

Daumas, Maurice

Les relations entre le progrès des sciences et celui des techniques

Organon 1, 53-78

1964

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



Maurice Daumas

LES RELATIONS ENTRE LE PROGRÈS DES SCIENCES ET CELUI DES TECHNIQUES

Je dois présenter un sujet d'une ampleur telle qu'il ne me semble pas possible qu'une seule personne puisse posséder des connaissances assez étendues pour le traiter convenablement. Nous savons tous que l'histoire des sciences d'une part, l'histoire des techniques d'autre part ne peuvent être saisies chacune aux sources mêmes par un seul esprit. Dans la recherche, la division par disciplines et par époques est indispensable. Le problème général des relations historiques des sciences et des techniques se dérobe davantage, si isolément chacun cherche à le traiter sans le fractionner. Aussi je pense que ma tâche ne peut être que de présenter un schéma assez lâche d'introduction.

Le programme de ce Symposium est caractérisé par la généralité des sujets qui sont inscrits à l'ordre du jour de chaque séance. Dans le dernier numéro de "Technology and Culture" Eugène S. Ferguson a émis l'opinion que nous possédions sur l'histoire des techniques assez d'ouvrages généraux pour les besoins de la présente génération et que les efforts devaient se porter sur des monographies consacrées à des sujets limités géographiquement ou chronologiquement. Pour une certaine part je partage l'opinion de M. Ferguson. Je dois dire seulement que les monographies limitées à des frontières géographiques déterminées ne me semblent avoir qu'un intérêt lui aussi limité. Mais par ailleurs je pense que les études d'ensemble, comme celles qui constituent les sujets principaux de ce Symposium conservent, même pour notre génération, une utilité certaine. Encore faut-il qu'elles présentent un minimum d'originalité ou de personnalité. Dans ce cas elles permettent de réviser certaines conceptions que nous nous étions faites, et à chacun elles offrent l'occasion de replacer leurs sujets de prédilection dans une perspective générale plus exacte.

Pour ces raisons mon schéma introductif est basé sur des vues personnelles que je me suis faites peu à peu en étudiant en profondeur les

sujets auxquels s'est attachée ma curiosité mais aussi en dirigeant d'abord une histoire des sciences rédigée en collaboration avec plusieurs de mes collègues français, et en ce moment, une histoire générale des techniques qui est en cours de publication. Peut-être ces conceptions personnelles vont-elles être complètement démolies par la discussion. Je n'en serais pas affecté et je serais heureux d'avoir profité de l'expérience et de la science de tous.

LES LIMITES ENTRE LES SCIENCES ET LA TECHNIQUE

D'abord faut-il préciser de quoi nous devons parler. Le contenu de l'histoire des sciences a été souvent discuté, et je crois qu'il n'est pas besoin de revenir sur ses limites, surtout après la discussion qui a suivi la communication du professeur Suchodolski.

Il n'en est pas de même du contenu de l'histoire des techniques.

LE CONTENU DES HISTOIRES DES TECHNIQUES

Le terme de technique lui-même n'est pas toujours pris dans le même sens. Le travail du menuisier ou du forgeron dans sa forme classique est devenu maintenant une simple activité professionnelle; il est inclus, pour les périodes anciennes, dans l'histoire des techniques. Le travail des ingénieurs de fabrication est un travail de technicien, celui des ingénieurs de recherches industrielles peut être de pure technique ou bien être considéré comme un véritable travail scientifique. L'idée que la création technique découle d'une simple application des connaissances scientifiques est profondément enracinée dans tous les esprits. Et c'est elle qui fausse profondément la compréhension générale de l'histoire des techniques. C'est à elle que nous devons cette conception fallacieuse de la révolution technique, véritable "tarte à la crème" qui tient lieu d'explication d'un phénomène extrêmement complexe.

Enfin le terme de technique connaît de nos jours un emploi de plus en plus étendu pour désigner les méthodes ou des règles d'action dans des domaines fort étrangers à celui qui nous occupe; on parle de la technique des sports, des techniques commerciales, des techniques financières et même des techniques de la pensée. À la limite, et même souvent assez loin de la limite, il se crée une confusion sur l'objet même des recherches et des interprétations. Quand nous parlons d'une civilisation technique par exemple, techniciens, sociologues, politiciens et gens de la rue ne parlent pas de la même chose.

Une incompréhension semblable existe entre historiens selon leurs domaines d'étude respectifs. L'histoire des techniques a beaucoup souffert d'être traitée d'abord par des historiens des faits économiques et politiques. La majorité des ouvrages et des revues qui traitent d'histoire des techniques sont muets sur le contenu technique de cette histoire.

J'entends par là que l'évolution des procédés de transformation ou de production est négligée au profit de l'étude des moyens financiers qui ont été mis en oeuvre pour les exploiter industriellement, des conditions économiques qui ont joué pour ou contre le succès de ces entreprises.

Je dois dire tout de suite que dans l'étude de l'histoire des techniques ce point de vue est beaucoup plus important que dans celle de l'histoire des sciences. Il est même indispensable. Mais l'histoire économique des techniques ne peut pas constituer à elle seule l'histoire des techniques comme malheureusement cela semble se passer trop souvent. Elle laisse dans l'ombre un phénomène primordial qu'il est rare de voir pris convenablement en considération, et qui peut se traduire par cette notion que le progrès technique s'est toujours effectué globalement et d'une façon coordonnée. Chaque époque a connu un niveau déterminé de ses possibilités techniques; ce niveau s'est élevé d'une façon régulière sans que jamais certaines des techniques regressent par rapport à d'autres et de telle façon que les domaines qui se trouvaient à la pointe de la progression ont toujours suscité une évolution progressive des autres domaines, évolution qui a permis de perfectionner les nouveaux moyens acquis et à rendre possible une nouvelle phase de progrès. Il n'y a jamais eu de désordre dans le progrès technique et même de nos jours il n'y a pas de désordre. Le désordre apparaît seulement dans la version économique de cette histoire.

Ainsi sans contester nullement l'importance des aspects économiques et sociaux de l'histoire des techniques je voudrais insister sur le fait que sans une connaissance très sûre de l'évolution des procédés et des moyens techniques l'histoire des techniques ne possèdera jamais de bases sûres. En particulier la connaissance de cette évolution nous permettra de mieux comprendre les rapports mutuels des sciences et des techniques au cours du temps. A l'heure actuelle, pour différentes raisons, je pense que c'est cet aspect de l'évolution des techniques qui est encore le moins bien connu. Dans tout ce qui va suivre c'est cette histoire technique des techniques que je prendrai seule en considération.

NIVEAU TECHNIQUE ET RYTHME DE PROGRÈS

Si donc les historiens de l'économie politique et les sociologues continuent à négliger le contenu technique de l'histoire des techniques ils persisteront dans leur mauvaise interprétation de ces phénomènes. Ainsi un sociologue français, Raymond Aron, a enseigné en Sorbonne que "Entre l'Antiquité et le monde d'hier, les différences de possibilités techniques étaient médiocres. Ainsi César pour aller de Rome à Paris mettait à peu près le même temps que Napoléon". Une semblable façon de résumer les faits est peut-être saisissante pour des étudiants mais elle leur suggère une conception erronée de l'histoire des techniques.

Si les possibilités techniques avaient été les mêmes à l'époque de Napoléon et celle de Jules César il faudrait supposer que l'expansion des techniques au XIX^e siècle est à peu près sortie du néant. Raymond Aron veut démontrer que l'évolution des techniques s'est effectuée de façon irrégulière: "L'irrégularité du progrès technique est un des faits majeurs de l'histoire" — écrit-il. C'est une contrevérité manifeste. C'est au contraire la régularité du progrès technique qui est un fait majeur de l'histoire. Quand je parle de régularité je ne veux pas suggérer que l'accroissement du niveau technique de la civilisation humaine a été quantitativement égal pour chaque siècle depuis les origines de l'humanité. Je pense plutôt à une accélération régulièrement croissante. Peut-être l'envol d'une fusée vers l'espace nous donne-t-elle une figuration approchée du phénomène. Mais nous ne savons pas encore si l'évolution des techniques atteindra un jour sa vitesse "de croisière".

Cette régularité différencie l'histoire des techniques de l'histoire des sciences. Nous savons tous qu'au moins jusqu'à la fin du Moyen Âge occidental le progrès des sciences a connu des stagnations qui s'étendent parfois à de longues périodes de temps. Nous savons aussi que les sciences et l'ensemble conceptuel qui les supportaient dans certaines civilisations telles celles de l'Extrême-Orient ou de l'Amérique centrale précolombienne ont abouti à des impasses. Il n'y a rien eu de tel dans le domaine des techniques. Cependant les sciences, comme les techniques n'ont jamais regressé. Les sciences et les techniques sont les deux domaines d'activité humaine pour lesquels la notion de progrès depuis les origines jusqu'à nos jours est inattaquable. On ne pourrait en dire autant de la plupart des autres: l'art, la politique, la philosophie, la religion par exemple. Parmi ceux auxquels la notion de progrès peut s'appliquer, comme les activités économiques et les relations sociales par exemple, il semble bien que leur progrès soit simplement une conséquence du progrès des sciences et des techniques. Encore peut-on justement penser que les relations des sciences avec les deux dernières sortes d'activités que je viens de citer s'établissent par l'intermédiaire des techniques. C'est pour cela que je disais tout à l'heure que les faits économiques et sociaux ont beaucoup moins d'importance pour l'histoire des sciences que pour l'histoire des techniques.

EVOLUTION DES LIMITES SCIENCES — TECHNIQUES

Voici donc les vues générales qu'il semblait indispensable de préciser avant de chercher la voie par laquelle nous pourrions examiner les rapports historiques des sciences et des techniques. Comme on peut le penser ces rapports ne sont pas simples et surtout ils ne se sont jamais établis de façon constante et unilatérale. Leur nature a évolué à mesure que l'histoire a suivi son cours. Avant de nous introduire plus profon-

dément dans le sujet il nous faut encore examiner comment ont évolué les caractères distinctifs des sciences et des techniques. J'ai déjà mentionné l'un de ces caractères en passant, celui qui concerne leur rythme de progrès. Mais ce n'est pas suffisant.

Il me semble inutile de revenir ici sur les définitions banales et purement formelles que chacun d'entre nous a sans doute présentes à l'esprit. Ces définitions sont correctes pour des domaines d'activité au sujet desquels il ne peut y avoir d'ambiguïté. Mais nous savons tous qu'elles deviennent insuffisantes pour tout un vaste domaine où, surtout de nos jours, sciences et techniques concourent étroitement au même objet. La recherche spatiale est peut-être l'exemple contemporain le plus caractéristique.

J'ai dit tout à l'heure que pour la plus grande partie de nos contemporains les techniques modernes sont des applications de la science. Au début de notre siècle on a beaucoup discuté sur les termes de science pure et de science appliquée. Puis on a décidé de les supprimer de vocabulaire. Mais on a été obligé de recourir à d'autres néologismes et maintenant on parle de science fondamentale et de recherche industrielle. Il est bien certain que les théoriciens de la physique mathématique ne sont pas des techniciens et que les ingénieurs qui construisent des centrales nucléaires ne sont pas des chercheurs scientifiques. Cependant si en partant des deux aspects les plus opposés du complexe science-technique nous allons de l'un vers l'autre, de proche en proche nous traversons une sorte de zone frontière et nous ne savons pas très bien à quel moment nous l'avons complètement franchie et dans un sens et dans l'autre.

DES ORIGINES AU XVI^e SIÈCLE DE NOTRE ÈRE

La distinction est plus facile à établir pour les époques anciennes, les époques où les techniques se développaient à peu près indépendamment des sciences. Je ne parle pas des origines mêmes et des sciences et des techniques, à plus de trois millénaires de nous, sur lesquelles nous ne savons rien. Pour aussi loin que nous remontions par les méthodes de la préhistoire nous nous trouvons toujours devant un rudiment de connaissances scientifiques, si mince soit-il, déjà acquis, et d'un niveau technique, si faible soit-il, déjà atteint. Nul ne saurait dire si la pensée a précédé l'action, si la science a précédé la technique. Ce que nous savons des premières périodes historiques nous montre deux sortes d'activités bien différenciées et entre lesquelles aucune confusion n'est possible. Ceci reste vrai, me semble-t-il, pour toute la durée des civilisations anciennes du bassin méditerranéen et du Proche-Orient jusqu'à l'expansion de l'Islam, ainsi que pour les civilisations d'Extrême-Orient

et d'Amérique centrale jusqu'à ce que celles-ci soient entrées en contact avec la civilisation occidentale des temps modernes.

Pour la période du Moyen Âge occidental et de la Renaissance, la distinction reste encore très nette, bien que la limite ne puisse plus être figurée par une ligne idéale. En certain point le domaine commun commence à prendre quelque consistance et peut-être devons-nous ce début d'interpénétration à la civilisation musulmane. Il se manifeste surtout en astronomie, gnomonique, géodésie et topographie ainsi que dans le maniement des nombres. Pendant les XV^e et XVI^e siècles la frontière commune s'élargit très lentement en d'autres points, la navigation par exemple, et la balistique. Mais la situation reste encore très claire du point de vue où nous plaçons aujourd'hui. Peut-être peut-on citer encore les sciences naturelles; mais je dois préciser que la médecine n'entre pas dans mon sujet. Je considère que la médecine est une activité tout à fait particulière qui ne peut s'englober ni dans les sciences ni dans les techniques pour de multiples raisons.

XVI^e—XIX^e SIÈCLES, PÉRIODE DE TRANSITION

Franchie cette période de la fin du XVI^e siècle, la situation va évoluer plus rapidement. Déjà la minéralogie et la métallurgie ont trouvé avec la chimie paracelsienne tout un domaine d'activités et de réflexions commun aux sciences et aux techniques. Le contact sera plus accentué encore entre certaines branches de la physique comme l'optique et la dynamique et les techniques correspondantes au cours du XVII^e siècle. Le domaine commun s'élargira pour l'hydrodynamique, la pneumatique, la chimie, l'art militaire (aussi bien pour l'emploi des armes à feu que les fortifications), la chronométrie, pendant la dernière partie du XVII^e siècle et la première moitié du XVIII^e. Et nous atteignons ainsi la fin de cette période de transition, vers le premier quart du XIX^e siècle pendant laquelle la zone d'interpénétration se sera établie d'une façon générale entre sciences et techniques tout en restant parfaitement discernable.

Ce qui précède ne signifie pas que même au cours de la première période que j'ai considérée et qui s'étend de la haute Antiquité jusque vers la fin du XVI^e siècle de notre ère il ne se soit manifesté aucune action réciproque entre les sciences et les techniques. Je montrerai dans la dernière partie de cet exposé comment ces interactions se sont exercées. Mais le fait même que les domaines d'interpénétration aient été limités prouve qu'elles sont restées faibles. Dans la seconde période que je considère comme une période de transition pour le sujet qui nous occupe, de la fin du XVI^e siècle au début du XIX^e siècle, elles deviennent de plus en plus importantes.

XIX^e — XX^e SIÈCLES, DÉVELOPPEMENT DE LA TECHNOLOGIE

Enfin dans la dernière période d'évolution que nous connaissons du début du XIX^e siècle jusqu'à nos jours la situation évolue plus rapidement. Les activités scientifiques et les créations techniques ne cessent de croître en importance. En même temps le domaine commun où sciences et techniques sont difficilement discernables, s'accroît lui-même suivant le même rythme. Nous voyons s'établir un autre type d'activité qui n'est plus seulement ou scientifique ou technique, qui emprunte ses méthodes de recherche et de réalisation à la fois aux sciences et aux techniques. Il est difficile de lui donner une appellation dépourvue d'ambiguïté. Peut-être le terme de technologie, pris dans le sens qu'on lui donne habituellement en français, conviendrait pour le nommer. Quelle que soit la signification approchée de ce terme je l'utiliserai dans ce qui va suivre avec le sens que j'indique; je désignerai par technologie ce domaine intermédiaire d'activité qui est une des caractéristiques fondamentales de notre présente civilisation.

En effet dans le sens, peut-être un peu arbitraire, que je donne ici au mot technologie, celui-ci doit s'appliquer à tous les domaines où l'interpénétration des sciences et des techniques devient de plus en plus profonde. Les exemples historiques qui ont provoqué l'extension de ces domaines sont la mécanique industrielle, l'énergétique, l'électricité industrielle, la chimie organique de synthèse, la radioactivité et enfin l'électronique, mais encore des activités moins classiques comme certains aspects de la psycho-sociologie et le traitement des informations par exemple.

LA NATURE DES ÉCHANGES SCIENCES — TECHNIQUES

Lorsque j'emploie le terme technologie je ne prétend pas qu'il définit à lui seul la nature des échanges entre les sciences et les techniques. Le phénomène me semble bien plus complexe. Si la technologie est un intermédiaire direct entre les sciences et les techniques, les processus d'échange ne passent pas forcément par elle. C'est ce que je vais essayer de montrer en étudiant d'abord comment on peut penser que les interactions sciences-techniques ont présenté un caractère simple pendant la première période que j'ai définie. Je reviendrai ensuite sur la période contemporaine pour constater que ces interactions constituent un réseau de plus en plus dense. Enfin je me servirai de la période intermédiaire pour suggérer que l'étude de celle-ci nous permettra d'acquérir une compréhension plus exacte du phénomène dans l'une et l'autre des périodes qui l'encadrent.

Lorsque je parle de "périodes" je dois préciser que les limites chronologiques que l'on est bien obligé de leur assigner n'ont aucune valeur

absolue. L'utilisation de "périodes chronologiques" n'est qu'un artifice de recherche et d'exposition. Si nous voulions préciser la limite de chacune nous nous apercevions qu'en réalité ces limites n'existent pas. L'évolution de ces rapports s'est faite d'une façon continue sans que l'on puisse assigner un repère chronologique déterminé à l'apparition d'un mode différent d'échange entre les sciences et les techniques.

LES TECHNIQUES, FACTEUR DETERMINANT DU PROGRES SCIENTIFIQUE

Ces précautions prises je reviens maintenant à la première des trois grandes périodes historiques que j'ai définies pour le besoin de cet exposé. C'est la plus longue dans le temps, mais c'est celle qui est la moins chargée de faits. C'est aussi la période sur laquelle je n'ai pas acquis personnellement de connaissance directe. Ce que je peux en connaître je l'ai trouvé dans les travaux déjà élaborés des spécialistes et c'est à ceux d'entre eux qui sont ici que je demanderai la meilleure critique de ce que je vais pouvoir dire à son sujet.

Nous y voyons apparaître et se développer les premiers moyens techniques de la civilisation. Nous y voyons se constituer les premières méthodes de la pensée scientifique et se rassembler les premières connaissances. Lorsque nous pouvons les saisir historiquement ces deux domaines existent déjà avec leur personnalité propre. Peut-être leur seul point de jonction, et pour une certaine part d'interpénétration, est-il constitué par l'astronomie, la mesure du temps, la computation calendaire. Pour autant que je puisse en juger je ne vois pas, en dehors de cette discipline, d'autres exemples de contact. Je ne vois pas non plus que les techniques aient en quoi que ce soit profité des connaissances scientifiques.

L'évolution des techniques se poursuit à un rythme très lent par les seuls tâtonnements empiriques des ouvriers et des praticiens. Le "miracle grec" ne concerne en rien les techniques. Les raisons en ont été souvent discutées. Les techniques ne progressent que par le seul procédé de l'invention, qui a un caractère collectif et qui conservera encore ce caractère peut-être jusqu'à la fin de notre XVIII^e siècle. Le progrès est lent parce que la transmission des moyens acquis se fait de génération à génération par l'apprentissage de l'homme par l'homme.

Les mathématiques, expression la plus pure de la pensée scientifique, ne sont d'aucun usage aux techniciens qui d'ailleurs ne seraient pas en état de les comprendre, pas plus que les traités techniques, s'il en existait, ne leur auraient été accessibles. Les grandes inventions qui jalonnent la première partie de cette longue période sont apparues dans des conditions que nous connaissons mal, depuis les formes d'attelage des animaux de trait jusqu'au papier en passant par l'utilisation

de l'énergie éolienne et de l'énergie hydraulique, la construction des appareils de levage et des machines de guerre, le tournage des pièces de bois et le traçage des filets de vis, le traitement des minerais et l'élaboration des métaux, la fabrication du verre, l'extraction et la transformation des matières naturelles pour la préparation de produits tinctoriaux, de composés explosifs, de matériaux de construction, de produits alimentaires, etc.; la liste de ces exemples pourrait être allongée bien plus encore.

Nous pouvons penser que par l'intermédiaire de ces procédés s'est établi le premier contact de l'homme avec le monde matériel qui l'entourait et dans lequel il devait puiser les moyens de satisfaire les besoins d'une civilisation en développement. Non seulement les premiers contacts ont été établis, mais les premiers éléments d'une connaissance ont été acquis. Ce sont ces connaissances qui ont servi de thème aux réflexions et aux recherches de la science. La balance était en usage depuis un millénaire, et peut-être plus, avant Archimède et l'art du balancier n'a pas profité des premières notions de statique exprimées par les savants. Quant aux mécaniciens dit de l'époque alexandrine ils n'ont, pour l'essentiel, que rassemblé et commenté un certain nombre d'effets hydrauliques et pneumatiques connus et utilisés avant eux. Le siphon était employé pour les conduites d'eau bien avant Héron d'Alexandrie.

Souvent c'est à un terme très éloigné que les inventions de l'Antiquité ont déterminé l'apparition d'une science qui permette de donner une explication théorique des phénomènes mis en jeu, et, à l'aide de cette théorie, d'étudier des problèmes nouveaux, théoriques ou pratiques. Nous en avons des exemples indiscutables avec la chimie et la minéralogie, l'hydraulique et la mécanique industrielle.

Les origines de la chimie sont particulièrement probants. On fait remonter les premiers essais de conceptualisation à l'époque alexandrine. Il est remarquable que dans la science chinoise la chimie théorique apparait à peu près à la même époque sous la même forme: antagonisme de deux forces opposées auquel participe un nombre réduit d'éléments fondamentaux. Or déjà la technique des procédés chimiques forme un tout concret par lequel une certaine connaissance des propriétés de la matière et des réactions a pu être acquise. En particulier l'hermétisme a trouvé ses bases fondamentales dans la manipulation des pigments tinctoriaux d'origine minérale. Les composés de mercure, d'arsenic, d'antimoine dont les transformations constituent l'essentiel de la chimie hermétique ont été l'objet des premières véritables recherches de laboratoire sur lesquelles s'est appuyée l'alchimie du début de notre ère et du Moyen Âge. Il est remarquable encore que l'alchimie s'est développée aussi en Extrême-Orient pendant la même période de temps sans que l'on puisse déceler une transmission des connaissances et des idées avec le Proche-Orient.

On sait comment l'alchimie a gagné pas à pas tous les pays d'Europe, comment elle a conceptualisé la notion des principes immatériels et impondérables sur laquelle repose la chimie du XVII^e siècle. Avec G.E. Stahl le caractère mystique de cette chimie a été rejeté, mais la notion de principe a survécu à l'oeuvre de Lavoisier puisqu'on constate encore sa résurgence dans la chimie du début du XIX^e siècle et que la conception du calorique, qui est sa plus tenace incarnation, ne disparaîtra totalement qu'au cours de la première moitié de ce siècle. Mais pendant toute cette longue histoire l'alchimie, la chimie paracelsienne, la chimie stahlienne n'ont été d'aucun secours aux praticiens.

Parallèlement à ce courant de pensée, qui est demeuré improductif pendant 17 ou 18 siècles, les connaissances pratiques des produits chimiques n'ont cessé de se développer dans les ateliers. La manipulation incessante de certains composés minéraux, en particulier des sulfates et des aluns, des nitrates, des chlorures et des carbonates a donné naissance à ces éléments de chimie auxquels les auteurs du XVII^e siècle ne feront autre chose que de fournir une nomenclature.

Je me réserve de revenir là-dessus dans la dernière partie de mon exposé. Pour l'instant je voudrais me demander si ce rôle d'initiatrice, la technique ne l'a pas joué également pour toutes les autres sciences de cette période. Il me semble que l'on peut répondre par l'affirmative dans tous les cas; et ce n'est que très tard, peut-être vers la fin de notre Moyen Âge occidental que les techniques ont commencé à être sporadiquement payées de retour.

Pour autant que je puisse en juger, c'est peut-être une caractéristique de la civilisation musulmane d'avoir introduit des phénomènes d'interaction entre les sciences et les techniques. Cela se limite aux domaines du nombre et de la mesure géométrique. Le système numérique que les Arabes utilisèrent pour les calendriers et les notations scientifiques vers le XI^e siècle fut introduit en Italie au début du XIII^e siècle, pour des usages commerciaux. On sait qu'il remplaça peu à peu l'ancienne numération romaine et que la science y trouva un facteur favorable d'expansion. Par l'intermédiaire des facilités qu'il apporta également à l'activité économique il ne fut pas sans influencer le développement des techniques.

On peut voir une action réciproque, de même nature, dans les premières étapes de la géométrie. Personnellement je ne suis pas qualifié pour discuter le rôle traditionnellement proclamé des crues du Nil dans l'apparition des premières notions de géométrie. Mais il ne me semble pas erroné de penser que la délimitation des propriétés foncières, l'évaluation de leur superficie et la nécessité de leur représentation graphique aux hautes époques sont à l'origine de la géométrie. Plus tard lorsqu'à une époque qu'il est difficile de préciser la topographie s'est constituée ce sont les techniciens qui l'ont créée avec les moyens

qui leur étaient propres. Nous ignorons absolument à qui nous devons les premiers instruments de visée. Il ne me semble pas faux de penser qu'ils sont nés de besoins pratiques, qu'ils ont été peut-être perfectionnés par les tout premiers astronomes et géodésistes, mais que seul un usage courant par des utilisateurs non scientifiques en a perpétué la tradition et a suggéré peut-être aux savants arabes une étude géométrique.

L'exemple du carré des ombres est à cet égard très intéressant. Le carré des ombres figure sur la face de tous les quadrants et cercles de visées qui nous sont venus des Arabes, et sur le dos de tous les astrolabes. Or dans les traités d'arpentage imprimés au XVI^e siècle, comme ceux de Sébastien Munster ou d'Oronce Finné, le principe sur lequel repose la construction de ces carrés dans leur version savante est celui de divers procédés populaires pour mesurer à l'aide des objets les plus divers, comme des piques de soldats, les distances et hauteurs inaccessibles. Il semble bien qu'on pourrait en dire autant de tous les appareils de visée connus avant la fin du XVI^e siècle.

Quant à l'astrolabe, qui est la représentation la plus poussée d'une sorte "d'art scientifique" de l'astronomie, il n'a jamais été qu'un instrument de prestige sans aucune utilité pratique, si ce n'est celle des horoscopes. Peut-être sous ses formes les plus compliquées, celle des astrolabes à cadrans et roues dentées, l'astrolabisme et la gnomonique ont-ils préparé les voies de la mécanique horlogère. Ce serait ainsi l'un des exemples de relations distendues entre sciences et techniques, alors que celui des instruments de visées est un excellent exemple de relations étroites s'exerçant dans les deux sens et exerçant son influence sur des activités scientifiques et techniques les plus diverses; cela va de la géométrie à l'astronomie d'une part, de l'arpentage à la navigation de l'autre. Nous retrouverons tout à l'heure ce domaine fort important d'interactions comme centre de répercussion des influences réciproques des sciences et des techniques.

Nous sommes encore dans la première époque d'évolution générale que j'ai déterminée au début. Les autres exemples que nous pourrions relever d'une influence des sciences sur les techniques me semblent très peu nombreux. A peine peut-on indiquer une première esquisse des lois de la balistique, et encore ne prennent-elles forme qu'au début du XVII^e siècle, à la suite du développement des premières notions de dynamique et de pesanteur. Beaucoup d'autres connaissances qui sont répertoriées dans les exposés d'histoire des sciences ne sont en réalité que le résultat des activités des techniciens; elles ne constituent pas à proprement parler encore les éléments d'une science particulière. Si l'origine de ces connaissances avait été mise davantage en relief par les historiens des sciences nous ne nous trouverions pas devant une conception faussée des relations sciences-techniques et en particulier

devant cette notion moderne que je rappelai tout à l'heure que les techniques ne sont que des applications des sciences. On pourrait retourner la proposition en disant que pour la période dont nous avons parlé les sciences ne sont que des applications de la technique aux jeux de l'esprit.

SCIENCE, TECHNOLOGIE ET TECHNIQUE

Je vous demande maintenant de franchir trois à quatre siècles et de penser à l'époque contemporaine que je ferai débiter vers les années 1840—1860. Cette zone de séparation avec l'époque de transition, sur laquelle nous reviendrons pour terminer, n'est pas fixée, je le rappelle, par des dates absolues. Une sorte de clivage des phénomènes d'évolution se distingue parfaitement selon qu'on examine les domaines d'activité concernant la mécanique, la chimie, l'énergétique et l'électricité. Nous pourrions même dire que les relations sciences-techniques prennent un caractère moderne dès les premières décennies du XIX^e siècle avec la mécanique et que leur évolution est complètement terminée avec l'électricité industrielle entre 1860 et 1880.

Pour essayer de comprendre la nature des relations qui prédominent alors, et qui ne cessent de s'accroître jusqu'à nos jours, je vous ai proposé de ne plus considérer seulement le binôme sciences-techniques, mais le trinôme sciences-technologie-techniques.

La technologie devient pour nous le domaine où les interactions des sciences et des techniques sont immédiates et permanentes. Et il n'est pas mauvais que nous disposions ici d'un terme employé au singulier. En effet si les activités de ce domaine sont multiples elles sont dominées par un caractère commun et un objectif commun. La technologie reçoit toutes les acquisitions de la recherche scientifique et toutes les réalisations de la technique pour répercuter sur l'une sur l'autre tous les résultats utilisables par l'une et l'autre.

On sent bien que cette simplification est extrême et que si on la prend à la lettre elle peut paraître absurde. Cependant elle nous permet de comprendre le processus d'échanges entre sciences et techniques au cours des étapes les plus récentes de leur histoire.

On peut le saisir parfaitement dans l'histoire de la chimie par exemple à partir des premières installations pour fabriquer le gaz d'éclairage. Il y a là un enchaînement des réalisations techniques et des progrès de la science extrêmement caractéristique. Ne serait-ce qu'en donnant aux laboratoires de recherche un moyen de chauffage contrôlable à volonté, l'industrie du gaz d'éclairage a créé des conditions plus efficaces de travail. Mais encore la nouvelle industrie a fourni une gamme de matériaux et de thèmes d'étude d'une richesse qu'aucun chimiste n'avait

pu auparavant soupçonner. Nous savons comment à partir de là s'est construite la chimie organique, comment sont nées les premières fabrications industrielles de produits synthétiques, comment, avec le développement de la chimie biologique, les premières études sur les grandes molécules ont été entreprises, retouchant sans cesse les notions théoriques élaborées, comment après la mise en exploitation des gisements pétroliers, la chimie de ces produits a conduit à l'apparition des grandes industries de synthèse de notre siècle, etc.

La chimie a eu le même genre de rapports avec d'autres industries et par exemple avec la métallurgie. Si nous pensons à la sidérurgie, nous constatons qu'après l'époque où, de Bessemer à Martin et Gillchrist, la fabrication de l'acier a pris son rythme de production moderne, les disciplines de la technologie ont trouvé une ampleur nouvelle. Car la chimie n'a pas été le seul facteur scientifique de progrès. L'optique et l'électricité par exemple ont apporté des moyens efficaces à l'étude de la constitution des aciers.

L'électricité a joué un rôle bien plus important encore dans la création des industries métallurgiques modernes. C'est grâce à elle que l'aluminium, sorti du laboratoire de Wöhler et de celui de Sainte-Claire Deville, est devenu un matériau universellement employé. C'est grâce à elle aussi que la production du cuivre a pu être accrue dans des proportions considérables, précisément pour répondre à des besoins nouveaux, ceux du transport à grandes distances de l'énergie électrique.

Quant à lui l'électromagnétisme nous offre un des meilleurs exemples de revanche de la science sur la technique. C'est peut-être la première science expérimentale qui soit née en dehors de toute pression des techniques. Si nous parcourons le chemin de Guericke à Faraday, je crois que nous pouvons le voir se développer à l'abri de toute influence étrangère. Il en sera de même plus tard de la radioactivité, mais comme celle-ci aura besoin d'un support instrumental plus considérable on peut penser qu'elle n'aurait pas connu une ligne d'évolution aussi rapide si le niveau atteint par le complexe sciences-technologie-techniques n'avait été aussi élevé au cours de la première moitié du XX^e siècle.

En donnant naissance en cours de route à l'électronique à partir de Crookes, et à la radioélectricité à partir de Hertz, le développement de l'électricité a eu d'autres conséquences sur les rapports sciences-techniques. C'est elle en particulier qui a complètement transformé les moyens de transmission à distance. Dès lors est-ce que nous ne pouvons pas voir dans les efforts qui sont faits depuis Norbert Wiener, pour développer la cybernétique, un essai historique pour donner à un certain aspect de la technologie des bases conceptuelles permettant d'étendre ses répercussions à des domaines qui pouvaient sembler jusqu'alors hors de sa portée, par exemple la physiologie, la psychologie et la sociologie. Nous ne savons pas encore si cet essai aura ou non des lendemains.

Mais d'un point de vue historique nous pouvons constater que le terme de cybernétique qui, dans la classification des sciences par Ampère ne couvrirait pas un contenu très consistant, a pris grâce au développement de certaines techniques une signification réelle sinon symbolique.

Les progrès de la métallurgie et la fabrication du gaz d'éclairage ont eu conjointement des effets inattendus; l'invention des moteurs à combustion interne et l'apparition de l'industrie automobile. On peut aussi dire avec juste raison que ce domaine industriel nouveau est dû également à l'existence des machines à vapeur d'une part, de l'industrie de caoutchouc d'autre part. Si nous examinons les circonstances dans lesquelles le moteur à explosion a vu le jour nous constatons que les premiers types, ceux de Lenoir dérivent directement de la machine à vapeur; le produit inflammable employé était le gaz d'éclairage. Il n'y a eu dans cet événement aucune intervention d'un travail de recherche scientifique proprement dit. Lenoir était un autodidacte qui ne pouvait pas comprendre les lois de la thermodynamique, à peine formulées vers 1860. Des inventeurs plus savants comme Bishop n'ont abouti qu'à de mauvais résultats.

Quant à la théorie de Beau de Rochas sur le cycle à quatre temps, elle n'emprunte pas grand chose aux données mathématiques de la science de son temps. Les efforts de Otto reposent sur des données plus rationnelles, mais restent encore pragmatiques. C'est à lui qu'on a dû la mise en service du moteur à quatre temps quinze ans environ après que Lenoir eut livré ses premiers moteurs à deux temps à l'industrie. Vingt ans plus tard Diesel essaya de réaliser le cycle de Carnot avec un moteur à combustion interne de sa conception. Mais la théorie Diesel ne s'adaptait pas à la réalisation du problème qu'il s'était posé. C'est contre lui et en abandonnant ses idées que les ingénieurs de la M.A.N. ont pu mettre en service le type de moteur qui porte son nom.

Quant à l'automobile elle est née de recherches purement empiriques. Il y avait à résoudre de nombreux problèmes d'énergétique et de mécanique pour construire des véhicules susceptibles de devenir des moyens pratiques de locomotion. On sait que le moteur à deux cylindres en V et à quatre temps de Daimler a apporté la principale solution. Les premiers constructeurs de véhicules automobiles sortis des usines de Benz et Daimler en Allemagne, de Peugeot et Panhard en France ont résolu les autres problèmes en adaptant les véhicules à traction animale à ce nouveau mode de propulsion. Il y a quelques années j'ai entendu dire par quelqu'un de très érudit que sans les équations de Lagrange aucune automobile ne roulerait. C'est une belle illusion qui ne tient aucun compte des données historiques de cet épisode. Aucun des premiers constructeurs d'automobiles pendant plus de vingt ans n'a sans doute soupçonné le rapport qui pouvait exister entre les équations de Lagrange et leur travail. Quant à ce qui se passait à l'intérieur du

moteur, je ne saurais dire à partir de quelle date son étude scientifique a été d'une aide effective pour les ingénieurs de fabrication. En fait, avant la première guerre, c'est-à-dire en moins de vingt ans, toutes les solutions qui sont exploitées de nos jours sous toutes leurs variantes avaient été pratiquement expérimentées.

Nous pourrions faire les mêmes constatations au sujet de l'industrie du caoutchouc et celle des produits pétroliers. L'apparition de l'indice d'octane est de beaucoup postérieure aux randonnées des premières automobiles et du vol des premiers avions.

En ce qui concerne ces derniers nous savons également que les théories de l'aérodynamique ne leur ont été d'abord d'aucun secours. Dans notre pays les tentatives de Clément Ader sont considérées comme les premières étapes de l'aviation. En réalité elles constituent des échecs et la dernière étape d'une période protohistorique de l'aviation. On dit que les frères Wright se sont inspirés des observations de Chenut et de Penaud sur le vol plané des oiseaux. En réalité il semble bien qu'ils ont eu surtout l'idée de se servir du moteur à explosion et d'utiliser des hélices à pâles rigides. C'est le bon sens pratique du technicien qui a marqué les premières heures de l'aviation.

Toute l'histoire des moyens de locomotion moderne nous prouve combien, même de nos jours, la technique la plus pure, c'est-à-dire celle qui exerce ses effets sans aucun appareil scientifique, reste par l'invention une innovatrice de premier ordre.

Naturellement l'automobile et l'avion n'auraient pas atteint le degré de perfectionnement que nous leur connaissons aujourd'hui, moins d'un siècle après la construction des premiers types de moteurs à explosion, si l'appareil scientifique ne s'était pas saisi d'un certain nombre des problèmes nouveaux que leur construction et leur utilisation faisaient surgir. Nous pourrions nous demander si la science aurait été seule capable de cette création. L'histoire nous dit qu'il n'en a pas été ainsi. L'aventure de l'électricité ne s'est pas renouvelée.

Encore devons-nous constater que l'électrotechnique n'est pas sortie toute armée du laboratoire. En passant je voudrais attirer votre attention sur l'action retardatrice que la technique de l'époque a subie de la part des hommes qui possédaient une formation scientifique élevée. La première application technique de l'électromagnétisme a été l'invention du télégraphe. Moïse qui n'avait pas de grandes connaissances générales dans ces domaines est allé tout de suite à une solution pratique. En France, Louis Breguet a songé d'abord à répéter sur un cadran les signes du télégraphe Chappe, puis, comme Wheatstone et Siemens, il a cherché à transmettre les lettres de l'alphabet. En ce qui concerne le moteur électrique nous pouvons constater que le même traditionalisme caractérise les premières tentatives. En France Eugène Froment a donné à ses moteurs, inspirés de la réalisation de Pixii, la structure des ma-

chines à vapeur qu'il avait soigneusement étudiées à l'École Polytechnique. Vingt cinq ans plus tard les véritables solutions ont été trouvées par Gramme et Pacinotti.

Sans donner une trop grande importance à ces incidents on peut se demander ce qui serait arrivé si le problème de l'automobile et celui de l'avion avaient été traités par de purs scientifiques. Lequel d'entre eux aurait osé faire le saut, rompre avec la machine à vapeur et se saisir des moyens lointains que la technique lui offrait. En réalité les techniciens avaient une plus grande liberté d'esprit. Rappelons-nous le climat dans lequel vivait la science dans les trois ou quatre dernières décennies du siècle dernier. Cette philosophie de la science qu'on a appelé en France le scientisme, et dont Ernest Renan s'est fait le défenseur, imposait à ces générations l'idée que la science avait atteint un point culminant qu'il n'était guère possible de dépasser. L'ensemble des connaissances scientifiques formaient pour elles une construction harmonieuse qui les satisfaisait. Certes aux époques antérieures il s'était déjà trouvé des hommes éminents pour proclamer que les créations de l'esprit et des techniques ne leur semblaient plus perfectibles.

Mais jamais cette opinion n'a été aussi générale que pendant la seconde moitié du XIX^e siècle. De l'évolutionisme à la synthèse chimique et avec la maîtrise de l'électricité, les théories de Maxwell, l'apogée de la mécanique rationnelle, on croyait que tous les grands problèmes posés à l'homme par la nature allaient être enfin dominés. Cette euphorie était soutenue par l'expansion des grandes industries, l'accélération des moyens de communication. Pour la première fois, dans toutes ses activités l'homme n'était plus soumis aux limites de la force musculaire et de la perception oculaire. Ce sentiment de parvenir à un devenir définitif n'était pas seulement ressenti par les tenants des sciences mathématiques, physiques et biologiques, il était partagé par les premiers explorateurs de la psychologie et de la sociologie modernes. Il imprègne en particulier l'oeuvre de Karl Marx.

LE DESTIN DE LA TECHNOLOGIE

Cependant la technologie allait tout remettre en question. Certes elle ne l'a pas fait seulement par ses propres moyens. Je n'entends pas sous-estimer comme facteur d'évolution l'importance des travaux des savants des générations suivantes. Comme vous tous je sais combien l'aspect de la science de la seconde moitié du XX^e siècle a été profondément modelé par l'oeuvre de savants comme Einstein, Max Planck ou Marie et Pierre Curie. Les réalisations des technologues au cours des quarante dernières années n'enlèvent rien à l'importance historique de semblables créations de l'intelligence scientifique. Je n'aurai pas non

plus la prétention d'analyser ici l'histoire du dernier demi-siècle; je ne pourrais dire que des banalités.

Pour rester le plus étroitement possible dans notre sujet il me suffira de mettre en évidence quelques faits. La technique n'a rien perdu pendant cette période de sa fonction d'initiatrice. Davantage peut être que les sollicitations de l'esprit ce sont celles des faits économiques et politiques qui constituent de nos jours les plus puissants facteurs de progrès. Le besoin constant d'améliorer les conditions d'existence, quel que soit le haut niveau atteint dans certains pays du monde, exerce une pression constante sur les techniques de production. Celles-ci ne peuvent satisfaire ce besoin que grâce aux moyens nouveaux que crée pour elles la technologie; et les domaines d'activité de celle-ci ne cessent de s'étendre jusqu'à envahir celui de la technique et à se faire de plus en plus pressante dans celui des sciences. Je ne rappellerai que pour mémoire l'influence des deux guerres mondiales du XX^e siècle sur la technologie, les techniques et les sciences.

Pour n'évoquer que les grands événements que peut observer notre génération, songeons par exemple comment l'évolution des techniques aéronautiques a créé les possibilités, et le désir, d'entreprendre l'exploration de l'espace. Nous voyons que cette exploration n'a été rendue possible que par la mise en oeuvre d'un nombre considérable de techniques comme celles de la métallurgie, de la chimie, des machines à calculer, de la radioélectricité, de la physiologie, elles-mêmes servies par des disciplines scientifiques que je n'essaierai même pas de citer, qui concourent toutes ensemble au même objet dans une coopération si étroite que personne ne saurait dire s'il s'agit de sciences ou de techniques. Je n'oserai plus parler même de technologie. Cependant les techniques d'une part, les sciences de l'autre y trouvent chacune leur profit. Pour prendre deux exemples parmi ceux qui viennent immédiatement à l'esprit songeons aux techniques de transmission, et en particulier à l'évolution si rapide des lasers d'une part, à la physique cosmique et à la météorologie d'autre part, cette dernière semblant en mesure maintenant de se muer en véritable science. Encore les résultats acquis de la recherche spatiale ne nous sont-ils pas tous connus, puisque leur divulgation reste savamment limitée, pour des raisons que je n'ai pas besoin de rappeler, à un cercle relativement restreint de spécialistes.

Avec la recherche spatiale nous avons un exemple des plus caractéristiques d'un ensemble d'activités qui constitue un complexe nouveau dans lequel vient se fondre la trilogie que j'évoquais tout à l'heure: science-technologie-technique. Ce n'est pas le seul exemple d'importance que nous pourrions citer. La recherche nucléaire n'est pas loin de présenter les mêmes caractères d'une façon aussi absolue. On ne sait pas si l'on doit dire qu'elle ne les présente pas encore, ou bien qu'elle ne les présente plus. Peut-être dans ce domaine pouvons-nous mieux

estimer ce qui revient à la science, à la technologie et à la technique. En discutant ces deux exemples nous pourrions peut-être dégager quelques notions sur l'évolution des rapports sciences-technologie-techniques dans les domaines qui sont, de nos jours, à l'extrême pointe du progrès. Nous serions alors amenés à penser que la technologie a joué un rôle historique fondamental au cours du siècle 1860—1960 pour se fondre avec les sciences et les techniques dans cet ensemble complexe d'activité qu'elle seule pouvait faire surgir.

LA TECHNICITÉ DE LA SCIENCE

Arrivé au terme le plus proche de nous je dois commencer à remonter le cours du temps pour mentionner encore quelques faits de notre demi siècle. Le caractère collectif qu'a pris la recherche scientifique est souvent cité. Mais il est utile pour nous de faire ressortir que pour le plus grand nombre des sciences la recherche s'est constituée en équipes non seulement parce que les opérations à effectuer sont plus nombreuses, mais encore parce que ces opérations sont devenues très diverses. Au début de notre siècle les laboratoires les mieux pourvus disposaient d'une sorte d'aide à tout faire: un peu de mécanique, un peu d'électricité, du soufflage de verre. Trente ans plus tard l'équipe comprend non seulement des chercheurs qualifiés en physique, chimie ou biologie (et souvent un représentant de ces différentes sciences) mais également et presque sur le même pied des techniciens spécialisés en électronique, photographie ou autre discipline.

Dans la période qui s'est écoulée entre les deux guerres l'équipement et les méthodes de travail de laboratoire de recherches se sont trouvés de plus en plus assujettis à la technique. Dans le domaine expérimental le chercheur a dû acquérir toutes les qualités d'un excellent technicien. Même s'ils disposent d'assistants techniciens le chef d'équipe et ses principaux collaborateurs doivent savoir exposer leurs besoins, répartir les tâches, faire le choix des méthodes à utiliser, ils doivent être capables de contrôler si le matériel mis en service répond exactement à leurs demandes. Ce n'est plus seulement l'habileté opératoire classique d'un Lavoisier ou d'un Claude Bernard qui est indispensable dans l'expérimentation, mais un sens général de l'ensemble des moyens que les créations les plus récentes et les plus diversées de la technique mettent à sa disposition.

Ainsi le chercheur du milieu du XX^e siècle a-t-il personnellement des rapports plus étroits avec l'ensemble du domaine technique de son temps que ses prédécesseurs du siècle dernier. On comprend ainsi que même s'il n'appartient pas à un organisme consacré à un domaine de recherche lié à la production industrielle, le chercheur soit plus sensible qu'autrefois à l'influence de la découverte scientifique sur le progrès

des techniques. Plusieurs sciences expérimentales ont atteint entre les deux guerres un niveau élevé de technicité; la chimie et la physique nucléaire, l'étude des rayons cosmiques en sont de remarquables exemples.

En outre la technique a été elle aussi directement envahie par la science. On pourrait inverser ce qui a été dit plus haut en ce qui concerne les laboratoires de recherche industrielle. L'électronique nous en fournit les meilleurs exemples. Qui pourrait dire si la recherche concernant les semi-conducteurs, ou plus récemment les lasers relèvent de la science ou de la technique. Notons qu'il s'agit là de sujets relativement limités; ce ne sont plus des domaines prodigieusement vastes comme la recherche spatiale ou la recherche nucléaire. Mais ce sont encore des sujets qui se trouvent à l'extrême pointe du progrès.

C'est en songeant à ceux là qu'on peut considérer que la trilogie science-technologie-technique s'est fondue en un seul complexe qui malgré la disparité des ses composants présente une certaine homogénéité.

Il me reste une dernière remarque à formuler pour en terminer avec la période contemporaine. Si nous descendons de quelques échelons dans l'ordre des activités nous voyons la technologie reprendre toute son importance d'intermédiaire de liaison. Je n'insisterai pas beaucoup sur ce point là. Il ne nous faut pas, à chacun ici, un grand effort de réflexion pour le constater. J'ai évoqué tout à l'heure les facteurs d'évolution de quelques grandes industries, je voudrais noter seulement que les rapports des techniques et de la technologie connaissent également une accélération croissante. Des techniques de production comme le tissage, la fabrication du papier, l'imprimerie reçoivent constamment des innovations qui lui sont transmises par la technologie. Je ne parle pas seulement des fibres artificielles, des machines continues de papier ou des procédés photographiques, mais je pense aux fibres collées, aux qualités de papier telles que le microjet qui imite le papier couché, et au lumitype pour la composition typographique.

LA NAISSANCE DE LA TECHNOLOGIE

Vous vous souvenez que je vous ai proposé tout à l'heure de faire un saut de quelques siècles. Après avoir essayé d'analyser la nature des échanges entre les sciences et les techniques pendant une longue période où les choses restaient encore relativement simples il m'a semblé utile de faire le même exercice pour la période où la situation est devenue extrêmement complexe. Ainsi ayant mesuré l'amplitude de cette évolution des rapports sciences-techniques nous pouvons nous demander comment s'est accompli le passage d'un état à l'autre. Il me semble que nous pouvons trouver la réponse en parcourant maintenant la période pendant laquelle s'est effectuée cette transition. C'est la

période qui a vu naître la technologie comme activité intermédiaire entre les sciences et les techniques.

Les historiens des sciences le savent bien car il n'en est pas un qui n'ait cité dans l'un ou l'autre de ses écrits Agricola, Biringuccio, Tachenius, Ramelli, ou quelqu'autre auteur de traité technique du XVI^e siècle. La fait que moins d'un demi-siècle après l'apparition de l'imprimerie il y ait eu autant de matière relative aux techniques disponible pour l'impression montre bien que les techniciens avaient acquis au cours des siècles précédents suffisamment d'expérience pour être animés du désir de faire connaître à leurs confrères moins informés le fruit de cette expérience. L'imprimerie a apporté le procédé le plus pratique pour assurer cette diffusion. Mais nous savons que bien avant le XVI^e siècle de nombreux ingénieurs ont inscrit dans des carnets tout ce qu'ils avaient pu observer et les idées nouvelles de réalisations qui leur venaient à l'esprit. Il est curieux de remarquer qu'aucun de ces carnets de notes antérieurs à l'invention de l'imprimerie n'a été édité par la suite. Ceux de Léonard n'ont été imprimés qu'au XIX^e siècle. Au contraire, les ouvrages des anciens et des polygraphes scientifiques qui leur ont succédé ont été imprimés. Je n'en tirerai aucune conclusion si ce n'est que la matière était assez abondamment traitée par les auteurs du XVI^e siècle pour que l'on juge inutile d'avoir recours à leurs prédécesseurs.

Que représentent ces traités sinon une première manifestation de la technologie? C'est-à-dire que des hommes plus instruits que les autres ont écrit des livres susceptibles d'apporter un enseignement pratique à d'éventuels utilisateurs. Ces livres sont en général dépourvus de tout appareil scientifique. Lorsqu'elles apparaissent, les notions scientifiques sont réduites à leur plus élémentaire expression. Tout au moins en ce qui concerne les traités relatifs à la minéralogie, à l'exploitation des mines et aux arts du feu.

Pour d'autres matières, nous constatons déjà une utilisation des données scientifiques avec des résultats plus ou moins heureux. Les traités de chimie par exemple, qui deviendront de plus en plus nombreux au cours du XVII^e siècle se doivent de présenter une partie théorique, dont les praticiens n'ont que faire. Cette partie théorique semble indispensable pour donner un certain prestige à l'ouvrage. Les chimistes ne parlent pas directement aux techniciens; ils s'adressent à un public cultivé et se contraignent de faire part de leurs conceptions particulières sur la constitution de la matière et les lois générales qui président à ses transformations. Le plus éminent d'entre eux, à cette époque, est Paracelse dont l'oeuvre illustre bien l'influence de la technique sur l'évolution d'une science. Paracelse avait été élevé dans le même milieu qu'Agricola; en outre il avait fait des études médicales. Il a transposé

à la médecine les connaissances des minéraux qu'il avait acquises à l'école des ingénieurs des mines et des métallurgistes.

C'est ainsi qu'est née l'iatrochimie qui devait peu à peu dégager la chimie de l'emprise de l'alchimie et préparer les voies de la chimie stahlienne. Beaucoup de chimistes du XVII^e siècle et du début du XVIII^e ont eu la même double formation que Paracelse. En commentant et en discutant les procédés traditionnels employés pour les traitements de minerais et la préparation des métaux et des demi métaux connus, l'extraction de l'alun et du salpêtre, l'action des sulfates naturels pour la distillation de l'eau forte, ils ont davantage servi à codifier et faire connaître les progrès des connaissances chimiques qu'à perfectionner les moyens de l'industrie.

Celle-ci s'est développée seule sans souci des théories qui au contraire aurait pu leur être funeste. Je voudrais donner un exemple de la distorsion qui s'est maintenue dans ce domaine entre la théorie et la pratique jusqu'au début du XIX^e siècle. Ce sont quelques lignes de l'académicien français de Machy qui a longuement décrit les procédés industriels de la distillation des eaux fortes: "J'attribue — dit de Machy — la décomposition du sel marin et du salpêtre par les argiles non à l'acide vitriolique que je suis certain n'y être que fortuitement quand il s'y rencontre, mais à la très grande division mécanique que donne à ces deux sels fondus par la chaleur, la présence de trois parties d'un corps infusible au degré de chaleur employé, contre une substance qui se liquéfie facilement à ce même degré". Ceci a été publié en 1777, l'année même où Lavoisier présentait devant l'Académie la série de ses mémoires sur la composition des acides.

A cette époque l'industrie chimique était déjà constituée sur la base d'une grande industrie présentant les caractères d'une concentration verticale au sens moderne du terme. L'eau forte, c'est-à-dire l'acide nitrique qui jusque vers le milieu du XVII^e siècle n'avait été utilisé que par les essayeurs, avait rapidement trouvé des emplois variés dans diverses industries: teinturerie, pelleterie, fonderie et chaudronnerie, gravure. Sa fabrication était le point de départ de la préparation de nombreux sous-produits qui étaient mis dans le commerce. Elle provoqua une évolution du matériel, de l'aménagement et de l'organisation des manufactures qui avant même l'exploitation du procédé Leblanc avaient créé toutes les conditions techniques et économiques du développement de la grande industrie chimique. Bien plus les manufacturiers avaient acquis une connaissance très précise des propriétés de solubilité, de déplacement et de double décomposition, qui n'ont été formulées sous forme de lois que dans la première moitié du XIX^e siècle.

Ainsi l'industrie chimique a pu prendre son essor sans le concours des théories de la chimie paracelsienne et de la chimie stahlienne; elle

n'a bénéficié de l'apport des théories de Lavoisier qu'un demi siècle après que celles-ci eurent été formulées. Mais en cours de route elle avait fourni tous les matériaux dont se servirent les théoriciens, sauf peut-être les gaz, qui ont constitué, il faut le souligner, la pièce maîtresse de la chimie théorique du XVIII^e siècle. C'est après cette période seulement, dans la première moitié du XIX^e siècle que seront publiés les premiers ouvrages de technologie chimique, mettant à la portée des praticiens les données nouvelles de la science.

Dans d'autres domaines les relations sciences-techniques ont été plus étroites et plus coordonnées, tout au long de la même époque. On ne sera pas étonné que l'astronomie et la géodésie, l'art de la navigation et la chronométrie nous fournissent l'un des meilleurs exemples à méditer. Ici nous pouvons déceler les trois états de la découverte, de la transmission et de l'invention, qui assurent la coopération des sciences, de la technologie et des techniques à une progression conjuguée. Nous avons affaire à des sciences expérimentales qui ne peuvent progresser que grâce aux perfectionnements apportés aux instruments par les techniciens, et à des techniques intéressant un grand nombre d'utilisateurs, et qui évoluent constamment grâce au progrès des connaissances scientifiques.

Dès le début du XVI^e siècle la construction des instruments de mathématiques (c'est-à-dire d'observation astronomique et de mesure) devint une industrie extrêmement florissante. Elle s'est développée d'abord en Italie et surtout en Angleterre, puis en France, en Hollande et en Allemagne avant d'atteindre les autres pays européens. M. Taylor a répertorié une centaine de noms de fabricants ou d'inventeurs anglais pour le XVI^e siècle et plus de quatre cents pour le XVII^e et la première partie du XVIII^e. Il s'agit soit de mathématiciens soit d'ouvriers ou de chefs d'atelier. Parmi les mathématiciens aucun d'eux n'a laissé une oeuvre théorique personnelle; ce sont des *mathematical practitioners* c'est-à-dire des technologues des mathématiques. Il faut noter en effet que beaucoup sont les auteurs de traités sur la construction et l'usage des règles et compas, cadrans, astrolabes, instruments de topographie et d'arpentage. Parmi eux se trouvent Thomas Gemini, les Digges, Humphrey Cole, James Gregory (celui du télescope) etc., auxquels il faut ajouter les Arsénus et Habermel, Cornélius Drebbel et en France Nicolas Bion, et bien d'autres. M. Taylor a dressé une liste de 628 ouvrages publiés par des auteurs anglais sur ces sujets entre 1496 et 1715. Parmi eux figurent deux incunables; je ne sais pas si on peut citer d'autres incunables parmi les ouvrages scientifiques et techniques.

Cette littérature, et l'activité qu'elle traduit, me semblent bien représenter les premiers aspects du développement de la technologie. L'histoire de l'astronomie et de la géodésie pendant cette période est trop connue ici pour qu'il soit nécessaire que j'analyse en détail les

circonstances dans lesquelles elle s'est déroulée. Je désire seulement retenir votre attention sur le rôle important que cette catégorie assez nouvelle encore de ces praticiens des mathématiques a joué dans cette histoire. Plus tard, dans la seconde partie du XVIII^e siècle, nous assisterons à une extension de ce phénomène lorsque aux instruments classiques de mesure et de visée viendront s'ajouter les appareils de physique expérimentale d'une part, l'utilisation des objectifs achromatiques sur les instruments de mesures anglaises d'autre part.

L'épisode de l'achromatisme est à lui seul très démonstratif. On sait que Newton avait démontré l'impossibilité de réaliser des objectifs achromatiques; il avait d'ailleurs tourné la difficulté en imaginant le type de télescope à réflexion qui porte son nom. C'est un technicien, John Dollond, qui, mis sur la voie par divers précurseurs, réalisa et commercialisa les objectifs achromatiques, 50 ans environ après Newton. L'une des premières conséquences de cette invention fut de changer les dimensions de certains instruments de mesure tels que l'octant, dont l'idée était due également à Newton, et d'accroître leur précision. L'usage des instruments d'astronomie nautique ne cessant de croître à la suite de ces perfectionnements, les mécaniciens cherchèrent le moyen d'exécuter mécaniquement la graduation des limbes, qui ne s'effectuait que par des méthodes géométriques lentes et quelque peu approximatives. Jesse Ramsden fut le premier à construire une machine qui donnait satisfaction. Non seulement le prix des sextants fut abaissé, mais certains problèmes pratiques de la petite mécanique de précision furent résolus.

Ces méthodes de construction ayant été publiées à la fin du XVIII^e siècle, de nombreuses machines à diviser furent construites au début du XIX^e siècle qui s'écartèrent plus ou moins du modèle de Ramsden; les grands instruments d'astronomie, en particulier ceux de Gambey, furent à leur tour divisés mécaniquement, ce qui favorisa l'équipement de nombreux observatoires en Europe. A l'époque même de Ramsden, des mécaniciens français, Lenoir et Fortin, entraînés dans le même mouvement d'activité que Ramsden et guidés par des hommes comme Lavoisier et Borda, réalisèrent les instruments: balances, comparateurs, cercle à répétition, grâce auxquels les mesures fondamentales nécessaires pour l'établissement du système métrique purent être effectuées. Encore ne devons nous pas oublier que si les astronomes et géomètres français choisirent de mesurer à nouveau un arc de méridien c'est qu'ils avaient à vider une vieille querelle sur la forme de la terre.

Dans tout ce mouvement d'idées, de découvertes, d'inventions nous ne devons pas manquer d'inclure les progrès de la chronométrie. L'adoption du pendule comme régulateur des horloges par Huygens est un des exemples les plus souvent cités de l'influence d'une découverte scientifique sur un progrès de la technique. Mais encore fallait-il que

cette technique ait atteint elle-même un niveau suffisant de développement pour être en état de l'utiliser. Galilée n'a pas eu à sa disposition des horlogers aussi habiles que Thuret et Thomas Tompion qui travaillaient à l'époque de Huygens et de Hooke. En cette fin du XVII^e siècle les progrès de la chronométrie commençaient à être stimulés par le problème de la mesure de la longitude en mer. Celui-ci suscitait la création de l'observatoire de Greenwich, mais ce sont des techniciens, des maîtres de la chronométrie, qui l'ont résolu. Après Sully et Pierre Leroy c'est George Harrison en Angleterre qui apporta la première solution et, peu après lui, Ferdinand Berthoud en France. Ainsi est né un domaine de technologie pure dont les progrès ont été marqués au cours du siècle suivant d'une part par des études mathématiques, par exemple le mémoire sur les courbes terminales du spiral réglant par Philipps, d'autre part par des recherches de physique et la découverte du métal invar par Ch.-E. Guillaume.

Enfin pour terminer l'analyse de cette période il me faut décrire un autre processus par lequel se sont établies les relations mutuelles des sciences et des techniques. Celui-ci se rencontre lorsqu'on examine plusieurs domaines d'activité qui ont connu une accélération de leurs progrès au cours du XVIII^e siècle et au début du XIX^e siècle. Je pense aux techniques de la construction dans le bâtiment et les travaux publics et à l'apparition de la stéréotomie et de l'étude de la perspective, aux techniques de constructions navales, à l'hydraulique, aux constructions des machines et à la mécanique.

L'histoire des progrès dans tous ces domaines est bien connue et nous voyons bien tout ce qu'on peut en tirer pour éclairer le sujet qui nous occupe. Je ne m'arrêterai quelques instants que sur le dernier. Vous savez comment l'usage du tour s'était répandu et transformé au cours des XVII^e et XVIII^e siècles jusqu'à permettre de travailler le fer. Diverses machines avaient été inventées et mises en usage pour exécuter automatiquement certains travaux: par exemple pour débiter des rondins et percer des tuyaux en bois, pour scier des pierres, pour forer les canons. Les horlogers de leur côté avaient inventé une série de machines propres à leurs travaux; c'est sur des tours d'horlogers que l'on voit pour la première fois apparaître un porte-outils conduit par une vis à filet hélicoïdal. Les constructeurs d'appareils scientifiques dont j'ai parlé tout à l'heure leur ont emprunté, ont adopté et singulièrement perfectionné certains de leurs dispositifs. Cependant les conditions n'étaient pas encore réunies pour que les premières tentatives pour construire des machines outils débouchent sur l'avenir d'une grande industrie.

Les concours indispensables devaient venir par une autre voie. En particulier il était nécessaire que l'étude géométrique des organes de transmission fut entreprise. Elle le fut effectivement dès la fin du XVII^e

siècle; c'est le traité de Philippe de La Hire sur les épicycloïdes et leur usage en mécanique. Puis en 1733 il y eut le mémoire de Camus sur la forme des dents de roues d'engrenage et enfin les mémoires d'Euler quelques années plus tard.

Aucun de ces travaux n'a été utilisé par les techniciens. Les solutions empiriques trouvées par les horlogers et les techniciens de la petite mécanique leur convenaient car dans les appareils qu'ils construisaient les résistances à vaincre étaient faibles et il s'agissait toujours de mouvements lents. Mais les constructeurs de moulins à vent ou à eau auraient été directement intéressés par les solutions géométriques qui leur étaient proposées. La substitution aux engrenages classiques en bois, composés de roues à chevilles et de lanterne, d'engrenages métalliques construits suivant les données géométriques nouvelles, auraient permis d'accroître notablement le rendement des machines. Cependant on s'en tint pendant un demi siècle encore aux solutions traditionnelles puisqu'aucune circonstance pratique n'imposait de les abandonner et en raison de la pénurie relative du fer.

Ce sont incontestablement les transformations de la machine à vapeur par Watt qui introduisirent le déséquilibre et imposèrent une évolution de la technique. On a dit souvent que l'oeuvre personnelle de Watt est un des meilleurs exemples de l'influence des sciences sur les techniques. Je n'en crois rien. Watt est un empiriste de la période prétechnologique. Les données que Black a pu lui fournir sur la chaleur de vaporisation ne constituent pas des apports décisifs de la science. Son parallélogramme est une solution approchée pour un dispositif de transmission qui ne se prêtait pas à une étude mathématique.

En réalité c'est dans la période qui a suivi les inventions de Watt qu'on voit apparaître une curiosité scientifique dans ce domaine. Mola y Béthancourt a été peut-être le premier à tenter une étude théorique de la machine. Puis sont venus un certain nombre de travaux de techniciens, ceux de Rumford à propos du forage des canons et ceux de Seguin. Le point de départ des recherches de Sadi Carnot est incontestablement le fonctionnement de la machine à vapeur. Cependant celle-ci n'était pas la seule à poser désormais des problèmes théoriques; la théorie de la roue hydraulique dont l'étude n'avait jamais été faite est entreprise à cette époque. C'est le même courant de recherche qui fera sortir du domaine exclusif de la simple technique d'application quelques formes particulières de ces roues pour donner naissance à partir de 1830 aux premiers modèles de turbines hydrauliques après Burdin et Fourneyron.

Cette technologie naissante de la machine s'est étendue pendant la première moitié du XIX^e siècle à d'autres aspects de la mécanique industrielle. En particulier le problème de la forme des dents des engrenages a été repris par de nombreux auteurs comme Willis en Angleterre,

Théodore Olivier en France qui ont su mettre à la portée des techniciens les données géométriques énoncées au siècle précédent. Cette littérature alimentée par les discussions et les recherches nouvelles sur le même sujet n'a cessé de se développer jusqu'à Reuleaux.

Avec ce dernier exemple il me semble que l'on peut assister d'une façon très saisissante à la naissance et au développement d'une technologie qui a été interposée par les conditions mêmes du progrès entre les sciences et les techniques et dont ni les unes, ni les autres ne pouvaient plus désormais se passer.

CONCLUSIONS

Pour conclure je vais me contenter de rappeler très brièvement les quatre formes sous lesquelles il me semble que se sont manifestées les relations des sciences et techniques.

1) Pendant la période préparatoire les conditions ne sont pas encore établies pour que les sciences exercent une influence sur les techniques. Les techniques sont des sources d'information et d'inspiration pour les sciences.

2) Pendant la période de transition une sorte d'activités de liaison commence à s'interposer entre les sciences et les techniques. J'ai désigné ces sortes d'activités par le terme général de technologie. Les sciences provoquent la rupture d'un certain nombre de techniques avec leurs méthodes traditionnelles. Les techniques apportent aux sciences des moyens nouveaux de travail. En outre elles continuent à exercer la même influence sur les sciences que pendant la période précédente; cela en sera de même pendant les suivantes.

3) Pendant la période d'expansion, l'étendue et l'action de la technologie ne cessent de croître. Sciences et techniques perdent peu à peu une partie de leurs caractères particuliers qui les différencient.

4) De nos jours l'interpénétration des sciences et des techniques a donné lieu à un complexe à peu près homogène d'activité dans les domaines de création. Les rapports sciences-technologie-techniques continuent à s'exercer dans les autres domaines mais surtout au profit des techniques.

Il semble que le meilleur moyen de mieux comprendre l'évolution de ces phénomènes soit de développer l'étude de l'histoire de la technologie qui semble avoir été trop négligée jusqu'à maintenant. Accessoirement pourrait se poser le problème des relations de l'histoire des sciences et de l'histoire des techniques.