



LE PARADIGME EUROPÉEN

Quelques réflexions sur l'histoire des sciences et des techniques

Jean Sebestik

Des grandes civilisations, seule la civilisation européenne s'est engagée sur une voie qui semble démentir l'assimilation des sociétés aux organismes, illustrée avec éclat par Spengler dans le *Déclin de l'Occident*. Depuis deux millénaires et demi, il est vrai en traversant une période sombre entre l'Antiquité et le Moyen Age, à chaque époque, elle réussit à se renouveler et à retrouver les élans de sa jeunesse. Comme d'autres civilisations, l'Europe est profondément marquée par la religion, en l'occurrence par le christianisme, né en Orient, et qu'elle a adopté et adapté. Contrairement aux autres civilisations, elle a donné naissance aux trois phénomènes originaux : la démocratie, la science et la technique industrielle, non en tant qu'événements de portée limitée, mais comme conquêtes durables. Ce sont principalement les relations entre la science et les techniques, dans la mesure où elles conduisent à la révolution industrielle, qui feront l'objet de ma conférence.

Chaque civilisation a développé un savoir et des techniques, souvent d'une grande subtilité et particulièrement bien adaptés à ses conditions de vie. Le cas de l'Europe reste cependant unique : sa science vise d'emblée, dès le début, l'universel et, depuis les Grecs, la figure de cette universalité est mathématique. La science, par sa vocation et en contraste avec des savoirs magiques ou ésotériques, est publique, insoumise et souveraine; le roi et l'esclave obéissent aux mêmes règles et peuvent atteindre le même savoir. Cette science s'efforce de se constituer en un vaste système englobant tous les domaines, intégrant toutes les connaissances qui ont été passées au crible de la méthode

reconnue par tous. La ramification progressive de cet immense réseau, de cet arbre du savoir constitue la trame même de notre civilisation.

L'Europe vise l'universalité, mais cette universalité portera toujours l'empreinte de l'insatiable curiosité de la mosaïque des peuples qui habitent ce que Paul Valéry a considéré comme n'étant qu'un cap de l'Asie. Aucune autre civilisation n'a autant scruté le ciel, sillonné les mers, ne s'est lancée à la conquête de terres inconnues, n'a tenté de pénétrer la composition de la matière et la structure de l'univers, de percer les secrets de la vie et les ressorts de l'action humaine, avide d'apprendre et de s'approprier ce qu'elle trouve de meilleur chez tous les peuples du globe. Sur des paravents peints par des artistes japonais, montrant l'arrivée des navigateurs portugais au Japon au XVII^e siècle, figure cette légende : Qu'est-ce qui pousse ce peuple fou à tourner autour de la terre comme la lune ? Rien de comparable à la curiosité européenne non plus chez les Chinois qui ont toujours considéré les autres peuples comme des barbares dont il n'y a rien à apprendre. Il est vrai que l'Europe présente à l'extérieur souvent un visage d'agresseur, de conquistador impitoyable, imposant là où elle le pouvait ses croyances et ses rites, ses convictions et ses coutumes, sa volonté de puissance, convaincue de son bon droit et de l'universalité de sa mission.

La spécificité, la spécialité, oserais-je dire, de l'Europe, c'est le progrès illimité combiné avec la durée. Les empires d'Orient et même la civilisation musulmane qui a atteint son apogée au bout de trois siècles d'expansion fulgurante pour amorcer ensuite son déclin, confirment la conception cyclique, organique de l'histoire au sens de Spengler ou de Toynbee. Les forces créatrices de la Chine et de l'Inde furent épuisées lorsque se sont présentés à leur portes les nouveaux venus, les Européens.

Le cas des pays conquis et convertis par l'islam est exemplaire. Cette civilisation, animée par le dynamisme conquérant d'une nouvelle religion et répandue sur trois continents, a réussi à s'approprier et à développer l'héritage scientifique grec et a repris le flambeau de la civilisation universelle. Ses brillantes écoles, ses philosophes et ses savants ont donné une orientation nouvelle aux mathématiques, à la

médecine et à la pharmacie. Mais la civilisation musulmane n'a pas réussi à résister ni à la reconquista espagnole, ni à l'envahisseur mongol et à ses successeurs; elle a perdu son élan pour se terminer par la stagnation et la simple survie. Il semble aussi que la science n'a pas réussi à conquérir une place autonome et durable au sein de la civilisation musulmane. Malgré l'importance de ses institutions savantes comme la Maison de la Sagesse à Bagdad, comparable au Musée d'Alexandrie, dans son ensemble, la science, toujours un peu suspecté de détourner les croyants de la voie prescrite par la religion, a fini par se situer en marge de la civilisation musulmane sans produire des effets notables sur l'organisation de la société.

Le problème du déclin de la civilisation musulmane n'est que l'envers du problème de la réussite européenne dans la durée. C'est au sein de la civilisation européenne qu'a été déclenché un processus irréversible qui consiste moins dans l'accumulation des connaissances et des inventions que dans leur *renouvellement* perpétuel et de leur impact sur la vie quotidienne. Ce processus conduit vers la révolution industrielle qui est l'un des phénomènes les plus importants de l'histoire de l'humanité.

Il ne s'agit pas ici de proposer une nouvelle théorie de la révolution industrielle. Même si la discussion du poids relatif des différents facteurs qui entrent en jeu est ouverte, le déroulement, les étapes de ce processus sont bien connus. Il n'en est pas de même pour sa signification, ses liens avec d'autres phénomènes, la manière dont la révolution industrielle s'insère dans l'histoire humaine. Plutôt que de m'aventurer à en proposer une explication causale, je voudrais tenter une exploration de ses *conditions*, une reconstruction de l'*espace* dans lequel la révolution industrielle est devenue possible; espace à plusieurs dimensions dont les coordonnées sont géographiques, politiques, sociales, juridiques, économiques ainsi que scientifiques, philosophiques et conceptuelles.

Il est aujourd'hui clair que la révolution industrielle est un phénomène qui, malgré sa soudaineté, a été préparé au cours des siècles

précédents et même peut-être depuis le Moyen Age. Or, une civilisation se définit également par la circulation et l'échange d'information. A cet égard, aucune autre civilisation que celle de l'Europe n'a créé autant de moyens pour intensifier l'échange des connaissances. C'est pourquoi la première condition de la réussite européenne consiste dans le système d'enseignement dont s'est doté le Moyen Age et dont nous sommes les héritiers directs. Dans l'espace de deux à trois siècles, l'Europe s'est couverte d'un réseau d'universités, institutions dont on ne voit guère d'exemple dans d'autres civilisations et qui ont assuré la formation des élites intellectuelles, scientifiques et politiques. Plus important encore : chaque fois que le système d'enseignement s'est révélé inadéquat, les pays européens ont réussi à créer des institutions nouvelles qui remplaçaient ou complétaient un enseignement sclérosé. C'est ainsi que, au cours des siècles, des Académies ou des institutions comme le Collège de France ou le Muséum d'Histoire Naturelle ont assumé le rôle qui incombait aux universités. D'autres institutions suivaient qui prenaient en charge la formation scientifique et technique de haut niveau : les grandes écoles en France, dont l'Ecole polytechnique qui est devenu le modèle des Ecoles supérieures techniques à travers l'Europe et au delà. Le XIXe siècle a vu l'éclosion de toute sorte d'écoles spécialisées comprenant également des écoles des manufactures et de l'industrie, et ce processus continue de nos jours avec la fondation au rythme accéléré de différents instituts de recherche.

Même si l'enseignement médiéval était organisé autour de la théologie et relevait davantage du commentaire que de la recherche indépendante, la méthode scolastique est devenue la propédeutique de la science moderne. C'est dans les universités médiévales qu'était élaborée la méthode logique, à savoir la méthode d'argumentation et de raisonnement correct, de classification et d'organisation systématique du savoir. Le Moyen Age a mis en pratique et même codifié la dialectique platonicienne, la recherche de la vérité par le dialogue, la discussion et la confrontation d'opinions opposées.

Essentielle pour la formation de la science moderne est également la combinaison scolastique du christianisme avec l'aristotélisme, plus

exactement l'insertion des doctrines aristotéliennes dans le contexte du christianisme : pensée créationniste, remplacement du temps cyclique par le temps linéaire de la création où se joue le drame de l'histoire humaine et du salut. La rationalité scolastique expulse progressivement de la nature des forces obscures, maléfiques ou bienfaisantes. La nature perd ses pouvoirs magiques : "la Nature n'est pas une déesse", écrit Descartes; elle est désormais pure extériorité, étendue homogène dont les forces sont explicables par des causes mécaniques. Descartes a porté cette conception au paroxysme : tout dans la nature, y compris les êtres vivants (les animaux qui ne sont que des automates) se déroule selon la stricte causalité mécanique qui agit par contact et par choc. La totalité de la nature est ainsi mise à la disposition de l'homme, son "maitre et possesseur". La nature qui, pour les Grecs, était toute animée, y compris les astres, perd avec Descartes l'attribut essentiel de la vie, l'intériorité et l'autonomie. Elle est désormais livrée à l'homme pieds et poings liés; la matière, transformée en substance étendue dépourvue d'activité propre, devient l'objet de manipulations techniques. Physiquement et moralement, elle est prête à subir les opérations que l'homme jugera bon d'entreprendre. La mathématique universelle cartésienne, manifestation suprême des pouvoirs de la *res cogitans* a son prolongement direct dans la technique universelle qui opère dans la *res extensa*.

Le morcellement politique de l'Europe, le système de deux pouvoirs indépendants, l'un temporel, l'autre spirituel, a empêché la formation d'un empire monolithique et immobile. Les villes libres avec leurs privilèges ont joué un rôle essentiel dans le processus de civilisation et dans le progrès scientifique et technique qui est ainsi associé aux germes de la démocratie en milieu féodal. De cette sorte, l'Europe a pu prévenir à la racine la divinisation du pouvoir politique et l'installation de régimes despotiques ou totalitaires, et préserver des espaces de libertés, malgré des tentatives répétées de domination absolue. La scission religieuse due à la réforme a mis fin à l'unité de la civilisation médiévale; en revanche, en mettant l'accent sur l'adhésion individuelle à la foi, elle a ouvert la porte de l'examen et de la critique libre auxquels en principe rien ne devait se soustraire.

On a suffisamment souligné les aspects juridiques et économiques qui ont rendu possible la croissante concentration du travail manufacturier jusqu'à atteindre un point critique à partir duquel l'ensemble de la production matérielle fut entraîné dans un tourbillon sans fin : respect et protection de la propriété privée, circulation du capital, instauration d'un système fiable de crédit, réseau commercial très développé, progrès de l'agriculture qui, surtout en Angleterre, a rendu disponible une masse de travailleurs pour être employés dans les *mills*, *factories*, manufactures ou usines. Quel que soit le jugement que l'on porte sur les thèses de Max Weber, il est certain que le développement du capitalisme est concomitant avec l'austérité protestante et le puritanisme : c'est le Nord-Ouest de l'Europe qui s'est d'abord engagé dans la révolution industrielle en entraînant les autres à sa suite.

Ce par quoi la civilisation européenne a durablement devancé les autres civilisations, c'est en premier lieu la science. Avant d'être maître, elle se met à l'école des Grecs et des Arabes. Les mathématiques grecques tout d'abord : elles constituent la langue de la science exacte jusqu'à et y compris Newton, et l'essentiel de la géométrie grecque faisait encore partie de notre enseignement jusqu'au seuil de notre siècle. Mais soulignons l'apport non négligeable des mathématiques arabes, non négligeable parce qu'elles contiennent virtuellement une nouvelle conception de rationalité qui sera celle de la nouvelle science (et de la technique qui se greffera sur celle-ci) : la rationalité *opératoire*. Les mathématiques grecques consistent dans l'étude des propriétés des nombres et dans la construction et manipulation des figures, essentiellement du point de vue de leur mesure. Cette mathématique laisse complètement de côté l'aspect opératoire, calculateur, elle traduit les relations algébriques en termes de rapports entre les segments ou entre les aires construites géométriquement. Le calculateur grec était un artisan et son savoir-faire ne faisait pas partie de la mathématique reconnue comme science. Les mathématiciens arabes, qui ont hérité également de la tradition diophantienne de l'Antiquité tardive, celle des calculateurs, ont passé outre les scrupules de philosophes comme Platon et sont revenus aux méthodes de leurs lointains ancêtres les Babyloniens. Ils ont développé une mathématique numérique, algorithmique, et une algèbre.

La puissance de l'algèbre consiste dans des manipulations *symboliques*; on n'opère plus sur les figures où chaque construction résulte d'un tour de main particulier, mais seulement sur les symboles qui représentent des nombres quelconques et qui se prêtent uniformément à des opérations schématiques. Le symbolisme aveugle (Leibniz qualifia ces procédés de "symboliques ou aveugles"), sa manipulation mécanique confère aux mathématiques une nouvelle puissance et introduit dans la science cet élément nouveau de rationalité que s'approprie la science moderne.

Cet élément préfigure l'intrusion de la technique dans la science, et ceci dans un double sens : d'abord comme technique mathématique spécifique (algorithmes particuliers), mais plus profondément comme exigence d'effectivité calculatoire. Le calcul algébrique donne en effet lieu à une production "en série", production dont les résultats sont programmés par les formules. C'est cette effectivité qui est propre à la technique industrielle. La géométrie grecque, elle-aussi, connaît l'effectivité, mais c'est celle d'une fabrication individuelle de lignes particulières, de sorte que le rapport de l'algèbre arabe à la géométrie grecque peut être assimilé à celui de l'industrie à l'art artisanal.

C'est précisément cette nouvelle rationalité opératoire et efficace, transformée, généralisée et amplifiée, qui trouve son terrain de prédilection dans la science moderne. Contrairement à la science de l'antiquité qui fut pure théorie, pure contemplation, la science nouvelle, celle de Galilée, de Kepler, de Descartes, de Pascal, de Leibniz et de Newton, combine deux buts : comprendre l'univers, mais aussi agir sur le monde, le transformer. La science moderne vise l'intelligibilité *et* l'efficacité et l'un retentit sur l'autre. Aucune ne suffit toute seule. D'une part, une explication inefficace, celle qui ne permet de concevoir aucun effet observable, est une explication invérifiable. Mais d'autre part, on peut parfois prévoir un phénomène même à partir d'une théorie inexacte (les prévisions à partir du système de Copernic n'étaient guère meilleures que celles effectuées à partir du système de Ptolémée, et les meilleures prévisions étaient obtenues par Tycho Brahe, à cause de la précision de ses observations). L'histoire des techniques jusqu'à nos jours est d'ailleurs pleine d'exemples où nous savons produire un phénomène ou

un objet sans être capable de l'expliquer entièrement. L'objet technique lui-même peut devenir l'objet d'une étude scientifique comme le prouve l'exemple de la machine à vapeur dont le fonctionnement thermodynamique ne fut élucidé que par Sadi Carnot quelque soixante ans après sa construction.

Si l'exigence d'intelligibilité pouvait se satisfaire de la détermination de qualités à peu près, l'exigence d'efficacité, efficacité des prévisions par exemple, imposait des déterminations exactes, quantitatives. La science grecque de la grande période alexandrine s'y est engagée et a obtenu des résultats qui étonnent par leur ingéniosité, étant donné les très faibles moyens techniques dont elle disposait. Aristarque a développé une méthode pour mesurer la distance de la lune et du soleil. A l'aide d'observations astronomiques, Eratosthène a donné une bonne détermination de la circonférence de la terre. Archimède a formulé les premières lois mathématiques de la statique et de l'hydrostatique. Le système astronomique de Hipparque et Ptolémée permettant la prévision des positions des planètes a été utilisé jusqu'au XVI^e siècle. Mais ces derniers feux de la civilisation grecque furent bientôt éteints par l'irruption de la puissance militaire de Rome.

L'historien américain John U. Nef a attiré l'attention sur l'importance accordée aux considérations quantitatives en Europe depuis le Moyen âge. Plus qu'autre chose, le temps est devenu une denrée précieuse qu'il ne fallait pas gaspiller et dont il fallait par conséquent mesurer l'écoulement. D'où la construction d'horloges de toutes sortes, ces premiers mécanismes de (relative) précision et les instruments de mesure peut-être les plus indispensables à la nouvelle science. Le langage de l'algèbre rendit possible un nouveau concept, inconnu des Grecs, qui est à la base de toutes les mathématiques depuis Leibniz et Newton : c'est le concept de *fonction*, c'est-à-dire de dépendance entre des ensembles de nombres. Les Grecs savaient exprimer la dépendance dans des cas simples à l'aide de la théorie des proportions, mais seule le symbolisme et les règles de l'algèbre ont permis sa formulation et son usage généralisé. Sans un tel concept, l'expression des lois quantitatives de la physique est impensable. Ce qu'il apporte de nouveau, c'est la

coordination des ensembles de valeurs ou d'événements susceptibles d'être mesurés à un ensemble de nombres, correspondance entre des quantités. Le concept de fonction mène rapidement à la quantification de la variation infinitésimale, à savoir au calcul différentiel et intégral qui est l'outil de la nouvelle physique depuis le XVIIe siècle.

Une fois précisés les grands principes et lois qui régissent le mouvement des corps, commence un travail patient de cartographie conceptuelle de l'univers. En physique, et à partir de Lavoisier également en chimie, commence l'extraordinaire aventure dont on ne pouvait pas prévoir *à priori* le succès : un système de lois mathématiquement formulées qui se mettent en place l'une à partir de l'autre pour aboutir, au XIXe siècle, à un édifice cohérent intégrant non seulement des disciplines anciennes comme la mécanique et l'optique, mais où trouvent leur place également la thermodynamique et l'électromagnétisme. La nature, jeu chatoyant de formes, de surfaces et de volumes, de couleurs, de lumière, de sons et d'odeurs obéit aux ordres du théoricien qui à la fois produit et mesure les phénomènes et qui croit l'avoir enfermée une fois pour toutes dans ses formules.

Si ce projet de ramener la nature à un système caractérisé par des paramètres mesurables sur lesquels on peut agir à volonté a réussi, il a en revanche échoué pour l'homme. Hume, qui a voulu être le Newton de l'activité de l'esprit, offre des descriptions subtiles des états psychiques, mais aucune vraie loi qui, de près ou de loin, permette de prévoir l'action de l'individu.

La révolution industrielle, répond-elle à une nécessité historique ? L'histoire ignore la nécessité. La révolution industrielle résulte de la convergence de facteurs multiples, à peu près comme un grand fleuve de la confluence de rivières et de différents cours d'eau.

Elle frappe par sa soudaineté. En l'espace d'une ou deux générations a été enclenché un processus qui s'est révélé irréversible. On assiste à l'irruption soudaine du travail industriel; cependant, les métiers traditionnels n'ont pas été complètement éliminés. Comme le dit le

dramaturge autrichien Johann Nestroy, "le progrès a ceci de particulier qu'il est beaucoup plus lent qu'il ne paraît". En Grande Bretagne, la révolution industrielle s'est déroulée au cours d'une soixantaine d'années au cours desquelles la production industrielle a acquis progressivement la prépondérance sur le travail artisanal.

Notons quelques traits marquants de la révolution industrielle, et d'abord ceux qui la caractérisent, non pas comme acquis définitif mais comme tendance générale de cette période : remplacement de l'habileté de l'homme par les opérations de la machine, substitution des moteurs inanimés (principalement mais non exclusivement de la machine à vapeur) à la force humaine et animale, amélioration systématique des procédés technologiques d'extraction et d'élaboration des matières premières. La régularité, le rendement, les forces employées, l'efficacité des procédés ont augmenté dans des proportions incomparables.

Contrairement à ce qu'on aurait pu penser (ce qui se passe de nos jours), la révolution industrielle n'a pas été stimulée par les exigences ou les besoins militaires. Ceux-ci ont tout juste joué un certain rôle dans la standardisation des produits. La révolution industrielle est l'oeuvre de l'industrie *textile*, qui est une industrie légère, et c'est en répondant aux besoins de son développement qu'on s'est mis à mécaniser non seulement la production des tissus, étoffes, vêtements et accessoires, mais également la fabrication des machines à faire des machines. La première industrie est *civile* et *privée*. Déjà en 1835, Andrew Ure se moquait du Tsar de la Russie qui entretenait à grands frais les manufactures d'Etat, aussi coûteuses qu'inefficaces.

Les principales inventions qui en sont le moteur — et tout particulièrement la machine à vapeur — doivent relativement peu au progrès scientifique de leur temps. Elles ne sont pas des applications directes de connaissances scientifiques, des conséquences ou des illustrations de théorèmes cinématiques, dynamiques et encore moins thermodynamiques, science qui n'existait pas à l'époque. On dit souvent que, jusqu'au milieu du XIXe siècle, les influences réciproques entre la science et les techniques étaient peu importantes. Dans l'ensemble, c'est

vrai, pourvu qu'on s'entende sur le sens de cette proposition, et avec d'importantes réserves en ce qui concerne la fabrication d'instruments de précision et de mesure sans lesquels la science n'aurait pas été possible. Le cas de la machine à vapeur peut servir pour illustrer le problème général du rapport entre les procédés des sciences et ceux des techniques.

La solution résulte de l'analyse et la comparaison de ces deux activités. Le but de la science est la recherche de la vérité, qui se traduit par la formulation des lois gouvernant les phénomènes. Même lorsqu'il s'agit d'étudier un phénomène particulier, les résultats de cette étude doivent être intégrés dans une théorie générale, ou tout au moins la préparer. Dans la recherche scientifique, les moyens, les voies pour parvenir à un résultat, sont tout aussi importants que la fin qui est la formulation d'une loi, et ils en sont indissociables (on peut même soutenir qu'une loi n'est que le dernier des moyens employés), parce que c'est précisément grâce à ces moyens-démonstratifs, expérimentaux, observationnels — qu'une vérité peut être établie et intégrée dans le corps de la science.

Le but de l'activité technique consiste dans la création d'objets artificiels destinés à satisfaire nos besoins. Le but, c'est la réalisation d'un objet particulier, le plus souvent susceptible d'être reproduit à un grand nombre d'exemplaires. D'une certaine manière, le but, l'objet qui accomplit parfaitement la fonction désirée sous des conditions données (y compris les conditions de rentabilité économique) est tout. Le constructeur peut recourir à tous les moyens possibles pour construire par exemple une machine volante : ce sera le gaz pour les ballons et les dirigeables, les ailes seules pour un planeur, les ailes, une hélice et un moteur pour les avions, l'hélice toute seule avec le moteur pour les hélicoptères, le moteur à réaction pour les jets et autres Boeings. L'adaptation au but particulier et l'efficacité départagera les produits et assignera à chacun sa place dans le transport aérien. Le slogan "tout marche" que Feyerabend recommande pour la science est en réalité une loi valable pour l'activité technique; dans la science, il ne joue qu'un rôle subalterne dans la phase heuristique.

Pour revenir à la machine à vapeur, bien qu'elle ne fût pas le produit direct et immédiat d'une théorie scientifique, sa construction suppose un contexte théorique, un espace dans lequel elle devient *pensable*. Elle ne saurait être conçue avant la formation de la science moderne, en l'occurrence avant la mise en évidence de la pression atmosphérique par Torricelli, Pascal et bien d'autres. Cependant, une théorie scientifique ne permet pas à elle seule de créer les objets techniques; elle les rend seulement *possibles*. L'invention technique se situe sur un autre registre que l'activité théorique. Celle-ci est circonscrite à un domaine délimité et homogène, alors qu'une invention doit réunir des éléments hétérogènes, disparates : tantôt éléments théoriques (pour la machine à vapeur, ils sont empruntés principalement à la mécanique et à la théorie de la chaleur), tantôt des mécanismes particuliers (le mécanisme bielle-manivelle étudié par l'historien des techniques Bertrand Gille), tantôt des connaissances spécifiques acquises au cours d'apprentissage et d'expériences avec les instruments et les machines. Les connaissances techniques constituent donc un savoir-faire particulier qui permet d'imaginer la *réalisation* des objets mais qu'il est à peu près impossible à codifier et à transmettre en dehors du contact direct avec les machines et sans être guidé par des techniciens, ingénieurs ou constructeurs.¹ Même si de nos jours, l'invention technique épouse plus fidèlement les progrès des sciences, l'objet technique, loin d'être le résultat d'une *application* de la théorie, pose souvent des problèmes au théoricien et lui demande son *explication*. Comme je l'ai rappelé, ce n'est qu'au terme de la première révolution industrielle, en 1824, que Sadi Carnot a fondé la thermodynamique et a pu expliquer le cycle de la machine à vapeur.

L'activité technique est donc spécifique, irréductible; elle ne résulte pas d'un simple ensemble de conséquences tirées de différentes disciplines. La reconnaissance de cette spécificité peut se lire dans les premières analyses modernes de l'activité technique et tout particulièrement dans les essais consacrés à la révolution industrielle. Contemporaine à la révolution industrielle est en effet la fondation d'une nouvelle science qui a pour objet l'activité technique, la *technologie*, par Johann Beckmann² dont a parlé ici même il y a deux ans Monsieur Otto Gekeler.

Bien que dans l'*Anleitung zur Technologie* (1777), Beckmann ne fasse que décrire systématiquement les procédés des arts et métiers, il suit le progrès des arts industriels en Angleterre, "l'île heureuse" et mère des inventions utiles auxquelles ce pays doit sa puissance et sa richesse. La nouvelle discipline, florissante dans la première moitié du XIXe siècle, a ensuite disparu, de sorte que même les historiens des techniques l'ont jusqu'à des temps récents purement et simplement ignoré. Il n'y a pas lieu de faire ici son histoire, mais il faut au moins rappeler ses étapes principales qui reflètent la progression de la révolution industrielle. Que trois noms soient au moins mentionnés à côté de celui de Johann Beckmann : Gérard-Joseph Christian, technologue belge, Charles Babbage, mathématicien, et Andrew Ure, chimiste, les deux derniers britanniques.

Revenons encore sur Beckmann. C'est dans l'un de ses derniers textes, *Entwurf einer allgemeinen Technologie* de 1806, qu'il abandonne la méthode descriptive des arts et métiers au profit de la méthode comparative (cette dernière se fraie le chemin également dans d'autres disciplines : Cuvier en anatomie comparée, Bopp en linguistique). A la place de la classification des métiers existants, Beckmann propose maintenant une classification des *procédés*, non pas selon les arts ou selon les besoins, mais selon l'intention (*Absicht*) qu'ils doivent réaliser. Ainsi se trouvent rapprochés les méthodes des métiers très différents dans la mesure où elles visent un but semblable. Ainsi par exemple, l'intention de surfacer les corps comprendra les différentes manières de surfacage selon les métiers : le travail au rabot du menuisier, le polissage des verres, le massicotage du relieur. Méthodologiquement, la démarche de Beckmann est très importante, car elle met en avant le concept qui explique la spécificité des techniques : celui de procédé ou d'opération. Dans sa dernière version, la technologie devient une science des opérations des arts et permet de saisir le lien interne entre les différents métiers.

C'est précisément ce point que développe Gérard-Joseph Christian, très peu connu³, dans ses *Vues sur le système général des opérations industrielles ou Plan de technonomie* de 1819, probablement sans avoir

lu l'opuscule de Beckmann. A cette différence près que là où la technologie de Beckmann ne dépasse pas l'horizon des arts et métiers traditionnels, Christian se place sur le terrain de la révolution industrielle déjà engagée et, malgré les crises, près d'être accomplie. L'apport de Christian consiste dans l'analyse d'un moment essentiel de cette révolution : la mécanisation du travail manuel, le transfert qui confie aux opérations des machines le travail exécuté par la main de l'artisan. Le problème qu'analyse Christian est celui de substituer à la séquence des gestes de la main une séquence toute nouvelle d'opérations de la machine sans tenir compte de l'enchaînement des gestes manuels.

Charles Babbage n'est pas seulement l'inventeur de la machine à calculer qui contient déjà tous les organes essentiels de nos ordinateurs, mais aussi l'auteur d'un *Traité sur l'économie des machines et des manufactures* (1832) qui offre une analyse générale du travail industriel du point de vue de la *division du travail* qui renoue avec la *Richesse des Nations* d'Adam Smith (1776). Pour Babbage, la division du travail constitue le principe même de tous les processus industriels : une bonne division du travail impose la réorganisation du travail et son partage en segments susceptibles d'un apprentissage rapide. La répartition des tâches ne s'opère plus à l'échelle d'un individu comme c'est le cas chez Christian, mais à l'échelle de la manufacture; de plus le travail industriel est intégré dans l'économie de marché, la technologie est subordonnée à des considérations économiques.

Babbage montre comment ce principe est appliqué non seulement à la production industrielle, mais aussi au travail de l'esprit. Lorsque le mathématicien français Prony a entrepris un nouveau calcul des tables de logarithmes, il a divisé les personnes qui devaient y participer en trois classes : les mathématiciens, chargés d'inventer les formules qui se prêtent le mieux au calcul, les personnes instruites en mathématiques qui devaient convertir les formules algébriques en formules numériques, et les calculateurs qui effectuaient uniquement une série d'additions et de soustractions. Comme le dit Babbage, il s'agissait de "mettre les logarithmes en manufactures comme les épingles". Une des tendances fondamentales de la science moderne, la tendance à la mécanisation, trouve ici son

aboutissement. Désormais, le calcul lui-même est mécanisable et peut devenir l'objet d'une division du travail comme d'autres opérations de l'industrie.

Dans *The Philosophy of Manufactures* (1835), Andrew Ure fait un pas de plus en dévoilant les conséquences futures de la tendance à la mécanisation. Le but vers lequel tend la production industrielle est *l'automatisation* et *l'auto-régulation*. La division du travail prend une nouvelle allure : sa tâche ne consiste plus dans le découpage des gestes de la main pour recomposer les opérations nécessaires de sorte qu'elles puissent être exécutées par les machines, mais de répartir le travail entre les machines elles-mêmes. Dépassant de loin l'état de l'industrie britannique de son temps, Ure développe une vision de l'avenir qui est plus proche de l'industrie de la fin du XXe siècle que du premiers tiers du XIXe.

Notes

1. Selon Leibniz, pour "les exercices du corps et même certains exercices de l'esprit... il faut de nécessité qu'on soit praticien pour réussir", tandis qu'en d'autres matières, on peut "réussir par la seule raison aidée de quelques expériences ou observations". La théorie sans pratique restera une pratique aveugle, pourvu qu'on s'entende sur le sens de ces mots, car "on se trompe fort souvent en appelant pratique ce qui est théorie et *vice-versa*. Car un ouvrier qui ne saura ni du latin ni de l'Euclide, quand il est habile homme et sait les raisons de ce qu'il fait, aura véritablement la théorie de son art et sera capable de trouver des expédients dans toute sorte de rencontres. Et de l'autre côté un demi-savant enflé d'une science imaginaire projettera des machines et des bâtiments qui ne sauraient réussir, parce qu'il n'a pas toute la théorie qu'il faut, ... il n'entendra pas cette partie des mécaniques que j'appelle la science de la résistance ou de la fermeté qui n'a pas encore été assez mise en règles".

2. C'est au séminaire de Monsieur Georges Canguilhem à l'Institut d'Histoire des Sciences de l'Université de Paris que nous avons entrepris l'une des toutes premières études de l'histoire de cette discipline. Cette étude a abouti à un numéro de la revue *Thalès* qui contient "Les commencements de la technologie", rédigés avec la collaboration de mon collègue Jacques Guillerme et complétés par "Les vicissitudes du sens de "Technologie" au début du XIXe siècle" par J.-E. Morère; *Thalès*, 12 (année 1966, publ. 1968).
3. Christian est né à Verviers en 1778. Il était d'abord professeur des sciences à l'Ecole Centrale de Namur, puis au Lycée de Bruxelles, mais il a fait toute sa carrière à Paris comme Directeur du Conservatoire Royal des Arts et Métiers de 1816 à 1831. Voir mes articles : "De la technologie à la technonomie : Gérard-Joseph Christian", *Cahiers S.T.S.* (1984), n° 2, 56-69, et "The Introduction of Technological Education at the Conservatoire des Arts et Métiers", *Technological Education - Technological Style*, ed. M. Kranzberg, San Francisco Press, 1986, 26-32.

RÉSUMÉ

I. Introduction

On a souvent assimilé les sociétés aux organismes : elles naissent, atteignant la maturité, puis meurent (Spengler). La civilisation européenne semble démentir cette idée.

Le cas de l'Europe est unique : elle a développé la science et la technique qui sont devenues universelles et ont fini par être adoptées par d'autres civilisations.

La curiosité des peuples européens.

La spécificité de la civilisation européenne comparée à la civilisation musulmane. Malgré ses progrès, la science n'a pas réussi à s'imposer dans les pays de l'Islam et est restée en marge de la société.

II. La révolution industrielle (à partir du milieu du XVIII^e siècle) et ses conditions

Déterminer *l'espace* dans lequel cette révolution est devenue possible, les différents facteurs ou "coordonnées" de cet espace.

1) *Le système d'enseignement*, les universités, la méthode scolastique.

2) *Le morcellement politique* de l'Europe.

3) *Conditions économiques et juridiques*.

4) *La science* : apport des mathématiques arabes (le calcul, l'algèbre) : une nouvelle conception de la rationalité, la rationalité opératoire, manipulations symboliques. Comparaison avec la science grecque de l'âge classique qui est pure théorie. La science moderne vise deux buts : *l'intelligibilité* et *l'efficacité*.

L'efficacité impose des déterminations *quantitatives* qui sont apparues dans la science grecque seulement dans la période alexandrine, mais qui sont à la base de la science moderne. Les déterminations quantitatives peuvent être exprimées à l'aide du concept de *fonction* qui suppose le symbolisme algébrique. Les lois quantitatives de la physique moderne sont donc exprimées en termes de dépendance fonctionnelle et aboutissent à la mathématisation de la nature.

La révolution industrielle, était-elle nécessaire ? Elle résulte de la confluence de ces différents facteurs, comme un grand fleuve se forme à partir de rivières et de cours d'eau.

Traits caractéristiques de la révolution industrielle :

1) Remplacement du travail manuel par les opérations des machines.

2) Substitution de moteurs animés (la machine à vapeur) à la force humaine ou animale.

3) Amélioration systématique des procédés d'extraction et d'élaboration des matières premières.

III. Quelques remarques et commentaire

1) "Le progrès a ceci de particulier qu'il est toujours beaucoup plus lent qu'il ne paraît" (Nestroy, dramaturge autrichien).

2) La révolution industrielle est l'oeuvre de l'industrie *civile* et *privée*.

3) Les principales inventions qui en sont le moteur doivent peu de choses au progrès scientifique de son époque. Néanmoins, la machine à vapeur n'est possible que dans le contexte de la science moderne (elle suppose la notion de pression atmosphérique, des notions de théorie de la chaleur et de l'évaporation). Un rapport entre les sciences et les techniques. Le savant cherche des *lois*, l'ingénieur ou le technicien *construit des objets*.

4) Spécificité, irréductibilité de l'action technique. Analyse des étapes de la révolution industrielle chez les technologues qui ont été ses témoins et parfois même ses acteurs.

Johannes Beckmann : *Einleitung zur Technologie* (1777),
Entwurf der allgemeinen Technologie
(1806).

Gerard-Joseph Christian (né à Verviers, professeur à Bruxelles, directeur du Conservatoire Royal des Arts et Métiers à Paris) :
Vues sur le système général des opérations industrielles ou Plan de technonomie (1819).

Charles Babbage : *Traité sur l'économie des machines et des manufactures* (1832).

Andrew Ure : *The philosophy of manufactures*
(1835).

Conclusion : La civilisation européenne a réussi parce qu'elle a su se *renouveler*.