Les commencements de la technologie. Postface/ préface

Jan Sebestik

Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/dht/1106>

DOI : 10.4000/dht.1106

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 : 123-133

ISBN : 978-2-9530779-0-2

ISSN : 0417-8726

Référence électronique

Jan Sebestik, « Les commencements de la technologie. Postface/préface », *Documents pour l'histoire des techniques* [En ligne], 14 | 2^e semestre 2007, mis en ligne le 22 octobre 2010, consulté le 08 septembre 2020. URL : <http://journals.openedition.org/dht/1106> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/dht.1106>

Les commencements de la technologie

Postface/préface

Jan Sebestik
Institut d'histoire et philosophie
des sciences et des techniques
de l'Université Paris I

Lorsque Liliane Hilaire-Pérez m'a proposé de rééditer « Les commencements de la technologie » dans la collection *Documents pour l'histoire des techniques* publiée par le Centre d'histoire des techniques et de l'environnement du CNAM, j'ai eu un moment d'hésitation. Malgré la nouveauté de cette recherche à l'époque, Jacques Guillaume et moi-même avons toujours considéré ce texte comme un premier jet devant conduire à un livre. Nous y avons travaillé dans les années 1980, mais l'ouvrage n'a jamais été achevé. Cependant, deux articles, l'un signé de mon nom et publié en 1983 en anglais, l'autre signé par nous deux et qui a paru en 1989 en italien, rendent compte du dernier état de nos recherches (voir bibliographie en fin d'article). Ils contiennent un long passage sur Gottfried Wilhelm Leibniz et la technique, une analyse détaillée des œuvres de Charles Babbage et d'Andrew Ure et la discussion des concepts d'application et de science appliquée. Fallait-il retravailler complètement les « Commencements » alors que mon savant ami n'est plus là ? J'ai résisté à cette tentation ; notre texte tel quel a ouvert un nouveau champ de recherche et, bien que confidentiel, il semble qu'il est toujours considéré comme un texte de référence. En le relisant, je me remémore de longues heures de discussions animées qui se prolongeaient jusqu'au milieu de la nuit, et des moments de peine lorsque, le soir venu, comme Pénélope nous déchirions les pages rédigées le jour.

Ci-dessous, j'ai simplement ajouté quelques pages sur deux technologues les plus importants entre Gérard-Joseph Christian et Karl Marx, à savoir Babbage et Ure. Avec eux me paraît se clore la période classique de la technologie, celle qui a accompagné et analysé la révolution industrielle. Mais il convient d'abord d'expliquer dans quel contexte est né ce travail : il est issu d'un séminaire de Georges Canguilhem qui a porté le même titre.

Georges Canguilhem, philosophe de la technique

Lorsque Canguilhem succéda à Gaston Bachelard à la Sorbonne, il hérita aussi du poste de directeur de l'Institut d'Histoire des sciences et des techniques de l'université de Paris et fut chargé de ce fait du *Thalès*, recueil annuel des travaux de cet Institut. Il a vite réuni autour de lui une équipe et donné une nouvelle impulsion à l'histoire et à la philosophie des sciences, principalement mais non exclusivement des sciences biologiques et médicales (pendant une année, il a fait un cours sur l'œuvre scientifique de Descartes et la science au ^{xviii} siècle). Contrairement à certains de ses collègues, au cours de ses séminaires, Canguilhem ne se contentait pas d'écouter et de corriger à longueur d'année les exposés de ses doctorants sur leurs propres sujets de recherche. Au début de l'année scolaire, il proposait un ou plusieurs sujets d'étude : il n'était plus question d'assister à un défilé d'exposés sans rapport les uns avec les autres, mais de participer à un projet commun qui devait en principe aboutir à une publication. Autre particularité de son séminaire : bon nombre de professeurs vont si loin dans leur modestie qu'ils se limitent à écouter les exposés des apprentis chercheurs en formulant par-ci par-là quelques remarques critiques. Canguilhem travaillait autrement. Il prenait des risques et allait au filet en remplaçant lui-même l'orateur absent ; il se préparait donc à chaque séance comme si lui-même devait faire l'exposé. Au début, seul un petit nombre de personnes triées sur le volet avait le privilège d'y assister (plus tard, des normaliens, toujours bien accueillis, vinrent en force) ; ailleurs, les gens se perdaient en conjectures au sujet de ce qui se tramait pendant ces séances. C'est là aussi que j'ai fait connaissance de Jacques Guillaume. Deux de ces séminaires ont donné lieu à des publications. La pre-

mière, *Du développement à l'évolution au XIX^e siècle*, signée par Georges Canguilhem, Georges Lapassade, Jacques Picquemat et Jacques Ulman, fut publiée dans *Thalès XI* et rééditée aux PUF en 1985. Ce petit volume vaut un gros livre : il commence par Caspar Friedrich Wolff et se termine par Thomas Huxley et Charles Robin. Le véritable héros en est Charles Darwin et ce que Canguilhem a écrit sur Darwin appartient aux meilleures pages sur l'auteur de la théorie de l'évolution par la sélection naturelle. Le second de ces séminaires a pris pour objet les commencements de la technologie. Ci-dessous, j'indiquerai quelques raisons qui ont conduit Canguilhem à s'interroger sur les transformations du discours sur les techniques qui ont abouti à une science appelée technologie. Bien qu'il n'ait consacré qu'une communication et un seul article à la philosophie de la technique, la question de la technique l'a préoccupé depuis son professorat au lycée de Toulouse, et des remarques sur la technique parsèment tous ses travaux. Tout particulièrement, deux problèmes l'ont toujours intéressé : le problème technologique du rapport science-technique et le problème biologique, « inséparable du premier », du rapport organisme-machine. Toute sa philosophie des techniques tourne autour de ces deux problèmes. Canguilhem a toujours soutenu l'originalité et l'autonomie des techniques et de leur développement par rapport à la science. « Les sciences apparaissent toujours dans le cadre de relations techniques préexistantes et indépendantes, avec la nature ». La mécanique grecque est apparue dans le contexte de la pratique des machines simples ; l'optique au XVII^e siècle était avant tout une théorie des lentilles et des miroirs et même les théories de l'électricité sont nées à partir de jeux et d'expériences électriques. Les arts et métiers se sont développés de manière autonome par rapport aux théories scientifiques. En particulier, l'invention technique est « une combinaison de solutions particulières efficaces ». Il faut donc renverser le rapport qui fait de la science l'origine des inventions. La technique industrielle ne relève pas de la science appliquée. Une machine n'est pas le résultat d'une simple application de la science, un « théorème solidifié ». Pour rappeler un exemple paradigmatique qui a rendu possible la révolution industrielle, la machine à vapeur utilise un certain nombre de connaissances théoriques, dispersées et antérieures (touchant la pression atmosphérique par exemple), mais elle est une création entièrement originale, une invention dont l'existence renvoie à des mécanismes antérieurs (les pompes) et dont la construction est un acte irréductible à une combinai-

son de théorèmes de mécanique. En fait, sa théorie n'est venue qu'en 1824 lorsque Sadi Carnot a publié les *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, alors que la mise au point de la machine de James Watt date de 1784. Ici et ailleurs, la chronologie est un indice de l'originalité de la construction des machines et du phénomène technique en général par rapport à un savoir théorique préalable. Un passage du cours de Canguilhem sur l'histoire de la tératologie (1961-1962) est on ne peut plus explicite. « *Les opérations techniques sont irréductibles au savoir théorique*. La technique n'est pas une science appliquée. Une science appliquée suppose que quelque chose qui n'est pas la science lui doit être donné. Un exemple : le four à incubation artificielle est absolument étranger à l'embryologie. » Et Canguilhem dessine sur le tableau noir le schéma suivant où S désigne la science et T la technique: « Il n'y a pas de déduction linéaire qui conduit de S à la T. Pour relier la première à la seconde, il faut franchir la ligne qui sépare les deux. Toute la structure de la science moderne figure dans ce schéma. La ligne de séparation entre la science et la technique indique la divergence des postulats entre S et T. L'application de la science est rendue possible par une technique préalable et indépendante. »

Ses remarques en marge du sujet du cours résument le fond de la pensée de Canguilhem au sujet du rapport science-technique. Pour lui, la science est un savoir unifié et si possible organisé déductivement. Or, aucune déduction ne saurait conduire directement d'un ensemble de propositions à une *construction*, comme si le résultat de cette construction était à son tour un théorème. Il n'y a pas de déduction qui conduit de la science à ses applications ; ce passage suppose l'intervention de la technique, donc le franchissement de la ligne qui sépare le savoir théorique de l'activité de

construction. Les sciences s'appliquent à *travers* la technique. Il est entendu que l'autonomie des techniques par rapport à la science n'exclut pas les influences et emprunts réciproques. L'initiative des recherches théoriques émane de la technique, ensuite un va-et-vient s'installe entre science et technique. Considérer la technique comme résultant de la science qui la précède ressort de la vision intellectualiste, dérivée, secondaire par rapport aux opérations du vivant pour assurer sa survie. La technique peut entrer au service de la science comme en témoigne l'exemple du four à incubation et en général, la construction des instruments scientifiques et des dispositifs compliqués et lourds de la science contemporaine. En citant André Leroi-Gourhan, Canguilhem conclut que « Science et technique doivent être considérées comme deux types d'activités dont l'une ne se greffe pas sur l'autre, mais dont chacune emprunte réciproquement à l'autre tantôt ses solutions, tantôt ses problèmes. » (*Connaissance de la vie*, p. 156).

La technique est inscrite dans l'histoire humaine, dans l'histoire de la vie. Déjà la perception est structurée selon les exigences des procédés techniques comme en témoignent bon nombre de termes anatomiques et en général organiques. L'homme fabriquant des outils et des machines est à l'origine de l'explication mécaniste de la vie. L'activité technique est organique, œuvre d'un vivant, « conception et production d'un effet », fait de culture. Même si le fonctionnement des machines relève de la physique, leur construction est en général antérieure à l'explication donnée par la physique, c'est un phénomène biologique universel. Canguilhem cite à ce propos une observation de Raymond Ruyer : les machines sont des organes de l'espèce humaine. Ainsi, « l'homme est en continuité avec la vie par la technique » (p. 17). C'est la science qui introduit une rupture entre les exigences de la vie et celles de la raison.

Quel chemin conduit de la technique à la technologie ? D'où vient ce terme ? Pourquoi et à quel moment a-t-on ressenti le besoin d'une théorie qui aurait pour objet la technique ? Dans quel contexte est apparu ce mot, comment s'est formé le concept et quand est née la discipline qui porte ce nom ? Telles étaient les questions auxquelles Canguilhem cherchait la réponse. À peu près aucune histoire des techniques ou de l'économie ne mentionnait la discipline nommée technologie. Le mot se trouve dans le titre d'un ouvrage d'Alfred Espinas, *Les Origines de la technologie* (1897), consacré aux techniques grecques. Dans *Le Capital*, Marx a célébré la « science toute nouvelle de la technolo-

gie », mais avant l'ouvrage fondamental de Thomas Garrigue Masaryk de 1899, *Die philosophischen und soziologischen Grundlagen des Marxismus*, quel philosophe en dehors des socio-démocrates connaissait, lisait et prenait au sérieux Marx ? *La Cinématique* de Franz Reuleaux (1875) avec sa « science formalisée des chaînes cinématiques et des mécanismes en général », appréciée par Canguilhem, soulevait des questions semblables.

Les origines de la technologie d'Alfred Espinas

Vers la fin du XIX^e siècle, le terme de technologie a quasiment disparu en français, mais continuait à être sporadiquement utilisé en allemand. En France, c'est Espinas qui l'a ramené à la vie. Espinas, qui connaît les *Grundlinien einer Philosophie der Technik* d'Ernst Kapp et sa théorie des outils comme projections des organes, ainsi que *La Cinématique* de Franz Reuleaux, mentionne à plusieurs reprises l'ouvrage de Hugo Blümner, *Technologie und Terminologie der Gewerbe und Künste bei Griechen und Römern* (1886). C'est peut-être à Blümner qu'il a emprunté le mot en donnant au concept une tout autre ampleur.

L'ouvrage d'Espinas commence par la distinction de deux caractères dominants qu'on retrouve aussi bien chez l'animal que chez l'homme. La vie animale se déroule sous l'emprise de l'instinct qui impose aux actions des animaux une règle à peu près immuable. Or, à mesure qu'on s'élève dans l'échelle du règne animal apparaît l'invention et l'initiative individuelle. Ainsi, chez l'homme, l'art « suppose une invention, un acte d'initiative et de liberté » (p. 6). Toutefois, cette distinction est loin d'être aussi tranchée : l'immutabilité et la fixité des règles de l'action qui sont propres à l'animal se retrouvent également chez l'homme. Par conséquent, « un art est cependant plutôt un ensemble de règles fixes qu'une collection d'initiatives raisonnées » (*ibid.*). En effet, l'art est « la forme des actes essentiels de la vie qui caractérise chaque groupe humain » (p. 7) et « l'immense majorité de nos actes rentre à notre insu dans des moules préétablis, procédés, mœurs, usages coutumes, traditions, lois civiles ou religieuses (...) ».

Distinguant les beaux-arts et les arts utiles que les Grecs groupaient sous la même dénomination de *techné*, Espinas ne traite que les dernières en leur donnant le nom d'*arts utiles*. La technique, ce sont les arts utiles. Or, « ce mot de technique a malheureusement chez

nous un sens assez restreint ; nous disons *la technique* de l'enseignement, la technique de telle ou telle fabrication et nous désignons ainsi les procédés opératoires ou, en général, les parties spéciales des arts industriels (...) plutôt que ces arts eux-mêmes ». Espinas veut englober sous le mot *technique* « les groupes de règles supérieures, qui n'entraînent aucune manipulation, la politique et la morale par exemple », avec toutefois quelques réserves concernant la manipulation pour ces deux dernières. De telles règles universelles « doivent être comptées au nombre des arts et deviennent des techniques » (p. 8). Espinas pêche ici, semble-t-il, en confondant les règles qui devraient relever de la technologie avec les arts eux-mêmes, à savoir avec les techniques.

Une autre distinction entre en jeu, celle entre les *arts* (les *techniques*) et la ou les *pratiques*. Par le mot *technique*, Espinas désignera « les pratiques conscientes et réfléchies, à un certain degré en opposition avec les pratiques simples ou coutumes, qui s'établissent spontanément, antérieurement à toute analyse. Car ce sont les arts adultes, non les pratiques inconscientes qui donnent naissance à la recherche dont nous nous occupons, et engendrent la Technologie » (p. 8). La technologie est donc subordonnée à une science qui prend pour objet « toutes les manifestations collectives du vouloir » (*ibid.*) et qu'Espinas nomme *Praxéologie*. La praxéologie ou théorie de l'action – le concept et la chose seront repris par Tadeusz Kotarbinski au ^{xx}e siècle – s'occupera des « formes les plus universelles et des principes les plus élevés de l'action dans l'ensemble des êtres vivants capables de se mouvoir » (ce qui exclut apparemment les plantes), alors que la technologie étudie « des groupes de règles pratiques, des arts ou techniques qui s'observent dans les sociétés humaines adultes, à quelque degré civilisées » (pp. 8-9). Et la note de la p. 16 identifie explicitement la technologie avec « la théorie de la technique ».

À la manière d'Auguste Comte, Espinas envisage la technologie selon trois points de vue : statique, dynamique et historique. Le premier fournit une « description analytique des arts » à un moment donné dans une société donnée, qui doit aboutir à leur classification et à la morphologie des techniques. Selon le point de vue dynamique, on recherche « sous quelles conditions, en vertu de quelles lois, chaque groupe de règles entre en jeu, à quelles causes elles doivent leur efficacité pratique » (p. 9). Enfin, en combinant les points de vue statique et dynamique, on étudie l'évolution des techniques et tel est l'objet de l'ouvrage d'Espinas. « L'ensemble

de ces trois études forme la Technologie générale », mais Espinas prend pour objet uniquement l'histoire des techniques.

Le séminaire de Canguilhem sur les commencements de la technologie

Le propos de Canguilhem n'est pas de refaire le travail d'Espinas sur *Les Origines de la technologie*. Canguilhem distingue systématiquement entre origines et commencements d'une science. Les *origines* renvoient à un passé lointain et obscur sans contours bien délimités et c'est bien de cela que traite l'ouvrage d'Espinas. En revanche, les *commencements* relèvent d'une recherche sur *l'instauration* d'une discipline. Cette recherche implique l'exploration de la première apparition du mot, de la définition du concept et ses transformations, et de l'intégration de la nouvelle discipline dans le système des sciences. Étudier les commencements, c'est détecter l'émergence de nouveaux concepts qui finissent par délimiter et organiser un nouveau champ du savoir.

Tous les membres du séminaire se sont mis au travail. Chaque semaine quelqu'un a apporté une information nouvelle, une rectification ou un complément. Avec Jacques Guillaume, nous passions des journées entières à la Bibliothèque nationale copiant des définitions des dictionnaires anciens, étudiant toutes sortes de traités, manuels, brochures, pamphlets, atlas technologiques, rapports des commissions parlementaires britanniques, histoires des techniques, de l'économie politique et des sciences. Le cours du père Pierre Costabel sur l'évolution de la mécanique aux ^{xviii}e et ^{xix}e siècles nous a apporté des renseignements sur l'estimation de l'efficacité des différentes sources de force motrice.

À la fin de son séminaire, Canguilhem a confié la rédaction d'un texte issu de ce travail collectif à Jacques Guillaume, à Édouard Morère et à moi-même. Notre ami Morère a préféré présenter un texte de son cru. Une fois notre texte publié dans *Thalès* XII, 1966 (1968), qui fut la dernière livraison de ce « recueil de travaux », avec Jacques Guillaume, nous avons continué à y travailler et à animer un séminaire pendant quelques années grâce à l'appui du programme CNRS *Science, Technique, Société* en vue d'un livre. Ce livre ne fut jamais achevé. De ce manuscrit, on trouvera ci-dessous les extraits les plus significatifs.

Quelques années plus tard, avec mes collègues Britta Rupp-Eisenreich et Michel Tibon-Cornillot, j'ai participé de 1988 à 1990 au séminaire sur la naissance

et le développement de la technologie de François Sigaut, à l'École des hautes études en sciences sociales, où j'ai encore eu le plaisir de rencontrer André-Georges Haudricourt. De nouveaux points de vue émergeaient des discussions dans ce cercle savant et chaleureux.

Ce que nous ne savions pas en 1968

La technologie dans le *Philosophisches Lexicon* de Johann Georg Walch

Le *Philosophisches Lexicon* de Walch de 1733 (nous n'avons pas pu le consulter pour les « Commencements », car dans les années 1960, le catalogue de la Bibliothèque nationale ne dépassait pas la lettre V) réunit les différentes significations du mot technologie. Le sens général est « la doctrine des termes techniques » et se divise en « partie non érudite » et « partie érudite ». C'est la première qui traite des termes techniques des arts et métiers, alors que la seconde s'occupe des termes techniques des « sciences savantes », à savoir de la philosophie, de la théologie, du droit et de la médecine.

Il reste à dire quelques mots sur les auteurs de la période de la maturité de la technologie, qui ont quelque peu débordé le sujet des « Commencements ». Ce sont principalement Charles Babbage et Andrew Ure.

Une nouvelle division du travail : Charles Babbage

Bien que Charles Babbage n'utilise pas le terme de technologie, il analyse dans son *Traité sur l'économie des machines et des manufactures* (1834) les processus industriels en les intégrant dans leur contexte économique et social. Avec Christian et Babbage, la technologie prend congé du monde clos des arts et métiers, des guildes et des corporations pour s'ouvrir à l'univers industriel et à l'économie de marché. L'ouvrage de Babbage abonde en analyses très détaillées des opérations manufacturières traitées du point de vue de l'organisation de la production industrielle ; aussi, la notion de la division du travail y joue un rôle essentiel. Son traité est fondamental pour toute histoire de la technologie ; il a été traduit trois fois en français, paraphrasé ou plutôt plagié sous forme de résumé par Léon Lalane dans son *Essai philosophique sur la technologie* (1840), et a constitué l'une des sources principales de Marx.

Professeur de mathématiques à l'université de Cambridge, Babbage a été amené à s'intéresser à l'industrie

manufacturière à partir de ses tentatives de construire une machine à calculer. Par rapport à ses prédécesseurs (Pascal, Leibniz et d'autres), il inaugure une nouvelle lignée des machines à calculer qui aboutira à nos ordinateurs. La grande nouveauté de sa machine analytique consiste dans l'introduction d'un programme. Tous les éléments d'un ordinateur s'y trouvent réunis : l'entrée, la logique, le programme, la mémoire et l'imprimante. Sa machine, dont la fabrication n'a jamais été vraiment terminée (la précision demandée aux ouvriers dépassait les possibilités techniques de l'époque) et qui n'a jamais fonctionné, était en théorie capable d'exécuter tous les calculs arithmétiques et de stocker l'information pour une utilisation ultérieure.

Dans son traité, Babbage précise d'abord la distinction entre outil et machine. Un outil est un instrument simple ou, s'il est composé, ses parties exécutent toutes le même mouvement. Les machines supposent la décomposition d'une chaîne d'opérations complexes impliquées dans une production en opérations élémentaires dont chacune puisse être confiée à un outil : « Quand chaque opération particulière a été réduite à l'emploi d'un instrument simple, la réunion de tous ces instruments constitue ce qu'on appelle une *machine*. » (p. 229). Le passage de l'outil à la machine nécessite donc une redéfinition des opérations, un nouveau découpage de la chaîne de production, c'est-à-dire une nouvelle division du travail. Une bonne division du travail décompose les chaînes d'opérations en segments faciles à apprendre, évitant ainsi les pertes dues au passage d'une occupation à une autre ou au changement d'outil ou de machine. À travers la référence quelque peu mythique à Adam Smith décrivant la fabrication des épingles, Babbage fait ressortir un élément nouveau qui caractérise la division du travail industriel : la modulation des forces et des habiletés requises pour un produit donné. « En divisant l'ouvrage en plusieurs opérations dont chacune demande différents degrés d'adresse et de force, le maître fabricant peut se procurer exactement la quantité précise d'adresse et de forces nécessaires pour chaque opération. En revanche, si l'ouvrage tout entier devait être produit par un seul ouvrier, la même personne devrait disposer de suffisamment d'adresse et de suffisamment de force pour les opérations les plus délicates et les plus épuisantes. » (p. 231)

Descrivant le procédé de Gaspard-Marie Riche de Prony pour calculer les nouvelles tables logarithmiques et trigonométriques, Babbage analyse aussi la division du travail de l'esprit. Prony, inspiré par Adam Smith, a

décidé de « mettre les logarithmes comme des épingles dans une manufacture ». Il a divisé le personnel de sa manufacture de logarithmes en trois groupes : le premier comprenait les 5 à 6 meilleurs géomètres français, chargés de trouver les meilleures formules analytiques pour calculer les logarithmes, le second, 7 ou 8 mathématiciens dont la tâche était de convertir les formules analytiques en formules numériques, enfin le troisième, 60 à 80 individus sachant faire uniquement des additions et des soustractions. Prony a aussi remarqué plaisamment que les « individus » spécialisés uniquement dans l'addition et la soustraction exécutaient les calculs avec plus d'exactitude que les personnes instruites en mathématiques.

Les machines sont employées tantôt à *produire* de la force (qui s'ajoute alors à celle de l'homme), tantôt à la *transmettre* et à *exécuter* un travail. Babbage voit deux avantages principaux qu'on peut tirer de l'emploi des machines : l'économie du temps et l'augmentation de la valeur. L'économie manufacturière transforme en valeur cette ressource rare qu'est le temps. Grâce aux procédés industriels, un ouvrier peut en un temps très court exécuter un travail demandant autrefois un temps considérable (par exemple la désintégration des roches à l'aide d'explosifs). Les machines dans l'industrie permettent l'économie du temps et des matériaux, tant au cours de l'apprentissage que dans la production. La transformation des matières premières en produits qui ont de la valeur commerciale peut multiplier dans certains cas la valeur initiale par un facteur qui est de l'ordre 10 000 à 100 000, comme pour la confection de la dentelle à partir du lin.

L'ancien monde des métiers qui est celui du *faire* fait place à l'univers de la *fabrication* qui définit un autre mode de production et un autre régime économique. « Si donc celui qui *fait* un article de consommation veut en devenir *fabricant*, dans le sens le plus général de ce mot, il ne doit pas borner son attention aux principes mécaniques desquels peut dépendre la bonne exécution de son produit ; il doit, de plus, disposer avec soin tout le système de fabrication, de manière à livrer le produit au plus bas prix possible. (...) La concurrence est un aiguillon puissant pour le presser et le pousser vers l'étude des principes d'économie privée qui président à toute espèce de fabrication. » (p. 158) Une production manufacturière exige de grandes séries dont la fabrication est réglée pour minimiser les coûts. L'inflexion décisive que donne Babbage à la technologie est donc son *intégration dans l'économie*

du marché à l'échelle de la planète, soumis au jeu de la concurrence.

Les premiers technologues allemands concevaient leur discipline comme instrument devant faciliter les décisions macro-économiques par les autorités des États autocratiques allemands pour organiser la production. Babbage, théoricien de l'industrie du pays le plus développé et en plein essor, écrit pour les entrepreneurs et les fabricants. L'État n'a plus de place dans ses analyses. Le traité de Babbage apprend comment installer et organiser les entreprises fonctionnant dans une économie dynamique à l'échelle de la planète, entreprises dont le but est de pénétrer sur les marchés et d'évincer leurs concurrents. Ce qui est en jeu, c'est toujours l'optimisation des gains par rapport aux coûts, mais le contexte politique et économique est tout autre : libre entreprise, concurrence, économie non protectionniste.

La production de nouveaux objets et la construction de nouvelles machines suscitent des problèmes inconnus au temps des arts et métiers. Toutes les activités liées à l'organisation du travail industriel font l'objet d'un examen attentif dont dépend la vie ou la mort des entreprises. Le traité de Babbage contient des recherches sur les critères de l'installation des usines, sur le calcul des dépenses liées à l'achat des outils, des machines et des matières premières, sur les frais de fonctionnement et les frais de recherche, sur l'estimation de la demande future et la prévision des débouchés, sur la vitesse de la fabrication, vitesse du remplacement d'un produit par un autre, vitesse du remplacement d'une machine par une autre plus perfectionnée, sur la durée optimale du travail et aussi sur l'utilisation des résidus et des déchets. Babbage envisage aussi le problème de l'« usure morale » des machines : le fait qu'une machine en bon état de marche soit remplacée par une autre, plus performante. Ces problèmes sont toujours les nôtres. Après le *projet* de Christian, Babbage offre une première grande *synthèse* de la technologie manufacturière fondée sur la nouvelle division du travail. Il reste à rappeler que chez Babbage, dans l'étude de l'économie industrielle, une force nouvelle entre en scène, issue du jeu libre qui se déroule entre le capital, l'invention, les matières premières et le travail : la classe ouvrière.

Le libéralisme intégral d'Andrew Ure

Plus de la moitié de la *Philosophie des manufactures* (1835) d'Andrew Ure est consacrée aux problèmes

humains, moraux, sociaux et religieux suscités par la grande concentration des ouvriers, hommes, femmes et enfants dans les usines. C'est en effet par l'accent mis sur les questions sociales que se distingue son ouvrage de ceux de ses prédécesseurs bien qu'il se présente comme une description de l'industrie britannique, principalement de l'industrie textile, et entreprenne un réexamen de la division du travail dans le nouveau système de la production manufacturière. Ure est sensible à la pénibilité du travail manufacturier mais croit que les améliorations qu'apporte la science dans les manufactures ont un but et un effet « *philanthropique*, étant donné qu'elles tendent à soulager les ouvriers astreints à la précision dans les ajustement, qui épuise leur esprit et fatigue leur yeux, ou à la répétition pénible de leur effort » (p. 19). Il fait l'éloge des « halles spacieuses » et des machines automatiques qui exécutent tout travail pénible ou régulier par des mécanismes d'auto-régulation que « même un enfant peut surveiller » (p. 19). Ure commence par quelques définitions. Par *manufacture* (angl. *manufacture*), il entend « chaque important produit de l'art fait à l'aide des machines, avec très peu ou aucune aide de la main humaine, de sorte que la manufacture la plus parfaite est celle qui peut se dispenser entièrement d'utiliser le travail humain » (p. 1). La manufacture désigne donc un mode de production fondé sur l'usage presque exclusif des machines sans autre intervention humaine sinon la surveillance et le contrôle. Le mot *fabrique* (angl. *factory*) a un sens plus restreint : « il désigne l'opération combinée de plusieurs sortes d'ouvriers, adultes ou jeunes, qui surveillent avec adresse et assiduité le système machinal productif qui est continuellement actionné par une puissance motrice centrale » (p. 13). Contrairement à la manufacture qui a plusieurs moteurs, la fabrique est un système concaténé de mécanismes et autres « organes » mû par un seul moteur. D'après le critère de connexité des éléments et d'unicité de la force motrice, Ure range parmi les fabriques toutes sortes de filatures, mais en exclut les brasseries, les distilleries, les forges et les ateliers de menuiserie par exemple. L'unicité du moteur rend possible une vision toute organique de la fabrique qui est un « vaste automate composé d'organes mécaniques et intellectuels variés qui agissent de concert et de manière ininterrompue pour produire un objet courant, le tout étant soumis à la force motrice auto-régulée » (p. 13).

Les manufactures obéissent aux trois principes d'action que Ure compare à trois systèmes organi-

ques : le système mécanique, le système moral et le système commercial. La correspondance que je résume dans le tableau suivant permet de faire ressortir le rôle fondamental du modèle biologique dans la distribution des fonctions de la production manufacturière :

système organique		agent	« puissance »
de la manufacture	de l'animal		
système mécanique	système musculaire	l'ouvrier	le travail
système moral	système nerveux	le maître	la science
système commercial	système sanguin	l'État	le capital

Par un curieux retournement des choses, ce ne sont plus les machines qui expliquent le fonctionnement du vivant, mais l'organisme qui devient le modèle d'un système mécanique complexe, la manufacture. Chaque manufacture est assimilée à un corps organique, « un corps qui doit remplir ses différentes fonctions par l'intermédiaire d'une agence interne autonome, tout comme celles de la vie organique » (p. 55).

À leur tour, les fabriques et les manufactures forment un système. La philosophie des manufactures a pour but d'exposer « les principes généraux qui devraient gouverner la production industrielle à l'aide d'une machine automatique » (p. 1). Étant donné qu'elle recherche « les modes les plus économiques et les plus énergétiques de l'application de la force motrice aux différents organes actifs » (p. 36-37), on est bien en droit de l'identifier à la technologie.

Un ton nouveau apparaît lorsque Ure aborde la division du travail. Certes, Adam Smith n'avait pas tort de la considérer comme le principe qui préside à l'amélioration de la production manufacturière au début de la révolution industrielle. Cependant, l'industrie actuelle – celle du temps de Ure – n'a rien à faire de la distribution des tâches et des rémunérations selon leur difficulté d'exécution. Il ne s'agit plus d'adapter les opérations de production aux différentes aptitudes de l'homme ; « au contraire, chaque fois qu'un processus demande une dextérité et application particulières de la main, il est aussitôt retiré à l'astucieux ouvrier, qui agit avec toute sorte d'irrégularités, et pris en charge par un

mécanisme spécial qui est si auto-régulé qu'un enfant puisse le surveiller » (p. 19). Le travail manufacturier développé n'appelle plus la réorganisation des tâches dont certaines seraient mécanisées, d'autres confiées à la main de l'ouvrier. La division du travail ne décompose plus les gestes de l'ouvrier ; elle décompose les opérations en segments susceptibles d'être exécutés par des machines. Le but ultime de l'introduction des machines, c'est automatisation et auto-régulation, la main de l'ouvrier n'intervient plus dans le processus de fabrication. Tout geste demandant une adresse particulière peut perturber le déroulement régulier des opérations machinales, par conséquent, tout procédé délicat, susceptible de souffrir de la maladresse de l'ouvrier, doit lui être retiré pour être confié à la machine. Les seules tâches humaines dans une manufacture automatisée sont celles de surveillance.

Or, la surveillance n'exige aucun talent ou habileté particuliers. C'est pourquoi l'usine idéale de Ure est une usine automatisée où le travail des machines est surveillé et contrôlé seulement par des enfants (que font donc les adultes?). « Cette tendance d'employer uniquement les enfants avec leurs yeux attentifs et leurs doigts agiles au lieu des ouvriers ayant une longue expérience montre que le dogme scolastique de la division du travail selon les degrés d'habileté a éclaté grâce à nos manufacturiers éclairés. » (p. 23) La tendance à l'automatisation et à l'autorégulation a pour conséquence que le travail industriel, limité à la surveillance des machines, cesse d'être une corvée et devient agréable. Mais l'inébranlable optimisme de Ure est soumis à rude épreuve. Contre les rapports dramatiques sur les conditions du travail dans les filatures, Ure fait valoir que tout effort pénible est confié à la machine, les gestes de l'ouvrier ne demandant que de la dextérité et de l'attention, et que le travail se déroule dans de vastes halles bien éclairées et aérées, lieux mis gracieusement à la disposition des travailleurs par l'entrepreneur. En outre, la distribution égalitaire des tâches est supposée mettre fin aux disputes et aux rixes entre ouvriers. Ure voit dans ce nouveau mode de travail l'occasion de développer une culture technique d'un genre nouveau qu'il valorise sans réserve : « En matière de science mécanique exacte, aucune école ne peut rivaliser avec une manufacture moderne de coton. » (p. 25) Or, paradoxalement, il juge à maintes reprises que plus un ouvrier est habile et instruit, moins il est apte à s'ajuster comme composante d'un système mécanique ; dans ces moments, on entend en lui l'écho des brutales et fameuses invectives d'Adam Ferguson.

Cette vision de l'automatisation comme perspective inéluctable de l'industrialisation a pour corollaire et même pour but le remplacement des ouvriers spécialisés par la simple main-d'œuvre sans instruction, c'est-à-dire par les femmes et surtout par les enfants. En décrivant les inventions de Richard Arkwright pour automatiser la filature de coton, le *water frame* et ses *throstle mills*, Ure observe que la principale difficulté pour introduire le mode manufacturier de production « consiste non pas tant dans l'invention de mécanismes automatiques appropriés (...) que dans la distribution des différents membres du système en un corps coopératif, faisant fonctionner chaque organe avec la délicatesse et la vitesse voulues et par-dessus tout dans l'éducation des êtres humains pour les faire renoncer à leurs habitudes décousues de travail et les faire s'identifier à la régularité invariable d'un automate complexe. » (p. 15) Aux yeux de Ure, la grande contribution d'Arkwright à cette « puissante révolution que le nouveau système de travail était destiné à accomplir par la Providence » consistait dans l'élaboration « d'un code de discipline couronné de succès » et dans son application aux masses déshéritées qui quittaient la campagne pour être captées par la nouvelle discipline de production.

On comprend pourquoi Ure insiste sur les bienfaits de l'automatisation de la production. Un système manufacturier automatisé n'a pas besoin d'ouvriers adultes, rebelles à la discipline de la fabrique et qui se coalisent contre les patrons ; les enfants y suffisent. « Même aujourd'hui, lorsque le système est parfaitement organisé et le travail allégé au maximum, il est presque impossible de convertir les personnes au-delà de l'âge de la puberté en ouvriers de fabrique utiles, qu'ils viennent de la campagne ou des métiers. » (*ibid.*) Nouveau paradoxe : Ure ne décrit-il pas le travail à l'usine comme une des occupations les plus agréables, comparée au dur effort de l'ouvrier à domicile, à l'esclavage des artisans, au travail pénible et dangereux du mineur, à l'arriération dans laquelle vivent les paysans ?

Ure vit dans une époque où la révolution industrielle produit les plus grands bouleversements dans la société britannique. L'industrialisation sauvage dépeuple les campagnes, parce que les paysans déracinés dans des *slums*, enchaînent hommes, femmes, enfants dans un labeur sans fin et sans espoir. Les réactions ne se font pas attendre : les arrêts de travail se multiplient, les ouvriers détruisent les machines, les grandes grèves manifestent pour la première fois la force des organisations ouvrières. Les conditions de travail,

en particulier des enfants, suscitent des protestations de l'opinion publique et une enquête parlementaire qui aboutit à de célèbres rapports. Dans ce contexte social, Ure plaide pour l'épanouissement du système industriel sans entraves législatives, sans contrôle, où le capitaliste est le maître absolu de la force de travail. Le rôle des syndicats ? « C'est une des vérités les plus importantes qui résulte de l'analyse de l'industrie manufacturière, à savoir que les syndicats sont des conspirations des ouvriers contre les intérêts de leur propre classe. » (p. 41) Les syndicats pratiquent une politique suicidaire : ils proposent des revendications absurdes, pratiquent le monopole de l'embauche ; ils demandent la réduction des heures de travail et l'augmentation des salaires, alors que l'existence d'un comité stipendié par eux apporte la preuve que les salaires sont élevés. Heureusement, l'automatisation mettra fin à leurs folies.

Et le travail des enfants, l'infamie de « notre esclavage anglais blanc » ? D'abord, toutes les histoires sur la cruauté envers les enfants exercée par les propriétaires des filatures ne sont que des contes. La tendance à surcharger les enfants est soumise à des contrôles, et si jamais il y avait quelque mauvais traitement, les seuls coupables sont les fileurs eux-mêmes, les ouvriers, jamais les propriétaires. La durée du travail (onze à douze heures par jour) et le travail nocturne n'ont jamais fait aucun dommage aux enfants, leur rémunération est suffisante et Ure, au cours de ses visites des manufactures, n'a rencontré que des enfants heureux.

Il se préoccupe de la santé physique des ouvriers (il décrit en détail le système de ventilation dans une usine à Manchester) et plus encore de leur santé morale qui doit les empêcher de tomber dans les préjugés et le vice. C'est à la religion qu'incombe la tâche de préparer les esprits pour la discipline du nouvel âge du fer : « Son bonheur principal, on doit l'attendre non pas dans l'état présent, mais dans l'état futur de l'existence. » C'est la croix du Christ qui délivre du péché, qui incite à l'obéissance, « qui la rend praticable, qui la rend acceptable » (pp. 423-425).

Après cette préparation morale de la classe ouvrière, le retour aux réalités de l'économie. Dans ce « nouveau système belligérant » où les nations remplacent le combat sur les champs de bataille par la conquête des marchés étrangers, Ure préconise la liberté du commerce. L'essor des manufactures britanniques est dû à cette liberté, en contraste avec la politique du gouvernement français toujours inspiré des principes de Jean-Baptiste Colbert. Toute politique protectionniste inflige des dommages à son propre peuple, car toute limitation

des importations entraîne une limitation des exportations. D'ailleurs, si un gouvernement peut à la rigueur établir de mauvaises lois, il ne peut pas contraindre l'humanité tout entière à leur obéir. La nature humaine sait trouver des moyens pour contourner des interdictions de sorte que c'est le contrebandier qui rétablit la vérité de l'économie contre la mauvaise législation et « fait valoir les droits de l'homme ». Ainsi, le système manufacturier est pour Ure solidaire de la liberté sans entrave d'entreprendre, de vendre et d'acheter.

La postérité a relevé surtout les aspects idéologiques de l'œuvre de Ure. Friedrich Engels et John Stuart Mill ont dressé un tout autre tableau de la situation de la classe ouvrière et du travail des enfants. Les arguments de Ure sont encore aujourd'hui ceux des tenants de la libre entreprise un peu partout dans le monde et l'innovation et le dynamisme de l'industrie dans les pays qui mettent en pratique l'enseignement de Ure tout en le tempérant par des mesures de protection sociale l'emporte non seulement par l'efficacité mais aussi par la cohésion sociale sur des pays comme la France, qui préfèrent l'exclusion à la précarité, donc l'exclusion à l'intégration, en mettant presque 10 % de la population active au chômage. On connaît les invectives de Marx contre le libéralisme sans limites accompagné par la prédication morale et religieuse de Ure, mais le même Marx a été un de ses disciples les plus assidus. C'est chez Ure que Marx a appris l'avenir de la production industrielle sous la forme d'usine automatisée et auto-régulée. Les pays du « socialisme réalisé » (pays communistes en leur temps) ont fait leur discours contre les organisations ouvrières indépendantes. Néanmoins, Ure pose de vrais problèmes qui sont encore les nôtres. Il compare la durée du travail et les salaires dans les pays développés (principalement la Grande Bretagne) et dans les pays sous-développés (provinces germaniques). Il discute les distorsions du commerce international dues à l'existence de pays à main-d'œuvre bon marché. Il pose la question du protectionnisme et de l'utopie des théoriciens restrictivistes : un pays peut-il s'industrialiser en se fermant au reste du monde et en produisant tout par lui-même ? Comment répondre à sa justification du *factory system* britannique ? Est-il possible d'industrialiser un pays autrement qu'en faisant appel à la discipline militaire garantie par l'ordre moral ou, comme on l'a vu au ^{xx}e siècle, carrément par la terreur ?

Un projet inachevé

La technologie allemande, discipline académique enseignée pendant une cinquantaine d'années dans les universités, eut du mal à s'imposer en France. L'entreprise beckmannienne revient essentiellement à reprendre à petite échelle, à compléter et à adapter pour l'enseignement le travail de Denis Diderot dans l'*Encyclopédie* et la *Description des arts et métiers* de l'Académie des sciences. L'esquisse de 1806 indique le chemin vers la technologie générale ou comparée, mais Johann Beckmann, témoin de l'expansion du machinisme, reste toujours enfermé dans les limites étroites de la production artisanale et accorde peu d'attention aux machines. Malgré les conférences de Jean-Henri Hassenfratz au Lycée des Arts et à l'École polytechnique, la nouvelle discipline n'a jamais vraiment pris pied en France. Elle n'a été intégrée ni dans le cursus de l'École polytechnique ou d'autres grandes écoles, ni dans l'enseignement universitaire. Aucun grand savant ne s'y est directement intéressé même si presque tous, en particulier Gaspard Monge avec sa géométrie descriptive et Jean-Victor Poncelet avec sa théorie des machines y ont apporté des contributions essentielles. De ce fait, elle est restée marginale par rapport à l'extraordinaire essor de la science française qui se poursuit depuis le ^{xvii}^e siècle.

Le projet de Christian baigne dans une tout autre atmosphère. Son *Plan de technonomie* (1817) propose « une théorie complète et générale des manufactures ». Christian écrit au moment où la production artisanale est encore prédominante en France, mais où la production industrielle est déjà aux commandes. Sa théorie de la mécanisation du travail manuel analyse le moment crucial de ce basculement et est au cœur de son projet.

À mon avis, le sort de la technologie en France et à moyen terme en Europe dépend autant de deux facteurs. D'une part, le public qui devrait être concerné – ingénieurs, techniciens, entrepreneurs, administration publique – manifeste très peu d'intérêt pour cette nouvelle discipline. Christian a en vue une théorie unifiée des opérations industrielles qui comprend aussi bien les aspects techniques que les aspects économiques. Or, les enseignants du Conservatoire des arts et métiers ont peu de goût pour les réflexions théoriques et préfèrent une spécialisation de plus en plus poussée. D'autre part, les programmes de l'École polytechnique accordent la priorité aux disciplines fondamentales, mathématiques physiques, chimie ; ensuite seulement vient la spéciali-

sation dans les écoles d'application. La conception de l'École *polytechnique*, soutenue par le prestige des savants qui y enseignent, l'emporte sur le projet d'une théorie *unitaire* à construire. L'extraordinaire essai de Christian tombe complètement dans l'oubli.

La technologie est alors remplacée par la science appliquée et cette conception a fini par devenir prédominante même dans les pays germaniques où l'on fondait les écoles polytechniques selon le modèle français. Après 1830, son enseignement s'éteint lentement dans les universités allemandes, les parties techniques étant confinées aux écoles d'ingénieurs et à d'autres écoles spécialisées.

C'est alors que les Britanniques prennent la relève. Déjà les économistes Adam Smith et David Ricardo parcourent les considérations sur l'économie et les impôts de remarques sur les manufactures et les machines. On a vu comment les grandes analyses théoriques de l'industrie manufacturière par Babbage et Ure aboutissent à la synthèse marxienne. Après Marx, à quelques exceptions près (la théorie des mécanismes de Reuleaux) cette « science toute nouvelle de la technologie » se disperse, s'étiole, disparaît. Pendant des décennies, la réflexion sur la révolution industrielle qui fut un des grands tournants de l'histoire moderne, devient une tache aveugle de notre culture. Vers la fin du ^{xix}^e siècle seulement, l'activité technique et en particulier la grande industrie commence enfin à être prise en compte par quelques philosophes. Il faut attendre le ^{xx}^e siècle pour voir des historiens, des sociologues, des ethnologues et des anthropologues reconnaître l'importance du phénomène technique. Sa maîtrise devient aujourd'hui un problème planétaire où se concentrent comme dans un foyer les questions touchant l'avenir de l'humanité. Il est donc temps d'accorder à la connaissance technique la place dans l'ensemble du savoir qui correspond à celle que la technique occupe dans l'ensemble des activités humaines. Cela revient à reprendre le projet beckmannien d'une technologie générale, d'une théorie systématique des techniques capable de répondre aux défis du ^{xx}^e siècle.

Compléments bibliographiques

Auzias J.-M., *La Philosophie et les techniques*, Paris, PUF, 1971.

Banse G. éd., *Allgemeine Technologie zwischen Aufklärung und Metatheorie. Johann Beckmann und die Folgen*, Berlin, 1997.

- Banse G. et Reber E. O. éd., *Allgemeine Technologie - Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft, Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät*, Bd 50 (2001), Heft 7.
- Beaune J.-C., *La Technologie introuvable*, Paris, Aubier-Montaigne, 1980.
- Cahiers STS n° 2, De la technique à la technologie*, Paris, Ed. CNRS, 1984.
- Dagognet F. *L'Essor technologique et l'idée de progrès*, Paris, Armand Colin, 1997.
- Di Lisa M., « Dalla storia delle arti alla tecnologia generale (1777-1819) », *Studi storici* (1986), n° 2, p. 303-334.
- Germinard L., *Logique et technologie*, Paris, Dunod, 1970.
- Gille B., *Les Mécaniciens grecs, la naissance de la technologie*, Paris, Le Seuil, 1980.
- *Les Ingénieurs de la Renaissance*, Paris, Le Seuil, 1978.
- Guillerme, J., *Technique et technologie*, textes choisis et présentés par J. Guillerme, Paris, Hachette, 1973.
- Guillerme, J. et Sebestik, J. « Gli inizi della tecnologia », dans *Storia del disegno industriale, 1750-1850*, Milano, Electa, 1989, pp. 14-37.
- Goffi J.-Y., *La Philosophie de la technique*, Paris, PUF (« Que sais-je? », n° 2405), 1988.
- Haudricourt A.-G., *La Technologie, science humaine. Recherches d'histoire et d'ethnologie des techniques*, Paris, Éd. de la MSH, 1987 (préface de F. Sigaut).
- Hilaire-Pérez L. *L'Invention technique au siècle des Lumières*, Paris, Albin Michel, 2000.
- Landes D. S., *Prometheus unbound*, London, Cambridge University Press, 1969.
- Marx K., *Die technologisch-historischen Exzerpte*, Transkribiert und herausgegeben von H. P. Müller, Frankfurt, 1982.
- Müller H.P. et Troitzsch U. éd., *Technologie zwischen Fortschritt und Tradition* (Beiträge zum internationalen Johann-Beckmann-Symposium, Göttingen 1989), Frankfurt/Main, 1992.
- Perrin, J., *Comment naissent les techniques. La production sociale des techniques*, Paris, Publisud, 1988.
- *Construire une science des techniques*, Limonest, L'interdisciplinaire, 1991.
- Rapp F., *Analytische Technikphilosophie*, Freiburg, Alber, 1978.
- Rapp F., éd., *Contributions to a philosophy of technology*, Dordrecht-Boston, 1974.
- Roqueplo P., *Penser la technique*, Paris, Le Seuil, 1983.
- Ropohl G., *Eine Systemtheorie der Technik*, München-Wien, Carl Hanser Verlag, 1979.
- *Technologische Aufklärung, Beiträge zur Technikphilosophie*, Frankfurt am Main, Suhrkamp taschenbuch wissenschaft 971, 1991.
- Salomon J.-J., « What is technology ? The issue of its origin and definitions » *History and technology*, vol. I, 1984, pp. 113-156.
- *Destin technologique*, Paris, Gallimard, « Folio », 1994.
- Sebestik J., « The rise of the technological science », *History and technology*, vol. I, 1983, pp. 25-44.
- « De la technologie à la technonomie : Gérard-Joseph Christian », *Cahiers STS n° 2, De la technique à la technologie*, Paris, Ed. CNRS, 1984.
- « The introduction of technological education at the Conservatoire des arts et métiers », dans Melvin Kranzberg éd., *Technological education, technological style*, San Francisco Press, 1986.
- Seibicke, W., *Versuch einer Geschichte der Wortfamilie um τεχνη vom 16. Jh. bis etwa 1830*, Düsseldorf, 1968.
- Séris J.-P., *Machines et communication*, Paris, Vrin, 1988.
- *Qu'est-ce que la division du travail ? Fergusson*, Paris, Vrin, 1994.
- *La Technique*, Paris, PUF, 1994.
- Shinn Th., *Savoir scientifique et pouvoir social. L'École polytechnique 1794-1914*, Paris, 1980.
- Sigaut T., « More (and enough) on technology », *History and technology*, vol. 2, 1985, pp. 115-132.
- « Haudricourt et la technologie », préface à Haudricourt A.-G., *La Technologie, science humaine*, Paris, Éd. de la MSH, 1987.
- Susskind Ch., *Understanding technology*, Baltimore, The John Hopkins University Press, 1973.
- Vatin, F., *Le travail, économie et physique (1780-1830)*, Paris, PUF, 1993.
- Vérin H., *La Gloire des ingénieurs : l'intelligence technique du xvi^e au xviii^e siècle*, Paris, Albin Michel, 1993.
- Weber W., « Technologie und Polytechnik in Preussen im 18. und 19. Jahrhundert », dans *Philosophie und Wissenschaft in Preussen*, Berlin, TUB Dokumentation, Kongresse und Tagungen, Heft 14, pp. 175-200, 1982.