de Babbage, qui analyse par ailleurs la nature des procédés technologiques d'après les sources et les emplois de la force, de leurs applications et de l'économie industrielle. La classification des métiers en fonction des buts sociaux s'impose dans la mesure où des procédés analogues engendrent des produits bien différents.

. . .

L'idée que « l'industrie est la base du nouvel état social » (3) est affirmée par Lamé et Clapeyron à l'époque où le concept de travail change de signification. Désormais, le travail est juridiquement libre, mais appliqué à des tâches de plus en plus spéciales et parcellaires ; objectivé dans la mesure des temps et des rendements, projeté aussi dans l'espace abstrait des valorisations écono-

(1) *Op. cit.*, II, p. 181. - Près d'un et demi siècle après Wolff, Marx est amené à formuler le vœu d'une histoire de la technologie : « En somme, une *histoire critique de la technologie* aurait montré combien peu les inventions du XVIII^e siècle appartiennent à un seul individu. Jusqu'ici, il n'existe pas une telle œuvre ». *Ibid.*

(2) Extrait de l'*Encyclopédie Nouvelle*, Paris, 1840.

(3) *Plan d'écoles générales et spéciales pour l'agriculture, l'industrie manufacturière, le commerce et l'administration*, par G. LAMÉ et E. CLAPEYRON, Paris, 1833, p. 129. Aux projets saint-simoniens de mise en valeur industrielle du globe succède une mise en honneur du travail de laquelle le capitalisme espère tirer un principe de stabilisation sociale ; cf. TUREN, « la richesse et la pauvreté avancent appuyées l'une sur l'autre en se procurant des jouissances réciproques » ; le travail n'institue pas seulement des liens de subordination, il est qualifié de « puissant moralisateur », grâce à quoi « s'accomplit le progrès social », *Discours de CUNIS-GRIDAINE*, ministre de l'agriculture et du commerce, 28 novembre 1847.

miques et morales. A ce nouvel ordre conviennent de nouvelles institutions : c'est toute l'« éducation générale » qu'il faut réformer, car « l'organisation du travail n'est pas un vain mot » (1) et doit être étendue à toutes les activités sociales, comme à tous les ordres d'enseignement. La solidarisation des processus techniques, la régulation de la production, tel est l'horizon que se donnent les réformateurs. Dans l'immédiat, Lamé et Clapeyron raniment les projets de Fourcroy et de Chaptal, demandent des cours de pratique industrielle. C'était justement le but que venait de se donner à un niveau supérieur l'École centrale des arts et manufactures fondée peu auparavant, à l'époque où Auguste Comte énonçait le rôle de la « classe des ingénieurs ».

Dans ces mêmes années, le programme de l'enseignement délivré à l'École polytechnique et son adaptation au nouvel ordre industriel étaient de plusieurs côtés mis en question. Cournot, dans son traité *Des Institutions d'instruction publique en France*, résume un peu hâtivement l'évolution des doctrines pédagogiques de l'École polytechnique ; elle a été « dès l'origine et est restée longtemps une école consacrée aux hautes mathématiques, aux conceptions théoriques et abstraites. Plus tard, on s'est aperçu que les sciences physico-chimiques, dont le rôle et l'importance sociale grandissaient, pourraient bien être aussi utiles à un futur ingénieur... que des théories de mécanique rationnelle qui semblent n'être... que des amusements de l'esprit humain » (2). Balzac, bien auparavant, s'était fait l'écho d'opinions un peu faciles des praticiens, mises dans la bouche du Grégoire Gérard du *Curé de village*, « belle âme, homme supérieur », issu de Polytechnique pour médire des écoles (3), il trouve finalement une sorte

(1) Plan d'écoles..., op. cit., p. 1.

(2) Les critiques nuancées de Cournot font écho à quelques censures beaucoup plus ardentes prononcées dans les tout premiers temps de l'École ; ainsi, « l'enseignement de l'école polytechnique porte sur une infinité d'objets de théories abstraites, telles que celles de la géométrie transcendante, qui n'auront jamais d'application dans la pratique... Ces connaissances... ne peuvent convenir... à ceux qui doivent être occupés toute leur vie d'opérations pratiques, pour lesquelles les spéculations de la haute géométrie sont totalement inutiles », *Opinion* de J.F. BARAILLON sur l'école polytechnique, 24 nivôse an VI, p. 9.

La critique de Cournot ne l'empêche pas de noter que « l'École polytechnique et l'École centrale réalisent bien cette idée d'une *Faculté* économique, mise en avant par Leibnitz, comme tant d'autres idées, bien avant que les temps ne fussent mûrs pour la saisir, laquelle comprendrait (dans leur généralité, bien entendu) « les arts mathématiques et mécaniques, et tout ce qui regarde la subsistance des hommes et la commodité de la vie », *Des Institutions...*, Paris, 1864, p. 165.

(3) « Maintenant est-ce que, par cette organisation, l'Etat gagne des travaux d'utilité publique mieux faits ou à meilleur marché ? D'abord les entreprises particulières se passent très bien d'ingénieurs... dans les pays où ces institutions n'existent pas, les travaux analogues sont au moins aussi bien faits et moins coûteux qu'en France... Je sais qu'il est de mode en parlant de nos Ecoles, de dire que l'Europe nous les envie ; mais depuis quinze ans, l'Europe qui nous observe n'en a pas créé de semblables... La Belgique, les Etats-Unis, l'Allemagne, l'Angleterre, qui n'ont pas d'écoles polytechniques, auront chez elles des réseaux de chemins de fer, quand nos ingénieurs en seront encore à tracer les nôtres, quand de hideux intérêts cachés derrière des projets en arrêteront l'exécution... » *Le Curé de village*, 1^{re} éd. 1841, Ed. Nelson, pp. 250-70.

Autre protestation contemporaine, aussi virulente, mais inspirée par une tout autre idéologie, celle d'un ancien polytechnicien, Victor Considérant : « nos Ingénieurs, ce sont en général des hommes de talent et de probité, mais ils doivent s'apercevoir qu'ils jouent un rôle inférieur à celui auquel il serait bon qu'ils prétendissent. Ils fonctionnent comme des instruments scientifiques, comme des machines d'exécution. Ils se laissent gouverner par les préjugés de la société, ceux qui devraient se rendre aptes à lui imprimer la direction industrielle la plus favorable. D'où cela vient-il ? de ce qu'ils se renferment trop étroitement dans leurs

de salut spirituel à organiser, au fond d'une région déshéritée, la prospérité d'un vaste domaine et des campagnes voisines. Le cas psychologique est plausible, mais la protestation virulente, et plutôt injustifiée qu'il supporte, témoigne d'une attitude assez commune dans les cercles industriels dès avant le milieu du siècle. Il n'y avait, bien entendu, pas lieu de récuser l'extraordinaire fécondité intellectuelle des premières années de l'École polytechnique, mais bien plutôt, de procéder à une sorte de retour au concret ; l'imitation des bonnes techniques, repérées par tâtonnement empirique, améliorées par approximations successives, apparaît souvent alors plus profitable, plus économique aux nouveaux maîtres à penser de l'industrie. « Les sciences théoriques, pouvait-on lire dans le *Prospectus* de l'École centrale, ne sont composées que de généralités trop incomplètes encore, pour que l'on puisse en déduire les lois exactes de cette foule de théorèmes compliqués qui se rencontrent même dans les arts les plus simples » (1). Cette réalité plus riche que tous ses théorèmes, il faut se l'assimiler par la fréquentation des modèles qui seront reproduits par les élèves : « Dans l'intention des fondateurs (l'objet de l'enseignement) consiste à faire exécuter par chaque élève, une véritable encyclopédie des arts et manufactures. Au moyen des dessins et des expériences exécutées par l'élève, on espère qu'il s'appropriera tous les faits connus, qu'il les concevra et les combinera comme des idées qui lui seraient propres... » (2). On entre ainsi dans un ordre de l'application tempérée

études techniques, de ce qu'ils s'occupent trop exclusivement des procédés spéciaux de l'art. Qu'ils étudient un peu plus l'Economie et les Sciences sociales, les conditions générales et supérieures du progrès de l'industrie et de la prospérité des nations ». *Déraison et dangers de l'engouement pour les chemins de fer...* Paris, 1838, p. 19. - Balzac incarne en 1841 les intérêts d'une bourgeoisie libérale qui trouverait en elle-même les ressources du génie entrepreneur et les initiatives du modelage social par l'action sur les objets. Pour lui le système des concours stérilise l'individu, et les Ecoles sont l'instrument de la bureaucratie improductive. Considérant dévolue, au contraire, à l'ingénieur le rôle supérieur d'organisation globale de la société ; si l'ingénieur est sujet à critiques, c'est en raison de son confinement dans des initiatives trop segmentaires, faute de conscience socialiste. Dans un pamphlet antérieur de quelques années, Considérant proclame qu'« il s'agit de produire l'invention et faire la découverte du mécanisme naturel d'industrie dans lequel l'homme travaillera par plaisir et par passion, au lieu de travailler par contrainte et de tourner l'activité de ses passions contre ses semblables », in *Considérations sociales sur l'architecture*, Paris, 1834, p. xxxv. Il amplifie ainsi les vues des anciennes technologies « caméralistiques » et préfigure les aspirations marxistes.

(1) *Annales de l'Industrie française et étrangère*, t. II, Paris, 1828, p. 393. Déjà, près de vingt ans plus tôt, A. Guényveau dénonçait le désavantage qui résulte d'une généralisation trop théorique des théorèmes de la mécanique : « ne vaut-il pas mieux sacrifier un peu de cette généralité, si justement précieuse aux géomètres, pour se procurer des expressions plus simples et d'une application facile... ? ... Les formules générales de la mécanique renferment toutes les conditions du mouvement d'un point du corps, peuvent sans doute servir à résoudre tous les problèmes possibles sur les machines, mais ici leur généralité même est un inconvénient... », *Essai sur la science des machines*, Lyon, 1810, pp. 5-6. - Cournot exprimera plus tard le besoin croissant de la société industrielle en praticiens : « les résultats moyens et non les exceptions brillantes sont ce qui intéresse effectivement les services publics », *Des Institutions...*, op. cit., p. 444 ; le mérite des techniciens habiles à répéter et perfectionner les procédés est valorisé dans ce poncif des médiévistes du XIX^e siècle : « les constructeurs de cathédrales du moyen-âge connaissaient les procédés, mais nullement la théorie de la géométrie descriptive », *Ibid.*, p. 447

(2) *Annales de l'Industrie...*, op. cit., p. 390. Il est significatif dans le même ordre d'idée qu'en 1810, Girard publie en France les mémoires de Smeaton, relatifs à des expériences de 1752 données comme modèles. Cette traduction sera rééditée en 1827.

La « complication inhérente à certains travaux industriels » que signale PONCELET dans son *Introduction à la mécanique industrielle*, 1829, ne relève pas d'un enseignement théorique supérieur, mais désormais d'un enseignement proprement professionnel.

du savoir théorique, où l'univers technique est à nouveau présenté comme une nature factice que l'on peut former et diriger par des règles, sans qu'il soit besoin, pour les praticiens, de se représenter à tout moment les lois qui la fondent.

Il est bien remarquable, qu'à l'époque de la création de l'École centrale, on assiste à une soudaine floraison de publications « technologiques » qui viennent s'ajouter à des organes plus anciens, tels que celui de la « Société d'encouragement ». Ces publications (1) se présentent comme des collections plus ou moins systématiques de procédés et de productions ; elles réalisent une exhibition encyclopédique des opérations de l'industrie, elles exposent les ingéniosités pratiques des manufacturiers et de leurs techniciens. Rendant compte d'une pluralité d'expériences particulières, elles renouent avec la tradition des *Descriptions* académiques, tout en la brouillant par la profusion des notations ; pour un temps, elles perpétuent le genre de l'histoire des arts qui s'éteindra sous l'abondance de ses productions. Un nouveau corporatisme, ouvert, se constituera peu à peu, celui de la spécialisation technique qui formera ses propres institutions, ses propres organes ; ainsi, se manifesteront de nouvelles divisions de la science appliquée, où survit altérée une pensée technologique qui use de concepts opératoires et de qualités, et réconcilie, en dernier ressort, l'ivresse des théâtres de machines avec la rationalisation bourgeoise du XIX^e siècle. Celle-ci se déploie dans le goût d'organiser et s'exprime dans la production, l'échange et la manipulation des objets. La multiplication des produits est donnée comme un moyen d'accroître la richesse de groupes privilégiés, elle-même justifiée par le thème de l'enrichissement général ; mais c'est encore une fin en soi, source de contentement intrinsèque. Poncelet déclare ouvertement que la « perfectibilité de la race humaine » réside dans l'accroissement des idées scientifiques « appliquées ou non à la satisfaction de nos besoins » (2), et, dans le même élan, fait l'apologie de la « multiplication, de la vulgarisation, de la reproduction rapide, économique des objets de consommation et de jouissance matérielle, artistique et intellectuelle » (3).

(1) *Dictionnaire technologique* à partir de 1822, sous la direction de FRANCEUR, MOLARD, LENORMAND, ROBIQUET et PAYEN.

En 1824, la *Description des Expositions des produits de l'industrie française*, par LENORMAND et de MOLEON.

En 1826, le *Manuel du Manufacturier ou Archives des Découvertes et procédés de fabrication publiés dans la Grande-Bretagne*, par PELOUZE ; la même année, le *Bulletin des Sciences technologiques* (5^e section du *Bulletin universel des sciences et de l'industrie*, sous la direction du baron de FÉRUSAC) ; en 1826 encore — particulièrement féconde pour notre objet — *L'Industriel, Journal principalement destiné à répandre les connaissances utiles à l'industrie générale*, par MM. CHRISTIAN... DUBRUN-FAUT... et LEBLANC.

En 1827, apparaît le *Moniteur de l'industrie française* par une « société d'amateurs de la Technologie » (les collaborateurs seront en 1829 de Jouffroy, Odolant Desnos, Robert, Bailly de Merlieux, Calla, Franceur, Bambey, Héricart de Thury, Hoyau, Labarraque, Larresche, Mérimée, etc.).

En 1828, paraissent les *Annales de l'Industrie française et étrangère*, par BÉRARD, DUMAS, PAYEN, MOLARD et PÉCLER, ainsi que le *Journal du génie civil*.

Les *Eléments de Technologie* de FRANCEUR seront publiés en 1833.

(2) *Machines et outils spécialement employés à la fabrication des matières textiles...*, Paris, 1857, *op. cit.*, p. 3.

(3) *Ibid.*

En fait, le dynamisme organisateur de la production du XIX^e siècle se déploie sur plusieurs niveaux, eux-mêmes solidarisés : « l'organisation naturelle de l'industrie appelle une distribution des fonctions » (1). Au plus bas niveau, celui de l'atelier et de l'entreprise, c'est la fabrication qui polarise une pensée technologique issue des écoles professionnelles. Le produit doit satisfaire à des conditions techniques dont la réalisation est souvent exprimée par des métaphores biologiques. D'un tracteur construit par l'ingénieur Dietz, il est dit en 1839 qu'« après avoir éprouvé plusieurs transformations, (il) a atteint dans toutes ses parties, l'unité que l'on remarque dans toute son organisation » (2). Mais cet instrument bien organisé ne prend toute sa valeur aux yeux de ceux qui le célèbrent comme « fait social accompli » (3), que par sa fonction d'organe dans une organisation d'un degré supérieur, celle des « voies de communication... agents puissants de circulation et de richesse (qui) forment entre eux un vaste système que l'esprit progressif tend à compléter chaque jour » (4). Ce « locomoteur » est proposé comme un rouage d'un « vaste mécanisme » dont les éléments, en vertu d'une harmonie calculée, ne « s'entre-choquent » pas mais « se prêtent un mutuel appui ». Il s'agit donc de recomposer l'organisme social selon une machination progressive de tous ses domaines. Au niveau le plus élevé, le dynamisme organisateur du siècle se donne pour idéal la coordination économique d'une nation entière. C'est là une notion qui s'impose à ceux qui ont appris de la puissance souveraine du calcul que tout peut être projeté et totalisé dans des représentations intellectuelles. L'École polytechnique a incubé l'*hubris* des ingénieurs technocrates.

. . .

Tout discours sur la technique agrège des éléments hétérogènes. Non seulement, il implique la définition de l'objet, mais il doit poser les statuts de la production dans chaque moment de l'histoire sociale. Or, aussi bien la production que le produit sont chargés de connotations extrascientifiques, proprement mythiques, comme les ethnologues nous le montrent surabondamment. Il faut se défaire d'une opinion commune selon quoi la technique serait neutre, pour cette seule raison qu'un même objet technique peut être utilisé à des fins radicalement différentes, ou que des processus d'usinage très comparables peuvent donner naissance dans le même lieu à des objets de forme et de fonctions très diverses. Le produit technique peut bien être le fruit de l'application d'une science constituée dans le lit d'un formalisme aristocratique, il n'en incorpore pas moins une intentionalité d'usage ou de signification. Bien qu'il puisse prendre une valeur esthétique prononcée, l'objet technique se distingue de l'objet d'art par sa fixation nécessaire dans un réseau social de fonctions aisément

(1) A. VISSCHERS, *Rapport sur l'organisation de l'enseignement industriel*, Bruxelles, 1852, p. 101.

(2) *Rapport sur le remorqueur Dietz*, 1839, p. 12.

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

(4) *Ibid.*, p. 4.

reconnaisables d'usage : l'objet technique s'inscrit de lui-même dans le système réglé des échanges de valeur et dans une chaîne de fonctions qui englobe les productions et les hommes. La finalité immédiate de la technique semble la résorber dans une instrumentalité de manipulation. Actualisée dans telle fonction, dans tel dispositif, dans telle configuration, la technique les dépasse comme manifestation d'une activité originaire et irréductible. C'est l'acte lui-même qui est constitutif, outre les buts particuliers qu'il poursuit. Instruite par un savoir, la technique ne peut pas se ramener à sa simple application. Elle consiste dans un déploiement du temps selon le mode élémentaire du rapport projet-réalisation, et assimile le monde à l'environnement immédiat du corps (1). Si le monde grec aux représentations closes et achevées n'inclinait pas avec force à la transformation de la nature, l'influx de la pensée judéo-chrétienne, habitée par le travail de la Genèse et l'enjeu de l'Incarnation, propose une réalisation progressive du monde et justifie sa transformation possible par l'effort, la tâche et même le sacrifice. La doctrine chrétienne ouvre devant l'homme un espace à remplir et finalement à organiser; en fondant la responsabilité et la solidarité, elle réfère l'échec au mal et pousse l'homme historique à traverser les ruines de ses efforts inaboutis.

Chaque découverte technique résulte d'un réseau antérieur découpant et articulant la nature, que l'inventeur achève en réalisant un parcours particulier. Toute découverte peut avoir des effets multiplicateurs, ramifiants, créant des fins qui transcendent le savoir et la prévision. Elle recule les limites de l'espace possible. Ensemble des organes et des fonctions collectifs, la technique assume la totalité toujours provisoire, mais nécessaire, de la reproduction des actes vitaux. En réalisant des buts particuliers, c'est l'homme qu'elle réalise : par une historicité transparente des actes et des objets, toujours récupérables dans leur intelligibilité (sauf pour les objets techniques à finalité magique), mais aussi par une intégration fonctionnelle dans l'organisme social, garant de l'efficacité et de la survie.

Deux mouvements déterminent la destinée historique de la technique ; l'un, conservatif, trouve son modèle dans la reproduction vitale, son régime dans l'imitation, et son critère dans l'économie de répétition. L'autre tendance coefficiente est accidentelle de nature, c'est l'invention qui vient enrichir et perturber une communauté d'habiletés, et se réalise dans la figure de l'essai, dont la permanente image ancestrale est la liberté de la main ustensile. On comprend dès lors que la technique, quels que soient les raffinements intellectuels qui contribuent à ses récentes manifestations, ne se développe que comme

(1) La main s'arrête à l'objet qu'elle fait et use. Dans la transformation du monde, c'est l'idée d'une totalité organique jamais réalisée, toujours approchée et à refaire, qui permet de remplir l'espace technique. Cette appréhension du monde informe le phantasme d'un Diderot imaginant une unité manufacturière, ouvriers, outils et machines, comme un seul être vivant : « Que serait-ce qu'un mélier de la manufacture de Lyon, si l'ouvrier et la tireuse faisaient un tout sensible avec la trame, la chaîne, le sample gavassine ? Ce serait un animal semblable à l'araignée qui pense, qui veut, qui se nourrit, se reproduit et ourdit sa toile ». *Éléments de physiologie, Œuvres*, éd. Assézat, t. 9, p. 268.

un accroissement défini des pouvoirs gestuels et une dilatation de l'image du corps.

Historiquement, la technique a donné lieu à divers types de discours; les uns proprement scientifiques, sont l'explication même des objets techniques de leur structure, et de leur fabrication; d'autres, d'essence politique, prennent pour objet le règlement de l'activité technique dans la société. Ce sont les discours technologiques. D'autres portent enfin sur l'image de l'objet technique dans la collectivité sociale et recueillent, en particulier, les prestiges archaïques de la puissance.

Parmi les discours technologiques, certains insistent surtout sur le traitement des matériaux naturels et visent à définir le meilleur parcours technique de leurs transformations; d'autres privilégient l'aspect économique de la production et du travail; il en est enfin qui se donnent pour objet l'étude ethnologique et la critique philosophique de l'activité technique (1). Cela constitue, à proprement parler, le champ de la technologie. Ce qui exclut évidemment le sens anglo-saxon de *technology* qui est identifiable à la technique en général et aux énoncés de la science appliquée.

Dans sa première maturité, la technologie était directement liée par son objet aux procédés de fabrication, aux arts et aux manufactures, à l'industrie. Son élaboration était également normative; la technologie apparaît alors comme une discipline destinée à informer ceux qui sont appelés à faire des choix économiques. Procédés et pratiques étaient intégrés dans une vision économique globale de la société, si bien que la technologie devient le discours rationalisant les procédés techniques dans une organisation politique du travail.

Cette technologie s'est formulée dans le milieu universitaire germanique. Elle y a reçu l'empreinte des exigences de classification et de systématisation propres à un enseignement traditionnel. L'élévation au rang académique de la théorie des activités artisanales correspond en pays allemand à un besoin de thématisation qui s'est exprimé en France dans la description et la critique des opérations des arts. De part et d'autre du Rhin, les préoccupations technologiques sont nées dans des contextes politico-économiques comparables, sous des pouvoirs de type absolutiste inclinés au dirigisme économique. Pour une large mesure, la réflexion technologique est une réponse à la révélation de l'avance économique de la Grande-Bretagne et au désir d'imiter sa puissance industrielle. Or, en pays anglo-saxons où se créent plus tôt qu'ailleurs les structures de production modernes, les motifs technologiques ne donnent d'abord pas lieu à des initiatives aussi clairement marquées; c'est que la découverte des procédés d'industrie, leur perfectionnement et leur développement étaient l'objet d'une activité diffuse que soutenait, il est vrai, un système de patentes

(1) Pour Espinas, la technologie désigne « des groupes de règles pratiques, des arts ou techniques qui s'observent dans les sociétés humaines adultes, à quelque degré civilisé »; elle comprend 1° une description analytique des arts (une morphologie des techniques), 2° une recherche des conditions et des lois de leur efficacité pratique, 3° une étude de leur développement. *Les origines de la technologie*, Paris, 1897, p. 8-9.

fort ancien, et que protégeront souvent des initiatives parlementaires. Le progrès technique était à la fois une affaire de praticiens directement engagés et un phénomène qui attirait les soins de propriétaires et d'amateurs dont la réunion évoquait davantage des clubs que des académies. Peu à peu se formera au XVIII^e siècle une classe d'ingénieurs civils dont le talent spécial ne devra pas grand chose aux universités qui ne créent que bien tardivement un enseignement tourné vers la pratique industrielle. Le concept de technologie, son usage étendu et son organisation en discipline ne s'affirmeront que dans le premier tiers du XIX^e siècle (1). Mais cette émergence tardive charge le concept d'un nouveau contenu; il sera fixé dans la dénomination des institutions d'enseignement et de recherche qui donneront au terme sa généralité et son prestige (2). La technologie se développe alors comme une mise en ordre systématique des sciences appliquées dans un contexte économique capitaliste : elle est une science des *processus de production*, tels qu'ils sont réalisés dans la grande industrie et exigent une application systématique des sciences (3).

Sur le continent, au fur et à mesure que l'industrie se développe et embrasse les productions de plus en plus diverses, la technologie, qui présidait à son installation, perd progressivement du terrain pour disparaître presque complètement à la fin du XIX^e siècle. Dans la langue française, le terme est plutôt rare après 1860. En Allemagne, son historien Karmarsch devient en même temps son dernier grand représentant. La diffusion de l'enseignement technique et la conversion de la société vers le type bourgeois libéral cantonnent la technologie au sens beckmanien dans des limites étroites (4), en position tout à fait marginale ; l'explosion industrielle à la fin du XIX^e siècle dont le développement est régi par la concurrence et tend à échapper aux possibilités d'intervention de l'Etat, rend superflue une discipline qui relève du dirigisme économique et qui n'a pas encore rompu son application à l'ancien univers artisanal. La technologie est une discipline contemporaine de la transformation de la société artisanale et manufacturière en société industrielle moderne.

Ce n'est peut-être pas un hasard si elle réapparaît de nos jours, au déclin du libéralisme classique, à une époque où l'Etat entend exercer une influence déterminante sur les choix économiques, où la planification s'étend non seulement à

(1) Un des premiers ouvrages importants de langue anglaise où le mot apparaît dans le titre est celui de J. BIGELOW, *Elements of Technology*, Boston, 1829.

(2) La polytechnique américaine sera nommée *Massachusetts Institute of Technology*. — Une bifurcation de sens due à la fixation de moments historiques distincts marquera désormais le concept. Tout en gardant une référence implicite aux aspects économiques des techniques, *technology* désigne essentiellement les procédés techniques eux-mêmes.

(3) Les grands traités d'économie manufacturière de Ch. BABBAGE (*A treatise on the economy of machines and manufactures*, London, 1832), de A. URE (*The philosophy of manufacture*, London, 1835) et de E. BAINES (*History of cotton manufacture in England*, London, 1835) sont en fait des descriptions technologiques de la période avancée de la révolution industrielle. C'est en s'appuyant sur leurs analyses du travail industriel que Marx parlera de la « science toute moderne de la technologie ».

(4) Dans le monde soviétique et en Europe de l'Est, le terme garde un sens précis, inclus dans l'ensemble de l'activité technique : il désigne un segment déterminé dans la suite des opérations de la production, mais il a perdu sa connotation économique.

la production, mais encore à la consommation et jusqu'à l'activité et le temps libre que le travail social laisse aux hommes ; à une époque aussi de transformation de l'industrie par l'*automatisation*, appelée sans doute à susciter une mutation de la structure sociale aussi profonde que la constitution de la grande industrie au XIX^e siècle.

Les mots sont en proie à des aventures dont il est parfois difficile de retracer la trajectoire. Les avatars sémantiques de *technologie* doivent être rapportés à la liaison précaire de préoccupations historiquement variables de l'homme à l'égard du travail des autres.

Mais, indépendamment de l'aventure historique de la discipline intitulée technologie, on peut supposer la permanence d'une pensée technologique face à tout réseau des techniques. Leur liaison n'est jamais aléatoire. Au delà des réticulations transitoires dans l'ensemble des transformations matérielles, au delà de tout ajustement des rapports de production, il est tentant de rechercher s'il existe des motifs permanents. Sans aucunement prétendre à les définir tous, du moins pouvons-nous esquisser quelques linéaments de cette configuration supposée.

La pensée technologique se déploie comme un champ d'opérations. Parmi celles-ci, on peut noter la volonté de constituer une nomenclature des matières, des instruments de transformation, des procédés de production. Cette tâche jamais achevée de définitions de la langue des arts va de la description rhapsodique des métiers à la notation systématique et normalisée des éléments de la production ; elle ne peut atteindre sa maturité que par application méthodique de concepts scientifiques. La définition des opérations techniques suppose leur réduction finale à des expressions numériques de grandeurs physiques. C'est la raison pourquoi il n'était pas question d'imaginer une technologie adulte avant la segmentation précise du temps des opérations. Cependant, cette langue, si elle ne peut se constituer sûrement hors des concepts physico-chimiques du XIX^e siècle, doit utiliser en outre une terminologie propre, reflet de la structure socio-culturelle constituée par la totalisation ordonnée des organes techniques d'un groupe humain. Le technologue qui légifère sur les rapports de l'homme avec sa production, use donc d'une langue qui lui permet de comprendre et de suggérer les transferts de schémas opératoires entre activités différentes. C'est la normalisation des opérations et des productions qui permet leur combinaison dans un ensemble économique complexe. La transparence de la langue de l'ingénieur permet les transferts de compétence et la communication entre les imaginations techniques. Cette réduction des opérations à un mode commun de programmation entraîne une contagiosité de la pensée technologique. Il n'est que de songer au destin du colonialisme qui s'achève par une exportation des procédés d'exploitation, quelles que soient les motivations invoquées. Cette contagiosité détermine par diverses voies une unification des modes de production à l'échelle planétaire. Cependant qu'elle déploie sur le globe son réseau d'organisation technique, qu'elle fait, comme le disait déjà D. Holzmann en 1784, « de la terre qui consistait auparavant d'innombrables parties isolées

une totalité connexe » (1), elle unifie aussi les structures d'accueil de l'image de la réussite professionnelle et aspire à homogénéiser la temporalité vécue. La pensée technologique procède comme si elle se donnait pour but de traiter des groupes sociaux de plus en plus vastes en unités machinales ; elle transporte dans l'organisme social les concepts et les méthodes de la production de série. Les seuls obstacles radicaux, mais peut-être provisoires, à son déploiement, tiennent à la difficulté de définir les faits sociologiques et à obtenir, instantanément et incessamment, toutes les informations nécessaires aux décisions. Nourrie de raisons scientifiques, la pensée technologique est tenue encore à conjecturer sur les nécessités vagues qui animent les groupes sociaux. Le « technologue » lui-même ne peut se déprendre de toutes sortes de déterminations mythiques, il est enfermé dans ses désirs, muré dans ses propres artifices. La pensée technologique n'est pas neutre ; mais en s'appuyant sur une expression unifiante des valeurs, en réduisant le déploiement des diversités individuelles à des tabulations symboliques, elle crée un univers factice dans lequel demeureront sans doute des disparités, mais que l'impérialisme des codifications tendra à homogénéiser sous le manteau collectif des métonymies du désir.

J. GUILLERME,
*Chef de travaux à la Faculté
de médecine de Besançon,
Institut d'Histoire des Sciences.*

J. SEBESTIK,
*Allaché de recherches au C.N.R.S.,
Institut d'histoire des sciences.*

(1) [L'art de mouvement] « ordonne les pierres difformes en temples qui seraient dignes de la majesté de Dieu qui les habite, si les choses finies pouvaient être dignes d'un être infini ; il construit des palais dont la vue impose le respect pour ses habitants ; on lui est obligé de ce que les pays, séparés par des océans, peuvent échanger leurs produits naturels et ceux de l'art, augmenter leurs richesses, rendre plus florissant leur commerce ; il a fait de la terre qui consistait auparavant d'innombrables parties isolées pour ainsi dire une totalité connexe : car il a construit les navires dans lesquels le marin téméraire enserme le globe ; cet art nous relie avec les pays les plus lointains par les liens irréfragables de l'utilité et des intérêts ». DONAT HOLZMANN, *Erste Vorlesung vom wesentlichen Einfluss der Maschinenlehre auf die bürgerliche Gesellschaft*, Vienne, 1784.

Errata

p. 51, note 1: L'*Encyclopédie* d'Alsted a paru pour la première fois en 1630 à Herbron (rééd. à Stuttgart-Bad Cannstatt, 1989-1990). 1609 est la date de la parution du *Clavis artis Lullianae*. L'encyclopédisme de Comenius vient d'Alsted qui fut son maître à l'université de Herbron.

p. 59, avant-dernière ligne du texte : lire *pédagogie* au lieu de *pédagodie*.

p. 74, ligne 7: lire *notions* au lieu de *motions*.

p. 87, ligne 1: lire *pour la première fois dans un texte de 1769, ensuite en 1772 (1)*; ajouter à la note (1): *Grundsätze der teutschen Landwirtschaft* (1769), Vorrede.

p. 109, ligne 15: lire *matière* au lieu de *manière*.