"LES COURS DE SORBONNE"

2038 W I

FACULTÉ DES LETTRES DE PARIS
INSTITUT
d'HISTOIRE de la
RÉVOLUTION FRANÇAISE
SORBONNE

Histoire Moderne et Contemporaine

PROGRÈS TECHNIQUE ET PROGRÈS SCIENTIFIQUE EN EUROPE AU XVIIIe SIÈCLE

PAR

ROLAND MOUSNIER
Professeur à la Faculté des Lettres de Paris

I

CENTRE DE DOCUMENTATION UNIVERSITAIRE
5, PLACE DE LA SORBONNE PARIS Ve

CE LIVRE
provient de la Bibliothèque
de
Georges LEFEBVRE
(1874-1959)
Professeur honoraire à la Sorbonne
Président de la Sté des
Etudes Robespierristes ;
Président d'honneur de la Sté
d'Histoire moderne ;
Membre correspondant de la British
Académy et de l'Académie de Berlin
Membre honoraire de la Royal Historical
Society, de l'Association des Historiens
américains, de l'Association des
Historiens britanniques

LE PROGRES SCIENTIFIQUE ET LE PROGRES TECHNIQUE

EN EUROPE AU XVIII° SIECLE.

FACULTÉ des LETTRES de PARIS
INSTITUT
d'HISTOIRE de la
RÉVOLUTION FRANÇAISE
SORBONNE

Le XVIII° siècle a été marqué, dans ses deux premiers tiers, par une lutte entre les tenants de deux conceptions de l'univers : le cartésianisme et le newtonianisme. Et, pendant toute la durée du siècle, il y a eu une extension progressive du newtonianisme, comme système d'explication dans toutes les sciences.

Le cartésianisme avait remplacé la physique des qualités d'Aristote par la physique mathématique et par le mécanisme universel. Mais la science cartésienne est encore avant tout une grande déduction à partir de principes clairs et distincts, et elle aboutit à une physique du choc et à un univers du plein qui ne sont pas en accord avec l'expérience. Newton conserve naturellement la physique mathématique et le mécanisme, acquisitions qu'on peut considérer comme définitives jusqu'à nos jours, mais sa méthode, beaucoup plus expérimentale, aboutit à une mécanique du vide et à une loi d'attraction qui sont beaucoup plus conformes à la réalité.

Ce sont là les points que je voudrais traiter ici.

Commençons donc par la "physique des qualités", ou, comme on dit quelquefois, l'aristotélisme.

La physique des qualités domine encore au XVIe siècle. Elle est la plus répandue dans la première moitié du XVIIe siècle, et à l'époque où commence votre programme elle est encore admise par énormément de gens.

Vous savez que Platon et Aristote - si l'on s'en tient, naturellement, à ce qu'ils avaient de commun - avaient apporté la même réponse au problème des universaux. Qu'est-ce qui, dans la réalité, correspond aux catégories de l'esprit ? Soit par exemple le terme "homme". C'est un nom que nous donnons à des êtres extrêmement différents : nous appelons "hommes" un blanc et un nègre, un Chinois et un Hindou, un enfant et un vieillard. Comment se fait-il que nous puissions donner ce nom à des êtres qui sont aussi différents l'un de l'autre, et considérer que tous ils sont tout de même des hommes ? Eh bien la réponse donnée par Platon et Aristote était la suivante : Aux noms que nous donnons à ces différents êtres, il correspond une forme fixe, éternelle, ou, comme disaient les Grecs, un "archétype", un modèle, une Idée de l'homme. Cette Idée de

l'homme, c'est ce que l'on appelle aussi, chez les scholastiques, la "substance de l'homme". La substance est identique en tous les hommes.

D'où vient cette idée qu'est la substance de l'homme ? C'est Dieu qui l'a créée. Dieu a créé l'idée, et l'idée façonne alors la matière, cette matière fluante et mobile qui compose les différents êtres. Elle donne à la matière ses qualités sensibles : la forme, la température, l'âge, la couleur. Et elle lui donne aussi des qualités occultes, lesquelles sont des propriétés qui ne tombent pas directement sous les sens, mais dont découlent certains effets perceptibles. Sont qualités occultes, par exemple, la pesanteur, ou la légèreté, la vertu magnétique, et également la vertu dormitive de l'opium.

Par conséquent l'idée de l'Homme fait avec la matière des hommes, qui sont tous différents, mais tous différents comme le sont par exemple des exemplaires d'un même modèle, qui ont tous en effet certaines différences entre eux. Si nous traçons au tableau ou si nous essayons de réaliser des cercles, des circonférences, il est évident qu'aucun de ces cercles, à la rigueur, ne sera identique à la circonférence parfaite répondant à la loi de la circonférence. Par conséquent les exemplaires faits sur le modèle sont tous différents entre eux. Ils sont différents entre eux par les "accidents", comme dit l'école. Mais ils ont tous la même substance, qui est l'idée de l'Homme, et c'est cette substance commune qui nous permet de les appeler tous des hommes.

Pour Aristote, alors, les qualités sont des accidents. Elles peuvent exister en acte dans la substance même, ou bien elles peuvent être possibles, en puissance, dans cette substance. Existent en acte dans la substance les cheveux colorés de l'enfant : l'enfant blond. Mais d'autre part l'enfant, dans ses cheveux blonds, a en puissance la blancheur du vieillard.

Il y a donc dans la substance ces deux possibilités : l'acte, et la puissance. Et il y a un troisième état, qui est l'état de mouvement, comme par exemple des cheveux qui blanchissent.

Un caractère essentiel de la physique des qualités, c'est que le mouvement n'est pas toujours un changement de lieu, comme dans la physique mathématique. Le mouvement, dans la physique aristotélicienne, est une altération. Mais ce qu'il faut bien comprendre, c'est que ce mouvement ne change absolument rien à la substance : l'homme est toujours un homme, parce qu'il y a toujours en lui l'Idée de l'Homme. Il y a différentes variétés d'hommes, mais en toutes il y a ce même caractère commun qu'ils sont "Hommes".

Quelle est donc alors l'explication scientifique ? Elle consiste à chercher le genre et l'espèce des objets. On arrive à trouver leur genre et leur espèce en faisant un inventaire de leurs qualités sensibles, au moyen du questionnaire de la Logique formelle.

Depuis l'Organon, la Logique formelle n'a plus changé. Au moyen de ce questionnaire, on fait l'inventaire des différents accidents de l'objet, et l'on arrive alors, par l'intermédiaire des accidents de sa substance, à le classer dans un genre, dans une espèce. Et l'on connaît alors son archétype, on arrive à le classer. Exemple : en présence de l'aimant, la substance du fer acquiert une vertu occulte, qui est la vertu magnétique. La vertu magnétique est donc la cause propre et ultime des phénomènes observés.

Et ainsi, vous le voyez, en partant de l'observation du réel, nous arrivons à la science, cette science étant pour nous aujourd'hui un verbalisme, mais ayant été pour l'humanité pendant des siècles la science par excellence.

La logique des concepts repose donc sur la notion du fini, parce qu'elle implique un nombre d'espèces fixe, un nombre de caractères fixe dans chaque espèce, des genres et des différences en nombre défini. Et elle correspond à la grande conception d'Aristote, ce "cosmos clos", le monde borné, qui a été aussi pendant des siècles le monde pour les humains.

C'est de cette physique des qualités que l'on est parti pour la grande révolution du XVIIe siècle, pas encore terminée au XVIIIe, qui nous fait passer de la physique des qualités au cartésianisme.

Le passage de la physique des qualités à la physique des quantités ne s'est pas opéré pour des raisons d'observation ou d'expérimentation, comme nous pourrions le croire. Le passage de l'une à l'autre s'est fait pour des difficultés logiques, et des difficultés logiques qui ont existé de tous temps, mais qui ont acquis une intensité particulière au XIIe siècle de notre ère.

En effet, la conception grecque était, comme vous l'avez vu, une conception esthétique. La conception des archétypes, des idées, des substances, est une conception esthétique, puisqu'il s'agit d'un modèle idéalement beau, qui façonne une matière, qui d'ailleurs se soulève d'amour vers l'idée. Au contraire, pour les Occidentaux du XIIe siècle, pour les Scholastiques, qui étaient des artisans de l'esprit, ils n'ont absolument pas le sens esthétique, et par conséquent un grand nombre d'entre eux ne comprennent pas cette idée de l'archétype, cette conception du modèle d'idéale beauté. Pour eux, qu'est-ce que l'idée, la substance ? C'est une abstraction. C'est ce qui reste d'un individu quand on a fait abstraction de tout ce qui le caractérise. Autrement dit, cette substance est une réalité, et non plus, au sens propre du terme, une idée.

Et vous voyez alors le problème logique qui leur a mis à tous la tête à l'envers : comment une substance qui est maintenant une réalité, et non plus un modèle idéal, peut-elle se trouver dans une infinité de sujets différents, qui sont aussi des réalités ?

Cette difficulté logique, évidemment, si l'on n'admet pas la conception de l'archétype, on ne peut en sortir. L'esprit humain

n'en sortira jamais. Ils n'en sont pas sortis. Et du réalisme on est passé au nominalisme. C'est-à-dire que ce mot par lequel on désignait les différents êtres n'a plus désigné, pour les nominalistes, une idée de l'homme, par exemple, mais est devenu simplement un terme qui servait à recouvrir entre eux un certain nombre d'êtres, qui étaient extrêmement différents les uns des autres, mais qui à tout prendre étaient plus proches les uns des autres qu'ils ne l'étaient d'un chien, ou même d'un singe. Et dans ces conditions le nom n'est plus qu'un moyen commode d'opérer un découpage dans la réalité, qui nous permet d'agir sur cette réalité, mais cela ne correspond plus du tout à la vérité profonde qui est cachée sous les apparences, à la vérité de la réalité. Autrement dit il n'y a pas d'idées, il y a simplement des mots qui correspondent dans notre esprit à des images confuses par lesquelles nous arrivons, avec tous les hommes que nous connaissons, à constituer une espèce d'image décolorée de ce que pourrait être l'homme, une espèce de fantôme qui nous sert d'appui commode pour nos opérations intellectuelles, et à ce fantôme il ne correspond absolument rien dans un autre monde. Il n'y a pas de substance, la substance n'est qu'une illusion.

Mais vous voyez alors qu'à ce moment-là l'explication scientifique est compromise, parce que s'il n'y a pas de substance, s'il n'y a pas de monde éternel des archétypes auquel corresponde dans notre esprit le système logique de nos idées, comment le fer peut-il acquérir une qualité occulte tout en restant du fer ? Cela devient impossible, puisqu'il n'y a plus rien de fixe, de permanent et d'éternel sous la substance du fer.

Autrement dit les Nominalistes sont persuadés qu'il n'y a que des "phénomènes", c'est-à-dire des évènements qui se produisent dans le temps. Mais si l'on adopte cette idée du phénomène qui remplace l'idée de la substance, la seule explication possible du phénomène, c'est la liaison avec un autre phénomène déterminé. Et ainsi naît dans leur esprit, très tôt, l'idée de la science expérimentale. Elle est déjà très nette chez le philosophe anglais Guillaume d'OCKHAM, au XIVe siècle, il montre que lorsqu'un phénomène ne peut se produire sans qu'un autre phénomène déterminé se produise, on peut dire que le second est la cause du premier. Par exemple, si nous examinons la fusion de la glace, et que nous exposions la glace au soleil, à la chaleur d'un four, à celle de la flamme ou à celle des mains, nous verrons que dans tous les cas il y a un antécédent commun, qui est la chaleur ; et cela nous enlèvera l'idée d'attribuer la fusion de la glace soit à la couleur, soit à la forme, soit à tous autres phénomènes. Telle est la théorie de Guillaume d'Ockham. Il n'y a plus là-dedans aucune action occulte. Et déjà la théorie des Nominalistes est une explication mécaniste.

L'idée de la science expérimentale n'a pas donné de résultats positifs pendant longtemps, parce qu'on ne savait pas dans quel langage interroger la nature et enregistrer ses réponses. Mais à l'époque de la Renaissance et, pour préciser les choses, dès la fin du XVe siècle, les humanistes ressuscitent un certain nombre de

points de vue pythagoriciens et platoniciens. Et l'influence de Pythagore et de Platon s'exerce en particulier après la publication de la Physique d'Archimède, en 1544. Or qu'est-ce que ces points de vue qui sont ressuscités ? Ce sont essentiellement des points de vue esthétiques et géométriques. L'univers, pour les néo-pythagoriciens, doit être décrit en termes de relations mathématiques. Et, de deux théories géométriquement équivalentes, la plus harmonieuse et la plus belle est la plus correcte. C'est cet esprit géométrique et esthétique qui anime Copernic, et surtout, ensuite, Galilée.

Galilée est guidé par une grande idée préconçue : il y a, pense-t-il, une harmonie cachée sous la diversité de la nature, et cette harmonie est mathématique. Les lois de la nature sont des lois mathématiques. Le réel est une matérialisation du mathématique. Et donc la nature va répondre aux questions qui sont posées en langage mathématique.

Le moment décisif se place au début du XVIIe siècle, en 1604, lorsque Galilée trouve le mouvement rectiligne uniformément accéléré, et la loi des espaces, qu'il traduit de la façon suivante : "Les espaces parcourus par des mobiles descendant en des temps égaux ont entre eux le même rapport que possèdent les nombres impairs qui se suivent à partir de l'unité". Et il publie ses résultats en 1638, dans ses fameux "Discours sur deux nouvelles sciences". Or la loi de Galilée est extrêmement importante, parce que c'est la première loi dynamique. Archimède avait déjà trouvé, dans l'antiquité, des lois statiques ; la loi de Galilée est la première loi dynamique. Avec lui, le mouvement devient essentiel dans la nature entière, à la différence de l'immobilité, qui était la conception des anciens, et le mouvement est soumis aux lois mathématiques. Du même coup, Galilée détruit les objections qui étaient faites à Képler et à Copernic au nom du mouvement, et surtout il mathématise le réel. Galilée montre que la nature réalise la forme géométrique. Les formes géométriques sont homogènes à la matière. Les lois géométriques atteignent la réalité.

La théorie mathématique exprime bien l'essence des phénomènes. Et donc Galilée crée une nouvelle méthode scientifique : c'est la méthode de déduction, à partir précisément de principes clairs et distincts, et qui sont de préférence des principes mathématiques. Il faut que la théorie mathématique précède l'expérience. Il faut déduire le mouvement, par la théorie des mathématiciens, et ensuite constater que le mouvement que l'on a déduit existe bien. Et cette nouvelle forme de pensée et cette nouvelle méthode scientifique remplacent alors la méthode scientifique jusque là en usage, qui consistait à combiner des mots, puisque les mots, croyait-on, reflétaient des idées, et par là, par le jeu des mots, on atteignait des vérités profondes. C'est ce qui fait que Saint-Thomas d'Aquin nous semble aujourd'hui si souvent jouer avec les mots, parce que la science moderne est nominaliste, et qu'alors nous ne comprenons plus les réalistes. Mais ces gens-là combinaient les mots, et c'était tout naturel, puisqu'ils croyaient par là atteindre des réalités profondes. A la suite de la crise du nominalisme, et après la découverte par

Galilée de la première loi du mouvement, il n'est plus possible de conserver cet état d'esprit. A partir de ce moment, ce sont la déduction mathématique et l'expérience qui se substituent aux procédés précédents.

Seulement il y avait une difficulté. Les aristotéliciens utilisaient l'expérience courante : ils raisonnaient sur la roue, sur des balles, sur des projectiles, sur des flèches. Galilée, lui, se plaçait au contraire en dehors de la réalité quotidienne. Vous savez qu'il a commencé à expérimenter sur un plan incliné. Mais ce n'est pas le résultat brut de ses expériences qu'il a donné. Il a utilisé ses expériences pour, au moyen de méthodes de raisonnement mathématique, atteindre des abstractions. Il a imaginé un plan absolument lisse, une sphère absolument sphérique, tous deux absolument durs, en somme des corps abstraits, se mouvant dans l'espace euclidien. Et lorsque le Père Mersenne, notamment, a repris les expériences de Galilée, il n'a pas du tout retrouvé les résultats de Galilée. Galilée affirmait par exemple que la loi de la chute des corps est une parabole, et Mersenne a vu, par ses nombreuses expériences, que la mesure de la courbe ne s'accordait pas du tout avec l'expérience de Galilée. A la rigueur, toutes les expériences de Galilée sont fausses. Ce sont des expériences de pensée, et non pas des expériences réelles.

Vous voyez alors ce qu'il restait à prouver maintenant : il restait à prouver que la mathématique était bien la vérité du réel, et que ce nouveau mode de déduction qui se substituait à l'ancien permettait réellement d'atteindre la vérité. Cet effort a été celui de Descartes. La grande date, ici, est celle du Discours de la Méthode, paru en 1637, avec ses trois annexes : "La Dioptrique", "Les Météores", et "La Géométrie".

Descartes commence par exprimer les bases métaphysiques de la science nouvelle, qu'il comparait à un grand arbre, dont les racines étaient cohstituées par la métaphysique, le tronc par la physique, et les branches par la mécanique, la médecine et la morale.

Et Descartes élabore la métaphysique de la science nouvelle. Ici, il me suffira de vous rappeler rapidement quelques notions que vous connaissez bien, et d'abord celle du "doute méthodique". Vous vous rappelez comment Descartes s'était mis dans les meilleures conditions pour méditer sérieusement, et faire, une fois dans sa vie, cet effort de doute total. Il imagine alors que tout ce qui est autour de lui n'existe pas : la table est une illusion, les êtres qui sont en face de lui sont des fantômes, lui-même il s'imagine qu'il est une grande illusion. Mais alors il se heurte à une difficulté, c'est que précisément il juge qu'il existe : il fait un effort de jugement et de raisonnement, et, du moment qu'il fait un effort de jugement et de raisonnement, il ne peut pas douter une seconde qu'il soit. Par conséquent ce raisonnement : "Je pense, donc je suis" est une intuition, une aperception directe d'une réalité, dont il ne peut pas douter une seconde, parce qu'elle est tellement claire et tellement distincte qu'elle s'impose à lui : il pense, donc il est.

Il pense, et il est. Cela ne signifie pas du tout que le monde extérieur existe, ni même que son corps existe. Mais dans cette pensée que trouve-t-il ? Un certain nombre d'idées qu'il n'a pas pu y mettre lui-même. Il trouve l'idée d'étendue et l'idée de mouvement, qui sont la condition même de sa pensée, et qui sont donc coexistantes à sa pensée. Donc ces idées-là, il ne peut pas en être le créateur. Et il trouve l'idée d'infini, et l'idée de parfait, ces idées qui ont brisé le vieil univers clos d'Aristote, et qui ont ouvert à l'homme l'espace infini.

Cet infini, Descartes le trouve en lui-même. Et alors, en bon scholastique qu'il est, il pense qu'il doit y avoir dans l'effet autant que dans la cause ; or il ne peut pas être l'auteur de ces idées d'infini et de parfait, puisqu'il sait bien lui-même, par les limites mêmes de sa propre pensée, qu'il n'est pas infini, et qu'il ne peut pas être parfait. Il faut donc qu'il y ait exactement dans la cause autant que dans l'effet, autrement dit il faut, pour justifier l'existence de ces idées d'infini et de parfait, un être qui soit infini, et qui soit parfait, c'est-à-dire Dieu. Et du même coup il prouve alors l'existence de Dieu.

Mais Dieu, par la façon même dont il l'a prouvé, est parfait, par conséquent il ne peut pas être menteur. Du moment qu'Il ne peut pas être menteur, cela signifie que toutes les idées que Descartes trouve en lui, soit par intuition, soit par raisonnement mathématique à partir de ses intuitions, sont des idées vraies. Et par conséquent les vérités trouvées par Galilée sont vraies, on ne peut pas en douter : c'est Dieu qui fonde la vérité de la physique mathématique.

Naturellement, le monde extérieur est prouvé de la même façon, étant donné que Dieu n'est pas trompeur (et Descartes en trouve d'ailleurs d'autres explications). Mais que connaît-il de ce monde extérieur ? Et c'est là qu'il réfléchit sur le fameux morceau de cire, qu'il chauffe, qui passe alors à l'état liquide, puis à l'état de vapeur, et qu'il appelle toujours de la cire. Qu'y a-t-il de commun entre ces trois états ? Il y a de commun ce qu'on peut mesurer, et ce qui se déplace. Et Descartes fait alors ici une hardie identification entre la matière et l'étendue, distingue nettement la pensée d'un côté et l'étendue et la matière de l'autre, et déclare que tout ce qui est matière et étendue est susceptible de mouvement et est mesurable, alors que tout ce qui est pensée est infini, et inétendu, ne peut être mesuré. Ce qui lui permet de prouver aussi l'existence de l'âme, etc...

L'espace, par conséquent, est identifié par lui avec une chose étendue. L'espace est une chose étendue. Et du moment qu'il est étendu, l'espace se confond avec la matière. Et donc l'univers est plein : le vide n'existe pas. D'autre part, la matière - cette matière qui au fond est, chez Descartes, une idée géométrique - peut se subdiviser à l'infini. Donc il n'y a pas d'atomes, il y a seulement des particules, des particules infinitésimales, qui d'ailleurs peuvent s'user. Et entre les particules il y a une

espèce de matière subtile, qui remplit tout l'univers, lequel alors est absolument plein. A cette matière subtile, c'est Dieu qui donne le mouvement. Et, comme il est tout-puissant, il lui donne le mouvement instantanément, et partout en même temps. Par ailleurs, comme Dieu est immuable, puisqu'il est parfait, la quantité de mouvement est constante dans l'univers.

La quantité de mouvement est constante. D'autre part, Dieu ne peut être considéré que comme une substance simple. Et de là on peut alors déduire les lois de la mécanique cartésienne : la loi d'inertie, que Képler avait déjà entrevue comme résultat d'une infinité de calculs sur le mouvement des astres, la loi du mouvement rectiligne uniforme, et sept lois du choc des corps, dont vous n'avez pas besoin de connaître le détail.

De ces lois, qui règlent le mouvement de l'univers, sort alors tout l'univers matériel. L'univers est alors une immense mécanique. Les rayons du soleil agitent la matière subtile de la terre. Celle-ci secoue les particules dont nous avons parlé. Les particules alors s'élèvent, nous dit Descartes, "comme les tourbillons de poussière qui montent, l'été, lorsque l'on marche sur une route poudreuse". Et ces tourbillons de matière, c'est cela qui forme les nuages. Si les nuages du ciel s'abaissent brusquement, l'un sur l'autre, cela fait une tempête. Et si cette chute est particulièrement rapide, c'est ce qui produit le tonnerre, la foudre, etc...

Et de proche en proche, alors, Descartes, par ces mouvements, reconstitue tout l'univers. Cela nous paraît un peu puéril aujourd'hui. Ce qu'il faut en retenir, c'est que pour la première fois l'univers tout entier est expliqué sans autre intervention initiale que la pichenette que donne Dieu. C'est donc une explication mécaniste, de type essentiellement moderne, et je dirais même contemporain.

L'explication que donne Descartes est simple. Il explique le ciel de la même manière : cette matière subtile qui est dans le ciel doit créer forcément des mouvements réels, et finalement il faut bien qu'il y ait une de ces particules qui revienne occuper la place laissée vide par la première qui s'est mise en mouvement, de sorte que tout mouvement devient forcément circulaire. Alors la matière subtile en mouvement crée des tourbillons, et ce sont ces tourbillons qui entraînent les astres, et qui nous expliquent les différents mouvements des astres, de la lune autour de la terre, des planètes autour du soleil, etc... L'univers est donc constitué d'une quantité énorme de tourbillons.

Descartes était persuadé par là qu'il avait retrouvé la vraie structure mathématique de l'univers. Il était convaincu qu'il avait découvert l'être des choses, et que cet être était mathématique. Pour lui, il avait vraiment atteint la vérité. Il est, aussi bien que les scholastiques, un ontologiste, il a découvert l'être. Seulement, pour lui, cet être est mathématique.

Or, très vite, le système de Descartes a été attaqué, et l'on est passé alors au système de Newton, et à la méthode expérimentale. Et le système de Descartes a été attaqué tout de suite par ses compagnons mêmes de lutte contre les aristotéliciens. Il n'a pas été attaqué du tout sur le mécanisme en lui-même. Cela, c'est resté définitif. Descartes a rendu cet immense service d'assurer le triomphe de la physique mathématique et du mécanisme universel, deux notions qu'il a fait triompher et qui sont restées définitivement acquises après lui. Et Descartes a rendu en somme définitive - ce que n'avait pas su faire Galilée - cette espèce de mutation intellectuelle qui ouvre le monde moderne. Mais il a été attaqué alors tout de suite par les mécanistes, par Mersenne, par Gassendi, par Roberval, par Pascal, par Hooke. Ces messieurs, qui étaient mécanistes, comme Descartes, ont nié qu'il soit nécessaire de rattacher la physique à la métaphysique. Et Gassendi donne une raison très faible, mais qui a une importance historique énorme. Il fait observer que les vérités géométriques et celles de la physique mathématique ne dépendent pas de l'existence de Dieu, parce qu'il y a plusieurs personnes qui doutent de Dieu, mais il n'y a personne qui mette en doute les démonstrations de la géométrie. Gassendi n'a pas compris la question, mais contentons-nous d'enregistrer ses objections, qui ont eu des conséquences considérables.

D'autre part, les mécanistes rejettent la méthode déductive. Ils déclarent que de la clarté de l'univers il est absolument impossible de conclure à sa vérité. Et ils prononcent le mot de "roman", un siècle avant Voltaire. Parmi les idées claires, ils montrent qu'il faut distinguer les vraies et les fausses, et que par conséquent c'est l'expérience qui est la base de la physique, et non pas les idées claires et distinctes à partir desquelles on déduirait. Autrement dit, ils admettent le rationalisme quantitatif de Descartes, qui se substitue au rationalisme qualitatif d'Aristote, mais ils le complètent par un rationalisme expérimental. D'ailleurs ils ne sont pas des ontologistes, ils ne croient pas à la possibilité de tout connaître, ni à celle d'atteindre le fond des choses. Pour eux, le réel dépasse infiniment nos conceptions. Le son, par exemple, est un mouvement pour le physicien, un mouvement mesurable, et dès l'instant que nous avons pu le mesurer, nous en sommes maîtres. C'est très intéressant, mais cette connaissance quantitative ne nous a livré qu'un aspect de la réalité, qui est le son. Et vous voyez que les tendances des mécanismes allaient dès ce moment-là vers un pragmatisme.

Descartes, d'autre part, a été très vite dépassé par les découvertes qui ont été faites à cette époque. Pour Descartes, par exemple, le choc est une action instantanée. Par conséquent la lumière passe instantanément de la source de la lumière à celui qui l'enregistre. Et Descartes emploie la fameuse comparaison du bâton de l'aveugle. Descartes attachait une telle importance à ce point qu'il déclarait que si l'on pouvait trouver une vitesse quelconque à la lumière, c'était tout son système qui s'effondrait, parce que c'était sa conception de la nature et du cours des choses qui était fausse. Or, en 1675, Roemer découvre et calcule la vitesse de la lumière. Et puis Descartes n'a pas découvert le calcul infinitésimal, qui lui a manqué beaucoup. Et quand on l'a trouvé on a pu voir que le choc des corps,

que Descartes considérait comme quelque chose de simple, était en réalité quelque chose d'infiniment compliqué, et qui en réalité dure. Or Descartes, qui n'avait pas le calcul infinitésimal, a cru que le choc était instantané, et ses lois du choc des corps sont toutes fausses. Notamment la loi initiale, la loi de conservation du mouvement, est une loi absolument fausse, sauf dans certaines conditions (elle est fausse en ce sens que Descartes lui avait donné une valeur universelle). Et c'est à cause de cela qu'il y a eu ce résultat, qui vous a tous surpris au cours de vos études, à savoir que Descartes, qui en somme a fourni les étais de la physique mathématique, et qui l'a rendue définitive, ne calcule plus rien lorsqu'il expose son système du monde. Et il ne peut plus rien calculer, puisque ses lois initiales sont des lois fausses. Alors on a ce résultat paradoxal que l'inventeur de la géométrie analytique ne peut pas s'en servir, et qu'il ne calcule absolument plus rien.

Tout ceci nous explique les efforts de Newton, qui aboutissent à la "Philosophiae naturalis principia mathematica", de 1687, et au Traité d'Optique, de 1704. La méthode de Newton est celle des purs mécanistes, et d'autre part il forge depuis 1665-1666 son principal instrument, le calcul infinitésimal.

Newton montre que l'on aboutit à des résultats en contradiction avec les lois de Képler. Pour cela, il demande un certain nombre de postulats. Il postule l'existence d'un temps absolu, vrai et mathématique, qui coule également, d'un espace absolu, qui reste immuable. Et vous savez que ces postulats sont restés ceux de la physique jusqu'à Einstein. D'autre part il postule l'immutabilité des lois de la nature. Et, ses calculs l'ayant conduit à considérer des particules massives, la persistance dans la nature, depuis des siècles, de l'eau et de la terre l'amène à considérer des êtres absolument permanents, durs, insécables, mobiles, par conséquent des atomes. Il substitue l'idée d'atome à cette idée de particule de Descartes.

Mais surtout Newton attaque les explications cartésiennes. Il part des principes cartésiens. Il y applique le calcul infinitésimal, et il demande : les résultats que l'on trouve sont-ils en accord avec l'expérience ? Et il montre chaque fois que les résultats sont en désaccord avec l'expérience, et que par conséquent les principes de Descartes sont absolument faux. Par exemple, selon la mécanique cartésienne, les corps qui sont emportés par les tourbillons se meuvent selon la même loi que les tourbillons, mais, s'il y avait des tourbillons, la matière des tourbillons, contrainte par celle des tourbillons voisins, serait plus resserrée à l'aphélie, c'est-à-dire au point le plus éloigné du soleil, qu'au perihélie, c'est-à-dire au point le plus rapproché du soleil. La matière des tourbillons devrait donc aller plus vite à l'aphélie qu'au périhélie. Or vous savez que c'est contraire aux lois de Kepler : Kepler a montré au contraire que le mouvement des planètes était beaucoup plus rapide à l'aphélie qu'au périhélie. Donc le système des tourbillons de Descartes n'est pas en accord avec l'expérience.

De même, si les espaces stellaires étaient pleins de matière, sans aucun vide, donc très denses, quelque subtile que fût ce fluide, la résistance serait plus grande que celle du vif-argent. Un globe solide perdrait, dans un tel milieu, plus de la moitié de son mouvement en parcourant trois fois la longueur de son diamètre. Par conséquent les espaces célestes sont vides.

Et Newton, raisonnant par analogie des astres aux petites particules des corps, construit alors une mécanique atomistique, qui est fondée sur deux principes contraires à ceux de Descartes : le vide, et la gravitation universelle. Il pense que dans un espace vide il se meut des êtres matériels, réduits à un point affecté d'une masse invariable ; chacun de ces atomes subit une action attractive qui émane d'un autre point, et en retour il exerce sur celui-ci une action égale et directement opposée. L'action est réciproque, elle est dirigée selon la droite qui joint les deux points ; elle est alors proportionnelle à leur masse, et elle varie en raison inverse du carré de leur distance. Et, grâce à ces principes mécanistes, Newton rend compte de l'attraction de gravité, de la chute des corps, de la marche des planètes, des satellites et des comètes, des marées, de la cohésion des corps, des affinités chimiques qui règlent les combinaisons et les décompositions chimiques. Et, continuant son mouvement, il montre que cet immense univers ainsi constitué et répondant à la loi de la gravitation implique l'existence de Dieu, parce qu'on ne peut pas concevoir que des mouvements si délicats, si bien réglés, ne puissent pas être produits par une intelligence toute-puissante, et ne puissent pas exiger, de temps à autre, un petit coup de pouce de l'éternel Horloger qui remet tout en état quand la pendule ne marche pas.

Telles sont, brièvement résumées, les deux conceptions qui régnaient au début du XVIIIe siècle. Il y en a même une troisième, puisque la physique des qualités n'est pas entièrement morte - les vieilles doctrines sont lentes à disparaître - mais enfin celle-là, nous n'aurons pas à en tenir compte, il suffit de savoir qu'elle existe encore dans un certain nombre d'esprits ; elle ne nous retiendra pas beaucoup. Mais ce qui nous retiendra forcément longtemps, c'est la lutte entre les cartésiens et les newtoniens.

Comment se fait-il que Newton ne l'ait pas emporté tout de suite, qu'il n'ait pas convaincu tout le monde, et que même des savants aussi grands que Huyghens et Leibniz, et des gens aussi compétents que les membres de l'Académie des Sciences de Paris ou ceux de la Société Royale de Londres n'aient pas été tous convaincus immédiatement par le système de Newton ?

C'est que le système de Newton donnait une torture à l'esprit. Ce qui fait que Descartes avait eu un succès prodigieux, et qu'il avait passé pour un surhomme, c'est, nous dit Huyghens, que l'on comprenait toutes les explications qu'il donnait. En effet, ces explications, basées sur la poussée et sur le choc, ne laissent rien dans l'ombre. Mais la gravitation universelle, l'attraction à distance, personne n'est jamais arrivé à se la représenter distinctement. Et Newton a été en somme victime du discrédit de la scholastique, et de la lutte que l'on menait encore contre elle. On l'a accusé de ressusciter les qualités occultes, avec la gravitation. Et Huyghens et Leibniz qualifient la gravitation d'"absurde". Ils disent qu'on revient aux ténèbres du péripatétisme. Et d'autre part la théorie de Newton laissait forcément, comme toute théorie à ses débuts, bien des choses inexpliquées. Par exemple, pour la théorie des marées, Newton avait été obligé d'admettre un globe parfaitement sphérique, immobile, sur lequel s'exercerait directement l'attraction du soleil, considéré lui aussi comme immobile. Autrement dit, comme Galilée, et pour les mêmes raisons, par application de la méthode mathématique, il se plaçait en dehors des réalités.

On a donc pu lui objecter que son système n'était pas prouvé. De là des luttes acharnées et des discussions sans nombre entre cartésiens et newtoniens, et la grande tâche, alors, du XVIIIe siècle, qui a été précisément de décider entre Descartes et Newton, le XVIIIe siècle finalement prouvant la réalité du système de Newton, l'étendant peu à peu à d'autres parties de la science, et faisant peu à peu du système de Newton un système d'explication universel du monde, comme vous en trouverez encore des traces dans la "Philosophie positive" d'Auguste Comte.

PROGRES TECHNIQUE ET PROGRES SCIENTIFIQUE EN EUROPE AU XVIIIe SIECLE

LES CONDITIONS DU PROGRES DES SCIENCES AU XVIIIe SIECLE

Il y a diverses questions que je ne vais pas aborder aujourd'hui. Ce sont celles que j'ai classées sous les rubriques : Engouement du public - Appui de l'opinion et des gouvernements - Universalité des savants - et quelques autres encore. Sur ces questions, je vous renverrai tout simplement au livre que j'ai donné en collaboration avec M. Labrousse, le tome V de l'Histoire Générale des Civilisations, intitulé "Le XVIIIe siècle - Révolution intellectuelle, technique et politique".

Aujourd'hui, je voudrais examiner avec vous deux questions graves : d'abord le rapport des sciences et des techniques, et ensuite l'influence sur le progrès des sciences et des techniques du mouvement général des prix.

I - Les rapports de la science avec la technique -

Il nous faut d'abord définir ce que nous entendons par "science", et par "technique".

Par "science", nous comprendrons, comme on le fait d'ordinaire, essentiellement une théorie, une explication, un ensemble de lois universelles et nécessaires, entre des phénomènes - lois universelles, c'est-à-dire considérées comme s'imposant à tous, en tous temps, en tous lieux, et nécessaires, c'est-à-dire considérées comme ne pouvant pas être autrement.

Par "technique", nous entendrons l'ensemble des procédés employés par les arts, ou par les métiers.

Ce sont deux définitions qui n'ont rien d'original, mais qui au moins fixeront vos idées.

Les rapports entre les sciences et les techniques, ainsi définies peuvent être conçus de deux façons. D'une part, on peut concevoir la science comme poursuivie dans un dessein avant tout de curiosité, et dont on tire des applications pratiques. La science fournit un certain nombre de lois entre les phénomènes, un certain nombre de déterminismes ; on utilise ensuite ces déterminismes pour des applications pratiques. Ou bien on peut au contraire penser qu'il y a des questions qui sont posées aux savants par les artisans et par les fabricants, et que ce sont ces questions qui provoquent les recherches, et les découvertes scientifiques. Dans ce deuxième cas, la science sortirait de la technique, elle serait une réponse aux questions posées par la technique, par les moyens de production de l'homme, et par les besoins de production des hommes vivant en société.

Cette deuxième théorie est notamment celle des marxistes. Pour les marxistes, ce seraient les techniques qui seraient la source de tout le développement de la science. Les besoins de la production dans une société donnée règleraient le travail des savants, et des besoins de cette production viendraient toutes les découvertes scientifiques qui seraient faites ultérieurement.

Nous trouvons la théorie exprimée, je crois, à peu près dans tous les écrits marxistes traitant des sciences. On pourrait en trouver de nombreuses citations. J'en extrais tout d'abord deux, d'un travail du savant soviétique HESSEN, présenté en annexe aux rapports qui ont été faits pour le "2ème Congrès pour l'Histoire des Sciences et de la Technologie", tenu à Londres en 1931.

Voici comment s'exprime HESSEN : "La nouvelle méthode de recherche qui, dans les personnes de Bacon, Descartes et Newton, gagna la victoire sur les scolastiques, et conduisit à la création d'une nouvelle science fut le résultat de la victoire des nouvelles méthodes de production sur le féodalisme". Par conséquent il y a d'abord nouvelle méthode de production, et ensuite il en sort une nouvelle méthode de recherche, qui aboutit aux découvertes faites par les savants dont nous venons de parler, et à l'édification d'une nouvelle philosophie des sciences, notamment dans les travaux de Bacon et de Descartes.

Un peu plus loin, je trouve encore ceci : "Si nous comparons ces séries de thèmes de base (ce sont les thèmes de base des savants et de la nouvelle philosophie des sciences) aux problèmes physiques que nous trouvons en analysant les demandes techniques de transports, moyens de communication, industrie et guerre, il devient tout à fait clair que ces problèmes de physique furent fondamentalement déterminés par ces demandes". Donc, d'après HESSEN, les différents thèmes qui ont servi de base au travail de Bacon, de Descartes et de Newton ont été imposés par les demandes techniques de la production à l'époque de Bacon, Descartes et Newton.

Si vous voulez une autre citation, en voici une, par exemple, de Henri MINEUR, auteur d'un article sur la mécanique et l'astronomie publié dans un ouvrage collectif intitulé "A la lumière du marxisme", qui a paru à Paris, aux Editions Sociales Internationales, en 1935. C'est au tome Ier, à la page 61, que nous trouvons cette citation : "Cette revue rapide de l'activité des savants de 1500 à 1600 montre que tous les problèmes qu'ils ont résolus étaient, de près ou de loin, et presque toujours de très près, posés par la technique de leur époque. Il ne peut faire de doute que le grand élan de la science au moment de la Renaissance trouve son origine dans les besoins techniques, et, si l'on va plus loin, dans la modification économique que subit la société de cette époque".

Ceci ne nous concerne pas, à première vue, car il s'agit du XVIe siècle, mais Newton nous concerne, puisque tout le XVIIIe siècle est dominé par Newton. Et MINEUR nous dit : "Newton a apporté le couronnement de l'oeuvre scientifique de la Renaissance, et comme cette science a trouvé son origine dans les besoins techniques de la bourgeoisie on comprend pourquoi l'oeuvre de Newton est reconnu du vivant de son auteur, et développée au siècle suivant".

Telle est la théorie exprimée. Que devons-nous penser de cette théorie ? C'est naturellement, pour les historiens, une question de textes. Que disent les textes ? Et, tout d'abord, que dit HESSEN? - "La nouvelle méthode de recherche que l'on trouve dans Bacon, Descartes et Newton est le résultat de la victoire des nouvelles méthodes de production sur le féodalisme." - Est-ce que nous trouvons dans les ouvrages de Bacon, Descartes et Newton quelque trace d'une influence des méthodes de production, et, par exemple, étant donné que ces messieurs ont créé de nouvelles méthodes mathématiques, et que ces méthodes mathématiques sont la base même de la nouvelle science, peut-on prouver que les nouvelles méthodes de calcul des marchands, les méthodes de travail des artisans, ont influé sur le travail mathématique de Descartes et Newton, et sur les mécanismes qu'ils ont imaginés ?

Je n'ai absolument rien trouvé de pareil dans les oeuvres de Bacon, Descartes et Newton. J'ai trouvé le contraire. Certes, dans sa "Dioptrique", Descartes dit qu'il voudrait faciliter le travail des artisans, mais de quels artisans s'agit-il ? De ceux qui travaillaient spécialement pour les astronomes, et à qui l'on demandait de fabriquer des verres pour les lunettes astronomiques - donc un champ extrêmement réduit, et qui concernait précisément la science pure. Mais ni Descartes, ni Newton ne nous disent jamais qu'ils tirent quoi que ce soit du travail des artisans et des problèmes posés par la production et par les différents besoins de la technique, pour poser les problèmes scientifiques. Or pourquoi nous l'auraient-ils caché ? En vérité je ne le vois pas.

D'autre part la deuxième affirmation d'HESSEN est extrêmement intéressante à examiner, parce qu'elle pose, je crois, le problème d'une confusion d'idées. Reprenons son texte, afin d'avoir des idées bien claires, à défaut d'être d'accord. Que dit HESSEN ? -

"Si nous comparons ces séries de thèmes de base aux problèmes physiques que nous trouvons en analysant les demandes techniques de transports, moyens de communication, industrie et guerre, il devient tout à fait clair que ces problèmes de physique furent fondalement déterminés par ces demandes". Autrement dit, on trouve dans les oeuvres de Descartes, de Newton, de Galilée et de Bacon un certain nombre de thèmes, qui peuvent être utilisés ensuite pour la technique de la production, et l'on en déduit que c'est la technique de la production qui a suggéré ces thèmes. Mais je crois qu'il y a confusion de pensées, parce que dans tout ce que fait l'homme nous trouvons posés tous les thèmes de la physique. Si je lève le bras devant vous, dans mon mouvement de lever le bras toute la mécanique et toute la pesanteur sont impliquées. Mais, depuis que le monde est monde, il y a des gens qui ont levé le bras, et cela n'a pas posé du tout de thèmes techniques aux savants. Et, de même, dans tous les actes que peuvent faire un homme qui pioche, un homme qui pousse une brouette, ou un homme qui transporte un fardeau, toute la mécanique et toute la pesanteur sont impliquées. Alors, à toutes les époques, cela pouvait poser des thèmes aux savants qui s'occupaient, ou auraient pu s'occuper, de ces questions. Nous devons donc nous étonner que ce soit seulement au XVIIe siècle qu'il y ait eu des solutions.

Autrement dit, pour arriver à penser qu'un certain nombre de thèmes ont été suggérés par la technique, il faut que nous trouvions des textes qui nous prouvent ceci indubitablement. Parce que le fait qu'il y ait une correspondance entre un certain nombre de besoins et, d'autre part, les thèmes de découverte ne prouve pas du tout qu'il y ait une relation entre les deux, étant donné que ces besoins existent depuis qu'il y a des hommes sur la terre, et que les découvertes n'apparaissent qu'à une époque donnée, et spécialement, ici, au XVIIe et au XVIIIe siècles.

Par conséquent les affirmations qui nous ont été données ne nous paraissent pas du tout probantes. Je n'ai absolument vu dans Descartes et Newton que des gens qui étaient avant tout préoccupés de théorie pure, qui travaillaient pour résoudre des thèmes qui leur étaient posés par la curiosité, et même par la nécessité de résoudre certains problèmes philosophiques, et même certains problèmes métaphysiques et religieux. Et notamment le travail de Copernic et de Galilée est extrêmement clair là-dessus. Au XVIe et au XVIIe siècles il n'y a que très peu de relations entre la science et la technique. Ces relations vont devenir plus fréquentes au XVIIIe siècle, mais seulement dans le dernier tiers du XVIIIe siècle. Et ici nous avons alors un moyen de vérification - indépendamment de la lecture des textes - c'est celui qui consiste à étudier l'activité des académies.

Pour simplifier la question, nous nous occuperons spécialement de l'Académie des Sciences de Paris et de la Société Royale de Londres, parce que la première a groupé à peu près tous les savants importants du siècle, et que la seconde a joué le même rôle en Angleterre. Si bien que, comme nous trouvons réunis dans ces deux sociétés presque tous les gens qui ont fait des découvertes importantes, voir de quoi s'occupaient ces sociétés va nous renseigner

immédiatement sur les préoccupations de ces hommes, et sur leurs rapports avec les milieux industriels, commerciaux, etc...

Pour l'Académie des Sciences de Paris, le travail nous est assez facile, parce que nous avons deux bons livres, de E. MAINDRON et A. MAURY, qui ont traité tous deux de l'Académie des Sciences.

Que résulte-t-il de leurs ouvrages ? Tout d'abord que l'Académie des Sciences de Paris comprend très peu d'hommes de pratique - ce qui est important. On y trouve très peu d'industriels, et ils y sont entrés très tardivement. Ainsi, sous Louis XVI, nous trouvons Périer, le fameux constructeur de machine de Chaillot, celui qui a développé en France la production des machines à vapeur du système Watt. En revanche nous trouvons beaucoup d'hommes d'épée, beaucoup de nobles, beaucoup d'ecclésiastiques, beaucoup de médecins, en somme des gens qui sont tout de même des amateurs au point de vue scientifique.

Ces hommes sont presque tous des théoriciens. Le Réglement de l'Académie de 1716 est d'ailleurs absolument orienté vers la théorie pure. Il crée des "honoraires", des "pensionnaires", des "associés", etc...

Ceux qui jouaient le rôle principal, c'étaient les vingt "pensionnaires", qui étaient comme des espèces de patrons dirigeant les autres. Nous trouvons parmi eux trois géomètres, trois astronomes, trois mécaniciens (il s'agit ici de mécanique pure, de mécanique théorique), trois anatomistes, trois chimistes, trois botanistes, et puis un secrétaire et un trésorier - mais absolument aucun homme que nous pourrions appeler un technicien.

D'autre part, que font-ils, ces hommes ? Ils s'occupent surtout de la théorie, surtout de la science, au sens propre du terme, et surtout aussi de la science en vue de résoudre des questions philosophiques. D'ailleurs la plupart d'entre eux avaient reçu une éducation avant tout littéraire et philosophique, et ils cherchent surtout les faits généraux. En science pure même, d'ailleurs, ils sont très peu spécialisés, et la plus grande partie de leurs séances sont consacrées à des questions de science pure.

Toutes leurs séances ne sont pas cependant consacrées à des questions de science pure. Ils s'occupent quelquefois de questions pratiques. Mais ils s'en occupent à leur corps défendant. Il y a des moments où on les consulte : des techniciens viennent leur demander des solutions. Il y a d'abord des militaires, et des marins, beaucoup d'officiers de l'armée de terre et de la marine, et puis, mais en beaucoup moins grand nombre, des ingénieurs, qui viennent leur demander les moyens d'apprécier la résistance des matériaux, la force des engins, la dépense d'un mécanisme, et qui ne possèdent pas les connaissances mathématiques nécessaires. Mais alors on constate que les membres de l'Académie des Sciences, s'ils ne se dérobent pas, parce qu'ils sont pensionnés par le roi, et que leur titre les oblige à répondre aux questions posées, s'en occupent, mais à côté des questions théoriques, et comme accessoirement, et ce ne sont pour ainsi dire jamais les demandes des techniciens qui leur fournissent des questionnaires pour les sciences dont ils s'occupent dans leurs

recherches. C'est arrivé quelquefois à propos de question de marine et de voilure, mais c'est absolument exceptionnel.

C'est seulement à la fin du siècle que l'on voit alors un changement se prononcer dans le travail de l'Académie des Sciences. Déjà Colbert et Louis XIV, qui n'étaient pas des hommes de science, et qui étaient surtout soucieux de pratique, comme il est naturel pour des administrateurs, avaient demandé à l'Académie des Sciences de s'occuper d'un "recueil de machines". Et un certain nombre d'académiciens avaient alors cherché à constituer ce recueil, mais bientôt le travail avait été complètement abandonné. C'est seulement après la parution de l'Encyclopédie, et particulièrement à partir de 1761, que l'on voit l'Académie des Sciences reprendre la publication des traités techniques qui lui avaient été demandés par Louis XIV, et notamment de son "recueil de machines". Et puis alors comme à partir de ce moment-là, l'industrie se développant davantage, il y a évidemment une demande plus forte, on voit de plus en plus l'Académie des Sciences, poussée par le gouvernement, et sur des questions qui lui sont posées par lui, s'occuper de questions techniques, par exemple pour la fabrication du salpêtre, en 1765, ou pour la fabrication des poudres, en 1771. Et il y a certainement une préoccupation croissante de l'Académie en ce sens dans le dernier tiers du siècle.

Cette préoccupation croissante se reflète dans le Réglement de 1785, qui est l'oeuvre de Lavoisier. Il reprend toutes les sections existant déjà, mais il en ajoute d'autres. Ainsi la Section de Chimie devient "Chimie et Métallurgie", la Section de Botanique se transforme en "Botanique et Agriculture", et puis une nouvelle section est créée, celle de "Histoire naturelle et Minéralogie".

Ainsi vous voyez que dans le dernier tiers du XVIIIe siècle on trouve des traces très certaines de préoccupations plus techniques de l'Académie. Et ceci est à noter. Mais ce qu'il faut remarquer c'est que, même dans ce dernier tiers du siècle, l'Académie des Sciences et les savants, même Lavoisier, qui pourtant a eu des préoccupations techniques évidentes, s'occupent tous, et avant tout, de théorie pure, et de théorie dont les thèmes ne leur sont pas posés par les besoins de la technique et les nécessités de la production.

Quant à la Société Royale de Londres, vous savez qu'elle diffère de l'Académie des Sciences de Paris parce que celle-ci était une institution de l'Etat, où l'on entrait par une nomination royale, et où l'on recevait un traitement, tandis que la Société Royale de Londres est au contraire une société purement privée, où l'on vient par plaisir, et où, bien loin de toucher un traitement, on verse une cotisation. C'est donc quelque chose de différent, mais, étant donné les moeurs des Anglais, la Société Royale de Londres a tout de même groupé la plupart des savants importants de l'Angleterre.

Or, au départ, on constate qu'en 1715 les sciences qui sont pratiquées semblent indiquer des préoccupations plus pratiques que celles de l'Académie des Sciences de Paris. Voici en effet la série des sections de la Société : Ière Section : Philosophie naturelle et mathématiques ; 2ème Section : Astronomie ; 3ème section : Géométrie;

4ème section : Optique ; 5ème section : Histoire naturelle ; 6ème section : Anatomie ; 7ème section : Chimie ; 8ème section : Mécanismes ; 9ème section : Economie domestique, Culture et Jardinage ; 10ème section : Antiquités (puisque la Société avait des préoccupations très vastes, et s'occupait aussi d'archéologie et de recherches historiques).

Seulement si nous regardons alors les savants qui en font partie et, d'autre part, les sections où ils sont inscrits, et de quoi ils s'occupent, nous constatons que les grands savants qui ont compté, qui ont fait des découvertes, ne figurent jamais dans la section "Mécanisme", jamais dans la section "Economie domestique, culture et jardinage", et ne figurent que dans des sections de théorie pure. Ainsi Isaac Newton figure dans les sections I, II, III et IV ; Edmond Halley, l'homme de la comète, dans les sections I, II et III ; Brook Taylor, le fameux mathématicien, dans les sections I, II, III et IV, et M. Cheselden, le grand chirurgien, uniquement dans la section X. Et aucun ne fait partie de sections techniques, pas plus d'ailleurs que les questions qu'ils traitent ne sont des questions techniques.

La Société Royale de Londres s'est occupée par moments de questions techniques, parce que le gouvernement royal lui envoyait parfois des gens qui lui posaient des questions, comme cela se passait en France. D'autre part le gouvernement royal décernait des espèces de brevets d'invention, qui entraînaient le monopole de certaines fabrications, et avant de décerner ces brevets il tenait à s'assurer que la découverte était sérieuse. Il arrivait alors que, comme l'Académie des Sciences de Paris, la Société Royale de Londres s'occupât parfois de questions techniques, donnât des avis techniques. Mais était-ce la principale partie de son travail ? Loin de là. Et cela posait-il des questions ? Pour mon compte, je n'en ai pas trouvé trace. Et ceci jusqu'à la dernière partie du siècle.

D'ailleurs on est extrêmement frappé du petit nombre d'hommes de science qui figurent parmi les membres de la Société Royale de Londres. Sur les listes, je constate que, dans l'ensemble, il n'y a jamais eu guère plus de 30 °/₀ d'hommes de science parmi les membres de la Société Royale de Londres. C'est seulement en 1740 que l'on a dépassé un peu ce niveau : cette année-là, il y avait 33 °/₀ d'hommes de science parmi les membres de la Société Royale de Londres.

Mais parmi ces hommes de science trouvons-nous alors des techniciens ? Pas davantage. Ainsi, en 1740, il n'y a pas un seul ingénieur au sein de la Société. Il y a un seul hydrographe, et seulement deux fabricants d'instruments. Et, à eux tous, ils forment 3 °/₀ du nombre des hommes de science. En 1770, il y a deux ingénieurs (1,8 °/₀ du nombre des membres scientifiques), il n'y a plus de fabricants d'instruments, il y a encore deux hydrographes. Tous les autres sont des théoriciens, ou des médecins, des quantités de médecins, mais qui étaient là comme amateurs de sciences plutôt que comme savants.

Mais en 1800, alors, le nombre des ingénieurs a augmenté : ils sont huit (8,5 °/₀ du nombre des hommes de science) ; et les hydrographes sont cinq (4 °/₀). Il y a d'autre part un fabricant d'instruments (0,6 °/₀ du nombre des hommes de science). Cela indique une évolution qui commence, mais vous voyez que cette évolution, tout en étant notable, laisse tout de même le fait essentiel que les techniciens ne figurent pour ainsi dire pas dans la Société Royale.

La Société Royale s'occupe-t-elle beaucoup des machines ? Peu, en somme. Et il y a un fait que je voudrais vous rappeler, et qui est tout de même significatif : en 1708, au moment où s'ouvre notre période, un nommé Denis Papin a proposé à la Société Royale de Londres, dont il était membre depuis vingt-huit ans, d'appliquer à la propulsion d'un navire sa fameuse machine à vapeur. La Société était présidée par Newton. Elle a repoussé la proposition de Papin. Cela ne l'intéressait pas. Parlez-moi du calcul infinitésimal ; cela, c'est intéressant ; la machine à vapeur, pas du tout.

Mais il y a d'autres faits de cet ordre. Et faute d'un bon livre sur la Société Royale de Londres (il y en a plusieurs, mais leurs auteurs se sont intéressés uniquement aux questions administratives, et ils ne nous renseignent pas sur ce dont s'occupait la Société), nous pouvons nous débrouiller de la façon suivante, et tout d'abord en recourant à un pamphlet de John Hill, intitulé : "Une revue des travaux de la Royal Society de Londres". C'est un livre publié en 1751, in-4°, et qui est un pamphlet de 265 pages.

John HILL accuse la Société de perdre son temps à des bagatelles, de décliner. Et voici en effet ce qu'il nous donne comme thèmes traités par la Société. J'emprunte ceci à la catégorie "Arts", qui ne désigne pas, comme de nos jours, les beaux-arts, mais, au sens de ce que nous appelons aujourd'hui les "arts-et-métiers", le travail des artisans. Or dans les arts, où nous nous attendrions à voir traiter de métiers à tisser, de nouveaux procédés pour la fonte du minerai de fer, et d'autres choses intéressantes comme celles-là, nous trouvons que la Société a étudié le moyen de tuer les serpents à sonnette, le moyen de faire prospérer les huitres, la création d'insectes de différentes couleurs pour les teintures, un procédé pour attraper au mieux les canards sauvages, un procédé pour chasser les oiseaux de proie, des procédés pour pêcher les carpes, pour prendre les coqs de bruyère, des procédés pour faire briller les poissons, un appareil à réveiller les tisserands quand ils s'endormaient à leur métier, et un procédé pour faire pousser les oranges de Séville, etc, etc... - J'ai cherché vainement quelque chose qui répondît réellement à la notion d'un travail technique, et d'une préoccupation technique.

Toutefois je me suis dit : Il s'agit d'un pamphlet, on ne peut pas prendre cela bien au sérieux, et puis le pamphlet émane de quelqu'un qui n'était pas membre de la Société Royale. Je me suis alors reporté aux "Philosophical Transactions" de la Société elle-même, pour voir ce qu'il en était. Et permettez-moi de prendre un exemple dans le volume portant sur les années 1749-1750, où il

commence à y avoir en Angleterre pas mal de créations techniques. Or je dois vous confesser que je n'ai trouvé absolument rien sur les techniques dans ces Philosophical Transactions : on y traite du cas d'une femme qui avait une pierre sous la langue, on y étudie les verres, pour préserver les pièces anatomiques ; il y a des observations astronomiques sur le Paraguay, un instrument d'arithmétique, une étude sur l'opération de la pierre, une autre sur les sauterelles, une étude sur les ammonites, des observations curieuses sur un homme dont l'estomac était cartilagineux, un catalogue des cinquante plantes du jardin de Chelsea, le cas d'un enfant qui avait un calcul mal placé - observations du médecin sur ce calcul ; et puis on y trouve l'état des poids et mesures de capacité en Angleterre, un essai pour prouver que la livre "avoir du poids" est réellement l'étalon de tous les poids en Angleterre, la cure des gangrènes sèches, etc... - Donc, rien de proprement dit sur les techniques.

Pour l'année 1776, dans le volume 66, c'est un peu plus technique. Et là on voit la trace d'une évolution dans les préoccupations. Mais vous allez voir comme cette évolution, que je tiens à signaler, reste loin des problèmes posés par la technique à la science. Voici en effet les problèmes étudiés : Sur la nature de la gorgone, animal marin ; dix-neuf observations sur les variations du compas (ceci est plus technique) ; la division des droites, des surfaces et des volumes ; une étude géographique sur les Iles Falkland ; des théorèmes sur les intérêts à payer annuellement, mensuellement et trimestriellement (cela, c'est plus technique) ; une étude sur la langue romanche; des observations sur la population de Manchester ; un exposé sur les crises d'asthme ; des essais pour geler le mercure ; des observations astronomiques en Autriche ; des essais du célèbre Cavendish pour imiter la torpille par l'électricité ; des observations de Priestley sur la respiration et le rôle du sang ; des expériences pour déterminer si l'eau est douce, et le poids de l'eau ; des expériences sur le platine ; des récits de voyage au Cap, et enfin un journal météorologique tenu par la Société. - Il ne vous échappe pas que d'abord c'est plus sérieux et qu'aussi cela se rapproche bien davantage des préoccupations techniques. Mais enfin nous ne pouvons pas dire que le travail de la Société Royale de Londres ait été inspiré avant tout par la technique.

Et d'ailleurs c'est tellement vrai que lorsque vraiment des transformations se sont produites en Angleterre, il a fallu créer, à côté de la Société Royale de Londres, des sociétés techniques. Et nous pouvons citer par exemple la "Société Royale des Arts" (le mot "arts" ayant toujours le sens de "procédés d'artisans"), fondée en 1754 par un maître à dessin, William Shypley, assisté de trois membres de la Société Royale de Londres, qui s'intéressaient à la technique mais qui n'arrivaient pas à y intéresser la Société.

La Société Royale des Arts a comme objet de fonder des prix pour les découvertes et les inventions dans les arts, les manufactures et le commerce. Elle a vivement intéressé la plupart des hommes

d'Etat anglais, par exemple Pitt, lord North, lord Rockingham. John WILKES, le fameux pamphlétaire, le docteur Johnson, le satirique anglais, en ont fait partie. Elle a d'ailleurs reçu des lettres des marchands de Londres et de Liverpool au sujet de l'attribution de ses prix. Et de quoi s'est-elle occupée ? Fort peu de l'industrie, beaucoup de l'agriculture, ce qui nous surprend, et nous ne constatons pas du tout que ses travaux aient eu la moindre influence sur la marche de la science proprement dite. Elle a eu une influence technique heureuse, surtout en matière d'agriculture, mais absolument aucune influence sur la science.

Nous pourrions dire la même chose à propos des sociétés écossaises, comme par exemple celle qui a été fondée en 1727 et qui s'intitule : "Bureau des hommes de confiance pour les manufactures écossaises". C'était d'ailleurs une institution semi-officielle, chargée d'administrer les 2.000 livres données à l'Ecosse par le traité de 1707, pour lui permettre de rattraper son retard sur l'Angleterre. Le Bureau s'est occupé en effet des manufactures, et spécialement des industries textiles. Pour développer les industries textiles, il a fait appel au personnel scientifique des universités. Et l'on trouve plusieurs savants d'université qui se sont occupés des échantillons de teinture, etc... Mais nous devons faire toujours la même observation : ce sont pour eux des travaux à côté, cela ne concerne pas directement leurs travaux principaux, et cela ne constitue nullement leur principale préoccupation. Et nous ferons la même observation à propos du fameux Black, qui a inventé la calorimétrie, qui s'est occupé, à côté, de chimie, et qui s'en est occupé sérieusement, mais dont les recherches techniques et les recherches scientifiques sont néanmoins comme séparées : il y a comme une espèce de hiatus entre les deux, ce qui est tout de même très remarquable.

Ce que je vous expose pour le XVIIIe siècle a été senti d'ailleurs très bien par un certain nombre de savants marxistes. Et dans le même livre, "A la lumière du marxisme", je trouve sous la plume de Jean Langevin, agrégé de l'Université, à partir de la page 108, la remarque que le progrès scientifique n'est pas la conséquence immédiate des progrès de la technique industrielle, ni même, dit Langevin, "d'un désir d'une tentative pour améliorer les conditions de production". Il remarque qu'une science apparaît avant l'industrie correspondante, et même avant une forme rudimentaire de cette industrie : il y a souvent, dit-il, "antécédence de la science sur l'industrie".

Il y a des pays de civilisation technique avancée sans développement scientifique, tels que la Chine de l'antiquité, les Etats-Unis jusqu'à ces dernières années, le Japon presque jusqu'à maintenant (1935). Enfin, dans certains pays, une activité scientifique remarquable apparaît malgré un niveau industriel médiocre. Tel a été le cas pour la Grèce antique, ou, dans les temps modernes, pour la Hollande, le Danemark, et, tout récemment, l'Inde. - C'est à la page 110 que nous trouvons ces remarques. Et voici que nous pouvons lire à la page 111 : "Le grand essor scientifique du

milieu du XVIIe siècle n'est suivi que bien tard, vers le milieu du XVIIIe siècle, par un progrès industriel notable."

Et Jean Langevin remarque encore : "De très grands perfectionnements, la création de techniques entièrement nouvelles, peuvent ne pas correspondre, même de nos jours, à un développement simultané de la science. C'est ainsi que l'immense essor de l'aviation n'a pas amené jusqu'à présent de découvertes bien sensationnelles en aérodynamique". Enfin, dit-il, "nous constatons dans certains cas une vie propre, réellement autonome, de la science. Elle peut concerner des branches entières, qui naissent et se développent sans industries correspondantes". Et il cite très justement l'électricité au XVIIIe siècle, qui s'est développée en tant que science d'une façon importante et n'a commencé à recevoir d'applications pratiques qu'avec les travaux de Davy, au début du XIXe siècle.

Cela n'empêchait pas Langevin de rester marxiste, en invoquant la dialectique hegelienne, mais d'après la théorie selon laquelle il y a des actions et réactions réciproques. D'accord. L'histoire est faite d'actions et de réactions, la cause devient effet et l'effet cause, tour à tour. Mais alors comment affirmer que la science naît, en dernière analyse, des besoins de la production ?

Et Henri Wallon écrit, toujours dans le même ouvrage : "Le matérialisme dialectique asseoit le développement des sciences sur les besoins de la production. Mais les superstructures idéologiques de cette activité en sont réciproquement un élément et un facteur nécessaire, qui réagit sur l'ensemble, qui lui donne sa physionomie, et qui façonne en particulier des besoins nouveaux, de nouveaux buts. Loin d'être superfétatoires et nécessairement retardataires, les superstructures peuvent amener l'action à rompre avec le passé. S'il est vrai que les sciences et la technique sont incontestablement solidaires entre elles, leurs rapports peuvent être de sens inverse. Technique et science ne sont que deux termes entre lesquels l'activité de l'homme établit un va-et-vient, et c'est une activité qui a son autonomie. Expliquer les sciences et leur développement, c'est nécessairement faire la part des curiosités et des initiatives intellectuelles".

Cette constatation n'empêchait pas non plus Wallon de rester marxiste. Seulement je remarque que si l'on reconnaît que l'esprit a une activité propre, que la science peut être objet de simple curiosité, que la science peut précéder la technique, que la science peut être sans rapports avec la technique, ce que reconnaissent MM. Langevin et Wallon, alors je ne vois pas très bien ce qui reste du marxisme, sur ce point.

II - L'influence, sur le progrès des sciences et des techniques, du mouvement général des prix -

Nous allons maintenant étudier le deuxième point : Parmi tous les éléments sociaux qui peuvent conditionner le progrès des sciences, quelle est l'influence du mouvement général des prix ?

Vous savez que nous nous trouvons en présence d'une théorie qui a pour origine les travaux du fameux François SIMIAND. Il a publié successivement des "Recherches anciennes et nouvelles sur le mouvement général des prix", qui ont été simplement polycopiées, puis un énorme ouvrage en trois volumes sur "Le salaire, l'évolution sociale et la monnaie", ainsi que de nombreuses études de détail, et vous savez que ses thèmes de base ont été repris par M. Ernest LABROUSSE, et par M. Georges LEFEBVRE.

Nous n'avons aujourd'hui à nous occuper que d'une distinction fondamentale établie par François Simiand entre les "phases A" et les "phases B".

François Simiand appelait "phases A" du mouvement général des prix les mouvements séculaires de hausse. Vous savez que les économistes distinguent plusieurs mouvements : il y a les mouvements "séculaires, les mouvements "intercycliques" et les "mouvements cycliques" - les mouvements intercycliques pouvant durer vingt à trente ans, les mouvements cycliques une dizaine d'années - et enfin les mouvements "saisonniers", qui s'étendent, comme le nom l'indique, sur quelques mois.

Ainsi, si nous nous représentons l'évolution des prix au XVIIIe siècle par exemple, depuis 1730, nous avons une grande courbe, en hausse, sur laquelle nous sommes obligés de marquer des mouvements intercycliques et cycliques, avec sur chacun des mouvements saisonniers.

La "phase A", c'est le mouvement séculaire en hausse, la "phase B", le mouvement séculaire en baisse. M. François Simiand a étudié les concomitants de ce mouvement, et il dit : Quand il y a hausse des prix, cela va très bien, le producteur est incité à produire, le nombre des entreprises se multiplie. Et dans ces moments-là, contrairement à ce qu'on pourrait croire, dit-il, il n'y a pas beaucoup de perfectionnements techniques : il y en a, mais pas beaucoup, parce que, étant donné que, suivant son expression, "les prix secrètent le profit", que, en temps de hausse, tout le monde se dépêche d'acheter, tout va très bien, par conséquent le producteur n'a pas intérêt à diminuer sensiblement son prix de revient, les choses vont d'elles-mêmes, et en conséquence les progrès techniques sont modérés.

Au contraire, dans les "phases B", phases de baisse séculaire, petit à petit les prix se contractent, le profit diminue, et, par suite, énormément de producteurs sont en difficulté. Il y en a qui tombent en faillite. Ceux qui tombent en difficulté s'ingénient alors à comprimer les prix de revient, et pour cela ils recherchent les perfectionnements techniques. Et par conséquent les phases B sont des

époques de grands perfectionnements techniques. C'est principalement dans les phases B, et non pas dans les phases A, que nous trouverons les époques de grand essor de la technique.

Voilà cette théorie que vous trouverez chez François Simiand, que vous pourrez aussi trouver dans un article de M. Georges Lefebvre, publié en 1937 dans les Annales Historiques de la Révolution Française.

Je vais alors être obligé de m'inscrire en faux contre M. François Simiand sur ce point. Je ne m'inscris pas en faux contre tout ce qu'il dit des phases A et des phases B, mais contre ce qu'il dit de la technique, car les faits n'y répondent pas.

Prenons tout d'abord l'Angleterre au XVIIIe siècle, c'est-à-dire à une époque de grand essor de la technique. Si nous consultons Henry-William BEVERIDGE, et son grand ouvrage sur "Les prix et les salaires", dont le premier volume a paru en 1939, nous constatons qu'en effet l'Angleterre se trouve bien alors dans une phase A, avec toute l'évolution qui se produit. Incontestablement la courbe d'ensemble est en hausse, depuis environ les années 1715-1720 jusqu'aux années 1790. Il s'agit donc bien d'une phase A. Or nous constatons que c'est en pleine phase A qu'il y a un essor considérable de la technique. Et nous constatons que cet essor de la technique est d'autant plus grand que la hausse des prix s'accentue davantage, à partir de 1760, c'est-à-dire que c'est exactement le contraire de ce que pensait François Simiand. Et voici quelques chiffres :

Dans la période 1700-1709, nous trouvons 22 brevets d'invention qui ont été décernés pour l'Angleterre proprement dite, à l'exclusion de l'Ecosse ; dans la période 1720-1729, il y en a 89 ; dans la période 1750-1759, 92. La grande hausse se place alors après le traité de Paris, après 1763 : dans la période 1760-1769, nous avons 205 brevets d'invention ; dans la période 1770-1779, nous en avons 294, et dans la période 1780-1789, 477. Autrement dit la courbe des brevets d'invention est exactement parallèle à la courbe de la hausse séculaire des prix, et c'est exactement l'inverse de ce que pensait M. François Simiand.

M. François Simiand fondait sa théorie avant tout sur l'exemple de la France. C'est surtout la France qui lui a suggéré sa théorie générale - qu'il a peut-être, d'ailleurs, un peu imprudemment généralisée. Or la situation française justifie-t-elle la théorie de M. François Simiand ? Vous savez qu'en France le XVIIIe siècle est marqué, après la dépression du XVIIe et la période très oscillante du début du XVIIIe, par une hausse lente, qui reprend à partir de 1733, qui s'accentue après 1760, qui atteint son apogée vers 1770, et puis à ce moment-là la hausse séculaire est rompue, par une crise inter-cyclique, marquée par une baisse des prix, entre 1776 et 1786. A partir de 1786, la hausse séculaire reprend, avec une hausse cyclique, compliquée en 1789 par la fameuse "hausse saisonnière" qui, culminant avec le 14 Juillet 1789, a été l'un des facteurs essentiels des troubles politiques et de la prise de la Bastille.

Ainsi nous constatons dans la France du XVIIIe siècle un mouvement qui, pour être beaucoup moins prononcé que celui de l'Angleterre, est semblable, jusqu'en 1776. Nous constatons que les inventions techniques croissent régulièrement, et se précipitent après 1760, au moment de la grande hausse. Mais les inventions techniques continuent, ensuite, dans la période de baisse, et elles s'accentuent alors à nouveau, à partir de 1786.

Vous voyez donc qu'en France les choses sont beaucoup plus compliquées, parce que dans la deuxième période de la courbe, la période de baisse, de 1776 à 1786, les inventions techniques continuent à s'accroître, et à s'accroître très rapidement. Et c'est le moment même où il y a une baisse très considérable des prix, et une crise, par exemple, de l'industrie textile, qui ne trouve plus ses débouchés normaux, notamment dans les campagnes. On rentrerait alors là dans ce que nous disait Simiand : les producteurs sont obligés de chercher à abaisser leurs prix de revient, si bien qu'ils recherchent des inventions techniques.

Mais je ne crois pas que la théorie de Simiand soit tout de même très probante, puisque en pleine période de hausse nous avions déjà pas mal d'inventions techniques. Et tout en reconnaissant que le cas de la France est plus compliqué que celui de l'Angleterre, je ne crois pas que la théorie de Simiand soit extrêmement solide pour la France. En tout cas la théorie de Simiand n'est pas une théorie générale, applicable à tous les cas. Et c'est ce qu'il nous faut retenir.

L'INTRODUCTION DES THEORIES DE NEWTON SUR LE CONTINENT ET LES PROGRES EN ASTRONOMIE, DE 1715 A 1740

Vous savez qu'il est tout à fait courant de dire que la royauté intellectuelle de Descartes a cessé au XVIIIe siècle, et qu'elle est remplacée par celle de Locke et de Newton. Et il est certain qu'il y a des textes, assez nombreux, qui justifient cette manière de voir.

Bien des savants et des philosophes, au XVIIIe siècle, ont manifesté un mépris complet pour les constructions mentales de Descartes, et pour tous les mécanismes, tous les systèmes de "tourbillons", par lesquels il prétendait expliquer l'univers. Ses contradicteurs, nous l'avons déjà rappelé, y voient des oeuvres de pure imagination, puisqu'un même résultat peut être obtenu par des mécanismes extrêmement différents. Ils jugent Descartes un rêveur et un chimérique. Et nous voyons par exemple d'Alembert attribuer l'invention de la métaphysique à Locke, celle de la physique à Newton, Voltaire parler, lui, avec dédain, des "romans cartésiens", en reprenant une vieille expression, et donner, dans ses "Lettres philosophiques", la date où, même en France, son fief, Descartes devrait être considéré comme absolument et définitivement vaincu, à savoir l'année 1730.

Seulement d'autres textes, et parfois des mêmes auteurs, présentent au contraire Descartes comme le grand maître à penser du XVIIIe siècle. En laissant naturellement de côté Fontenelle, qui était le disciple par excellence, reportons-nous par exemple au même Voltaire. Nous trouvons écrit, à la date de 1733, dans la 14ème "Lettre anglaise" : "Celui qui nous a mis sur la voie de la vérité (c'est-à-dire Descartes) vaut peut-être bien celui qui a été depuis au bout de cette carrière (c'est-à-dire Newton)". Il mettait Descartes, en somme, à peu près sur le même plan que Newton.

D'une façon encore plus significative, d'Alembert, en 1751, dans son "Discours préliminaire" à l'Encyclopédie, écrit : "Descartes a osé du moins montrer aux bons esprits à secouer le joug de la scolastique, de l'opinion, de l'autorité, en un mot des préjugés et de la barbarie. Et par cette réforme, dont nous recueillons aujourd'hui les fruits, il a rendu à la philosophie un service plus essentiel peut-être que celui qu'elle doit à tous ses illustres successeurs. S'il a fini par croire tout expliquer, il a du moins commencé par douter de tout, et les armes dont nous nous servons pour le combattre ne lui en appartiennent pas moins parce que nous les tournons contre lui".

Dans l'Encyclopédie, Turgot constatait : "Newton a décrit le pays que Descartes a découvert". Locke, Berkeley, Condillac sont, d'après Turgot, tous des enfants de Descartes.

Et enfin, en 1765, Thomas gagnait le prix de l'Académie Française pour un éloge de Descartes. Et il constatait que si l'on avait abandonné bien des idées émises par Descartes, ce qui subsistait c'était la démarche de son esprit, que l'on avait fidèlement suivie. Condorcet lui-même, adepte de Newton, intitule la 9ème Epoque de son "Esquisse des Progrès de l'Esprit humain" : "Depuis Descartes jusqu'à la formation de la République française". Et il admire, dit-il, "le temps qui va depuis le moment où le génie de Descartes imprima aux esprits cette impulsion générale, premier principe d'une révolution dans les destinées de l'espèce humaine...".

Vous voyez donc le sens de tous ces textes. Il en résulterait que le XVIIIe siècle a rejeté la physique de Descartes, et la cosmographie cartésienne, mais qu'il aurait conservé la méthode de Descartes. Voilà ce qu'il nous faut examiner, avant d'aller plus loin.

Newton avait repris pour son compte la méthode des mécanistes, et il avait combattu les hypothèses de Descartes en physique, c'est-à-dire le système des tourbillons.

L'alliance politique des puissances protestantes - Angleterre et Hollande - contre la France avait beaucoup favorisé, avant 1713, avant les traités d'Utrecht, les relations entre les savants hollandais et anglais. Aussi, alors que la Hollande avait été le berceau du cartésianisme, alors que la physique cartésienne y avait trouvé son expression la plus systématique, en 1692, dans le Dictionnaire de Chauvin, réédité en 1713, l'influence de Newton l'emporte en Hollande au début du XVIIIe siècle. Au cours de son voyage à Londres, en 1718, 's Gravesande devient un ami de Newton. De même, un peu plus tard, Musschenbroek travaille, à Londres, sous la direction de Newton. Et cela a été également le cas, un peu plus tard également, pour Boerhaave, le célèbre médecin et chimiste hollandais qui domine toute une partie du développement de ces sciences au XVIIIe siècle.

De 1715 à 1736, dans des discours qui ont été repris comme préface en tête de leurs différents traités de physique ou de chimie, Boerhaave, 'S Gravesande et Musschenbroek prônent, en physique, la méthode expérimentale des mécanistes. Mais alors il se produit un phénomène très curieux, c'est qu'ils citent fort peu Descartes, et qu'ils oublient totalement les mécanistes français dont ils appliquent la méthode. Ceux qu'ils nomment, avec de grands éloges, c'est d'abord Bacon, et ensuite Galilée et Newton. Musschenbroek, qui traduit en 1731 la relation des expériences faites de 1657 à 1667 par l'Académie des Sciences de Florence, affirme qu'il ne faut pas séparer ces trois-là. Et Boerhaave, dès 1715, se plaît, par un contre-sens, à rapporter à Bacon tous les progrès réalisés dans les sciences (puisque, vous le savez, Bacon n'a jamais servi à personne, faute d'avoir connu la langue dans laquelle il fallait interroger la nature, c'est-à-dire les mathématiques). Sont également nommés par les savants hollandais Toricelli, Huyghens, Boyle, Leibniz. Quant aux Français, ils sont passés sous

silence, sauf deux : Mariotte, et le protestant français Desaguliers, qui a joué un rôle important dans le développement de la franc-maçonnerie.

Comment cela se fait-il ? Il est probable que cette attitude des savants hollandais est due à la méfiance que l'on avait dans toute l'Europe à l'égard de la France, considérée toujours comme la puissance qui cherchait l'hégémonie, et à la longue lutte qui a été menée par les Hollandais contre les Français, et qui faisait que pour les Hollandais la France était l'ennemi national. Je suppose que c'est la raison de ce phénomène, qui est inexplicable autrement, car les mécanistes français ont au moins autant d'importance que les autres.

Ainsi les Hollandais furent responsables de l'idée d'une science moderne essentiellement italienne et anglaise, et surtout anglaise. Et c'est cette idée, absolument fausse, qui a fait fortune.

L'idée a fait fortune parce que ces savants hollandais étaient des hommes de valeur, que favorisait encore d'ailleurs la situation commerciale des Provinces-Unies. C'est de toutes les parties de l'Europe que des étudiants accourent pour se former sous leur direction. L'Université de Leyde est devenue un centre scientifique européen. Au point que dès 1724 les étudiants français de Boerhaave publient à Paris ses leçons, huit ans avant l'édition que l'auteur en a donnée lui-même en Hollande, et qui est seulement de 1732. Des gens qui ont joué un rôle non négligeable dans le développement de la science française, comme La Mettrie, Dufay, l'abbé Nollet, Voltaire ont fait le voyage de Hollande. Et ils ont noué des relations amicales avec les savants hollandais. Leurs traductions, leurs ouvrages de physique ont répandu précisément les idées hollandaises. Et, par exemple, le fameux Discours de Deslandes sur la meilleure manière de faire les expériences, publié en 1736, et qui renferme déjà toutes les "tables" de Stuart Mill, est emprunté à Musschenbroek.

Pour ces Hollandais, c'était la méthode des mécanistes (qu'ils ne nommaient pas) qui était la seule bonne méthode. Il nous est impossible de découvrir les principes des choses, impossible de connaître au juste la vérité qui se cache derrière le changement et les apparences. Il ne faut donc pas mêler aux sciences physiques des hypothèses métaphysiques. Le savant ne peut connaître avec certitude que ce qu'il découvre par l'expérience sensible, en notant avec soin les apparences, les mouvements, en mesurant ceux-ci, en faisant sur les observations des calculs précis, et en dégageant alors des calculs les lois, sous forme de théorèmes mathématiques. Les lois qui régissent l'univers dépendent de la volonté de l'Etre suprême, qui ne nous les a point révélées. Ainsi c'est dans les phénomènes que nous devons en puiser la connaissance. Il faut donc observer d'un oeil attentif toutes les opérations de la nature, suivre Newton, le premier qui a rejeté de la physique toutes les hypothèses.

Cette méthode était donc en contradiction avec celle de Descartes, qui, nous l'avons vu, est une méthode essentiellement déductive à

partir de principes clairs et distincts. Et il se pose alors à nous cette question : Comment, alors, les philosophes du XVIIIe siècle ont-ils pu croire fidèlement les démarches de la pensée cartésienne, comme vous voyez que l'affirment d'Alembert, Thomas, Cordorcet, etc...? Il y a là une espèce de contresens.

Je crois qu'on peut arriver à l'expliquer - sans le justifier, bien entendu - en constatant que d'abord, en France, les cartésiens ont résisté pendant très longtemps. Voltaire s'est trompé sur la date de la défaite de Descartes en France : ce n'est pas en 1730 qu'elle se place. Condorcet, meilleur historien, nous dit dans son livre : "Lorsque les "Eléments de la philosophie de Newton" parurent (c'est le livre de vulgarisation écrit par Voltaire, et publié en 1745), le cartésianisme dominait encore, même dans l'Académie des Sciences de Paris".

D'autre part il y avait des choses qui étaient communes aux deux explications, à l'explication mécaniste pure et à l'explication cartésienne. Etait d'abord commun l'effort pour trouver à tout une explication quantitative et mécanique. Cela, c'est l'acquisition définitive, qui a désormais été le bien commun de tous les savants. Et d'ailleurs, dès l'apparition du "Discours de la Méthode", des physiciens qui ont fait profession de cartésianisme n'ont en réalité pas compris l'ensemble de la pensée de Descartes, et ils n'en ont vu que l'aspect mécaniste, qui est un aspect, mais seulement "un" aspect, de la pensée cartésienne. Et nous trouvons ceci dès 1646 dans les oeuvres de Regius, en 1666 chez Cordemoy, un des principaux disciples parisiens de Descartes, en 1675 dans le Traité de Physique de Rohault, qui a eu un succès prodigieux dans tous les cercles français, en 1690 enfin dans le Traité de Régis, et enfin chez Fontenelle, le grand défenseur de Descartes, depuis ses "Entretiens sur la pluralité des mondes habités", de 1686, jusqu'à son "Système des tourbillons", de 1752, où, au plein milieu du XVIIIe siècle, il défendait encore ce qu'il croyait le pur cartésianisme.

Tous ces hommes, s'ils sont cartésiens, en ce sens qu'ils sont pour le plein et les tourbillons, professent tous cependant la méthode scientifique des mécanistes, en croyant que c'est la méthode cartésienne. Le cartésianisme a été confondu dès le début avec le pur mécanisme. Peut-être parce que, comme toutes les grandes doctrines philosophiques, il est assez difficile d'en saisir l'ensemble, et de pénétrer dans la pensée de l'auteur, et qu'il est arrivé à Descartes ce qui arrive à presque tous les grands auteurs : ils sont peut-être bien connus deux-cents ans après leur mort, mais le jour où ils paraissent, et où ils ne sont pas encore les grands classiques, on les lit malgré tout un peu vite, et on ne les comprend pas toujours à fond. Et ce que l'on peut dire c'est que Descartes n'était pas cartésien. Lorsque les philosophes parlent du rôle de Descartes comme maître à penser, c'est au mécanisme, et aux méthodes et à l'esprit de la science expérimentale, qu'ils songent, et non pas du tout à la déduction à partir d'idées claires et distinctes.

Et si Descartes a continué à exercer une grande influence au XVIIIe siècle, c'est au prix d'un véritable découpage mental dans ses oeuvres : on a fait, sans s'en rendre compte, et ceci pendant longtemps, une espèce de découpage, mental, involontaire, dans le texte de Descartes. Et c'est ainsi que l'on a pu croire que Descartes avait continué à jouer le rôle de maître à penser.

Remarquons d'ailleurs que cette confusion est la conséquence aussi d'un fait historique, c'est que le mécanisme n'a pas triomphé grâce aux écrits de Mersenne, ni aux écrits de Pascal, ni aux écrits de Roberval, ni aux écrits d'aucun des purs mécanistes. Le mécanisme a triomphé par Descartes. C'est dans Descartes, et grâce à Descartes, que le mécanisme l'a emporté. Et ceci peut nous expliquer la confusion qui s'est établie par la suite.

Et puis cette confusion reflète peut-être aussi, alors, une autre réalité - mais cela c'est une simple supposition, que je vous livre pour ce qu'elle vaut. Les savants du XVIIIe siècle, reconnaissant la faiblesse humaine, se sont résignés au rationalisme expérimental. Mais c'est là une capitulation de l'esprit humain, qui renonce à atteindre le fond des choses. Et l'on peut se demander précisément si l'idéal du mécanisme n'est pas justement la méthode de Descartes, la méthode cartésienne, affranchie du sensible et du qualitatif de déduction à partir d'idées claires et distinctes. La déduction de l'univers, conçu comme une immense géométrie, c'est peut-être, au fond, le rêve qui hante tous les gens qui ont l'esprit scientifique et qui s'intéressent aux sciences. Et vous savez que c'est le rêve qui a été repris, il n'y a pas longtemps, par Einstein, que certains considèrent comme un vengeur de Descartes devant Newton.

Quant à Newton lui-même, a-t-il été entièrement compris.? Un article récent de M. Koyré nous inspire les doutes les plus graves sur cette question. Cet article est intitulé : "Pour une édition critique des oeuvres de Newton", et il vient de paraître, dans la Revue de l'Histoire des Sciences, en mars 1955. L'auteur s'y attaque à la fameuse question des hypothèses de Newton : Newton a-t-il, comme on l'a dit, rejeté les hypothèses de travail ? - Cela n'aurait pas été la première fois, certes, qu'un savant ne se serait pas rendu compte exactement de la méthode qu'il employait lui-même, mais enfin, quand il s'agit d'un Newton, cela paraît inconcevable. Et le travail de M. Koyré nous apporte des éléments de réponse. Non, Newton n'a pas rejeté les hypothèses de travail, pour la bonne raison qu'il nous faut absolument des hypothèses pour travailler ; nous ne pouvons pas nous en passer. Mais il n'a pas donné au mot "hypothèse" le même sens qu'on lui donne couramment aujourd'hui, et il en est résulté un contresens, qui a traversé les temps, jusqu'à nous.

Le mot "hypothèse", au XVIIIe siècle, a trois sens. Tout d'abord il a le sens de "supposition fondamentale, qui est nécessaire pour l'étude d'une science". En ce sens, le postulat d'Euclide est une hypothèse. Le mot "hypothèse" a également le sens de "conjecture suggérée par des faits, et que l'on vérifie ensuite, en suivant cette conjecture dans les faits". C'est le sens que le mot a, par exemple,

pour les historiens, dans leur travail, lorsqu'ils disent : "Nous faisons une hypothèse, c'est-à-dire nous formulons un syllogisme, et nous allons chercher à voir si les faits y répondent". Et puis alors il y a un troisième sens, qui est aujourd'hui à peu près tombé en désuétude : les hypothèses sont "des propositions, posées pour en déduire les conséquences logiques, afin d'ordonner, et de déduire , les phénomènes que l'on a trouvés". Et c'est dans ce dernier sens qu'il faut prendre le mot "hypothèse" lorsque Descartes bâtit l'hypothèse des tourbillons.

Descartes est devant un certain nombre de constatations astronomiques, il s'agit pour lui de les enchaîner d'une façon qui soit intelligible, qui donne satisfaction à sa raison. Et pour cela il pose alors un certain nombre de principes, au moyen desquels, par une déduction - ce qui est sa méthode favorite - il va retrouver tous les faits que l'on connaît. Et le système des tourbillons, alors, en ce sens, est une hypothèse. Vous voyez en quoi cela diffère du deuxième sens que je vous ai donné : dans le deuxième sens, on commence par formuler le syllogisme, et ensuite on va voir si les faits y répondent, tandis que là, au contraire, on a déjà les faits, et il s'agit simplement de les enchaîner, pour donner satisfaction à l'esprit humain, et aussi pour pouvoir les manier.

Or c'est ce sens du mot "hypothèse" que rejette Newton. Newton voulait dire qu'il rejetait les constructions de l'esprit par lesquelles on bâtissait une espèce de petite machine, qui rendait compte de l'univers. Cela, Newton n'en veut plus, et à juste raison, parce qu'on peut en bâtir tant qu'on voudra, c'est un jeu amusant, mais qui au fond ne conduit à rien.

Mais alors comment se fait-il qu'on se soit trompé sur le sens du mot "hypothèse" chez Newton ? Cela vient de ce qu'on ne se sert jamais de la première édition de 1687. Il y en a une deuxième en 1713, une troisième en 1726. A partir de ce moment-là, on a toujours fait les éditions et traductions sur l'édition de 1726, sans jamais se reporter à la première. Or, si on l'avait fait, on aurait vu que Newton appelait "hypothèses", précisément, un certain nombre de postulats, qui était absolument nécessaires à l'élaboration de sa théorie, et qu'il appelait "hypothèses" également un certain nombre d'hypothèses, au sens des historiens d'aujourd'hui.

Cependant, dans la troisième édition, il a changé tout cela. Il a appelé "regulae philosophandi" ce qu'il appelait "hypothèses", et il a simplement qualifié d'"hypothèses" les constructions d'imagination de Descartes, en déclarant : Cela, je ne veux plus en entendre parler. - Si bien qu'à la suite de cette déclaration tout le monde a répété : "Newton rejette les hypothèses". Certes, il rejette les constructions mentales du type cartésien, mais il ne rejette pas les hypothèses de travail, pour la simple raison que personne ne saurait s'en passer.

L'esprit newtonien s'est d'abord tout naturellement propagé principalement en astronomie. Ceci non sans luttes, qu'il nous faut retracer maintenant. Et je complète ce que j'ai mis dans le livre de M. Labrousse et de moi-même sur le XVIIIe siècle, en utilisant sur ce point l'ouvrage récent, d'ailleurs posthume, de Brunet, sur le mathématicien français Clairaut.

Vous savez que Newton est très combattu, parce qu'on dit : L'attraction, c'est une qualité occulte. - Le principal travail du XVIIIe siècle a donc été d'abord de vérifier la vérité de l'attraction universelle. C'est là le premier problème qui s'est posé aux savants du XVIIIe siècle, et toute une partie de leur activité y a été consacrée.

Newton et Huyghens tous deux d'accord pour déclarer que tous les astres étaient capables d'attraction, et donc la terre aussi. Mais un fait nouveau les avait plongés dans la perplexité : au cours d'un voyage à Cayenne, pour des observations astronomiques, en 1672, l'astronome français Richer trouve que son horloge à pendule, qu'il avait soigneusement réglée à Paris avant de partir, retarde chaque jour de deux minutes 28 secondes ; le pendule battait plus lentement. Richer en cherche alors la cause. Naturellement, il pense que c'est l'allongement du pendule à la chaleur qui est cause de cette lenteur et de ce retard. Mais, ayant fait le calcul de ce que la chaleur pouvait donner comme allongement à son pendule, il trouve tout de même que l'explication n'est pas du tout valable. Rien n'explique ce résultat, par conséquent Richer pense que ce qui peut l'expliquer seulement c'est la diminution de la pesanteur : le pendule bat plus lentement parce qu'il est moins attiré par la terre, il y a donc une pesanteur moindre.

Newton réfléchit sur cette donnée, et il en conclut que le rayon de l'Equateur est plus long que les autres rayons, ce qui signifie que la force centrifuge est plus forte à l'Equateur. La force centrifuge, qui tend à éloigner les objets du centre de la terre, s'exerçant davantage à l'Equateur, aurait allongé la terre suivant le sens d'un axe parallèle à l'Equateur, et aurait donné ainsi à la terre une forme légèrement aplatie aux pôles, légèrement renflée à l'Equateur. La terre ne serait donc pas une sphère parfaite. Et voilà un premier point, qui prouverait, lui, la gravitation universelle, mais qui est à vérifier.

Jusque là, Newton et Huyghens étaient à peu près d'accord. Mais ensuite ils se séparent. Pour Newton, l'attraction est un fait qui appartient à toutes les particules de la terre, même les plus petites; l'attraction est vraiment universelle. Et par conséquent l'aplatissement aux pôles devrait être d'au moins 1/230 de la circonférence. Tandis que, pour Huyghens, l'attraction était simplement une force due au globe pris en masse. L'attraction, pour Huyghens, n'était pas universelle. Et par conséquent l'aplatissement ne devait pas dépasser 1/578.

Vous voyez toute l'importance de la question : si Huyghens avait raison, le phénomène d'attraction découvert par Newton expliquait peut-être bien la marche des planètes dans le système solaire, mais il ne pouvait pas devenir un principe d'explication pour toutes les sciences, puisque pour cela, et pour la chimie par exemple, il fallait que chaque particule fût également douée d'attraction, et soumise aux lois d'attraction. On se trouvait donc là à un moment décisif du développement de la science.

Il fallait donc contrôler, et départager, Newton et Huyghens. Le moyen, évidemment, c'était de mesurer la longueur des degrés des méridiens. Si en effet il y a aplatissement, le méridien d'un degré doit être plus court vers l'Equateur, et plus long aux pôles. On commence donc, dès le XVIIe siècle, une série de mesures.

Les mesures du XVIIe siècle, malheureusement, ont donné des degrés plus longs vers l'Equateur, c'est-à-dire absolument le contraire de ce que pensaient Huyghens et Newton. Comme ils étaient sûrs de leurs calculs, ils persistent. Et alors, en 1700, Jean-Dominique Cassini et son fils Jacques font, aux frais du roi, la triangulation de Paris à Collioures. Ils trouvent comme longueur moyenne d'un degré 57.100 toises. Ils comparent cela avec les résultats que Picard avait obtenus de 1669 à 1670 dans la triangulation de Paris à Amiens. Or Picard avait trouvé des degrés de 57.060 toises de longueur, par conséquent les mesures de Cassini confirmaient que les degrés étaient plus longs au fur et à mesure que l'on s'approchait de l'Equateur, et qu'ils décroissaient vers le nord. Par conséquent, pour Cassini, la terre était allongée non plus suivant le diamètre équatorial, mais suivant son axe. Autrement dit, la terre, pour Cassini, avait la forme d'une datte, tandis que pour Newton elle se rapprochait plutôt de la forme d'un oignon. C'était absolument catastrophique pour la théorie de Newton, et pour la théorie de la gravitation universelle, puisque tout se tenait dans ses calculs, et que les mesures de Cassini contredisaient également les résultats.

C'était également, d'ailleurs, en contradiction avec les résultats de Richer. Richer avait eu tort de constater que le pendule battait plus lentement.

On décide alors de continuer les mesures, et de les reprendre d'une façon plus précise. En 1732, Maupertuis présente à l'Académie des Sciences de Paris son "Discours sur les différentes figures des astres". Et finalement il se rallie à la thèse de Newton.

D'autre part, en 1733 et 1734, Jacques Cassini, continuant les travaux de son père, détermine entre Paris et Strasbourg la perpendiculaire au méridien de Paris. Et, calculant sur cette perpendiculaire, il en tire la confirmation d'une ellipse, allongée vers les pôles. Et lorsque Jean Bernoulli publie, en 1734, l'"Essai d'une nouvelle physique céleste, servant à expliquer les principaux phénomènes du ciel", il essaye d'expliquer la théorie de Cassini par la théorie des tourbillons. Il arrive d'ailleurs à l'expliquer d'une façon satisfaisante. Jacques Cassini semblait donc justifier les tourbillons cartésiens contre Newton.

De là le succès d'une idée lancée en 1733 par Maupertuis et La Condamine d'envoyer au Pérou une mission qui serait chargée de mesurer la longueur d'un degré du méridien à l'équateur.

La Condamine, Bouguer et Baudin partent donc en 1737 pour les Antilles. Et, de son côté, Maupertuis attire l'attention sur l'intérêt d'une mesure qui serait à faire le plus près possible du pôle. Maupertuis est introduit près du comte de Maurepas. Celui-ci est en effet un membre honoraire de l'Académie des Sciences, et d'autre part il est ministre de la Marine. Il pense que déterminer la longueur des degrés des méridiens pourra être satisfaisant pour la marine, et il obtient les crédits du cardinal de Fleury. - Voilà un point sur lequel vous pourrez réfléchir à loisir pour la liaison des sciences et des techniques. Vous remarquerez que pour Maurepas c'est la technique qui justifie l'envoi d'une expédition, mais que pour La Condamine et Maupertuis c'est la résolution d'un problème scientifique.

Maupertuis s'embarque le 2 mai 1736 pour la Laponie. Il est accompagné du jeune mathématicien Clairaut, de Camus, de Celsius, un astronome suédois qui a perfectionné le thermomètre centigrade, et de l'astronome Lemonnier.

Clairaut est né à Paris le 13 mai 1713. Et comme il arrive aux mathématiciens et aux musiciens, qui les uns et les autres n'ont pas besoin de beaucoup de documentation, c'est un génie extrêmement précoce : son premier mémoire mathématique a été rédigé à l'âge de douze ans, et il a été publié aussitôt, dans les mémoires de l'Académie de Berlin. Son deuxième mémoire, sur les courbes à double courbure, a été terminé en 1729, alors qu'il n'avait pas même seize ans. Il a été publié en 1731 dans les mémoires de l'Académie des Sciences de Paris, et il a eu assez de retentissement pour que le roi fût sollicité de donner au jeune savant une dispense d'âge pour entrer à l'Académie. Il y a été reçu le 14 juillet 1731, à l'âge de dix-huit ans, alors qu'il fallait au minimum vingt-cinq ans pour y entrer. - Il ne faut pas toutefois s'en étonner tellement, parce que, comme je vous l'ai déjà dit, l'Académie des Sciences de cette époque ne ressemble pas du tout à celle d'aujourd'hui : c'est un établissement scientifique, qui comporte un certain nombre de professeurs titulaires, mais qui comporte également des aides, des assistants, et où l'on fait une carrière complète. On y entre tout d'abord comme "membre associé", et puis on passe encore à un autre degré, et il faut passer par trois ou quatre degrés avant d'arriver réellement membre titulaire, c'est-à-dire pensionnaire de l'Académie des Sciences. Et tant qu'on est dans les grades inférieurs on travaille sous la direction et pour le compte des pensionnaires. Par conséquent Clairaut est en quelque sorte un assistant. Cela n'a absolument aucun rapport avec notre Académie d'aujourd'hui.

Clairaut et Maupertuis, avec leurs aides, vont donc au fond du golfe de Bothnie, en Finlande. Et ils établissent là-bas, au pays des Esquimaux, leurs bases, et une série de triangles, pour mesurer le méridien. Nous avons alors là tout un récit de Maupertuis, qui a publié sur cette expédition un volume extrêmement vivant. Il insiste

sur les forêts continues qu'il leur a fallu traverser, des forêts semées d'arbres morts, avec des marais profonds, et il a parlé pour la première fois des nuées de moustiques qui accablent les voyageurs dans les régions polaires. Il leur a fallu déboiser des sommets de montagne pour établir leurs repères de triangulation. Pendant ce temps-là ils sont nourris de poisson, ce qui semble les avoir les uns et les autres beaucoup incommodés. Ils sont gênés dans leurs mesures par les vapeurs et par les exhalaisons et les brouillards de ces terres.

Pour établir leurs bases, il leur a fallu marcher dans une neige épaisse, en plantant tous les 10 mètres des perches, afin de jalonner une base de près de 2 kilomètres. Il parle de la langue et des lèvres qui se gèlent contre les parois du gobelet quand ils essayent de boire. Il décrit tout cela dans des termes absolument horrifiés et romantiques.

Enfin ils ont tout de même terminé leur travail. Le 20 août 1737 ils rentrent à Paris. Et voici les résultats qu'ils ont obtenus : ils ont fait leurs mesures au 76e degré de latitude nord, et ils ont trouvé, le long du méridien, une longueur de degré du méridien de 57.438 toises, c'est-à-dire dépassant de 378 toises le degré du méridien que Picard avait mesuré, par 50°. Par conséquent leur résultat était parfaitement d'accord avec la théorie de Newton, en complète contradiction avec les résultats de Cassini, et avec l'interprétation cartésienne que Bernoulli avait donnée de la forme de la terre.

Comme leurs résultats étaient favorables à Newton, et contredisaient Descartes, ils sont très mal accueillis. L'Académie des Sciences manifeste une extrême défiance de leurs résultats. Une opposition se forme autour de Cassini, assez violente pour que Maupertuis et Clairaut songent un moment à s'exiler. Voltaire écrit en janvier 1738 à Maupertuis : "Souvenez-vous qu'on a soutenu des thèses contre la circulation du sang. Songez à Galilée, et consolez-vous". Ils sont d'ailleurs attaqués aussi au nom du patriotisme : ils prônaient une figure de la terre trouvée par un Anglais et par un Hollandais, des gens qui étaient les ennemis de la France à ce moment-là. D'autre part les affaires se gâtaient avec les Anglais vers cette même période, puisque c'étaient déjà les premiers symptômes du conflit colonial qui a été une cause essentielle du conflit européen dit guerre de Succession d'Autriche, deux ans plus tard. Les circonstances étaient donc vraiment très mauvaises.

Maupertuis défend son procédé. Et cela nous intéresse, nous, parce qu'en effet nous devons vérifier s'ils avaient procédé de façon à donner confiance dans leurs résultats. Maupertuis dit : "J'ai supposé que je me suis toujours trompé de 20" sur la mesure des deux premiers angles, de 40" sur la mesure du troisième. J'ai supposé que mes erreurs allaient toujours dans le même sens. Suivant ces suppositions, la longueur de l'arc devrait être moindre que la longueur réelle. Mais, même dans ces conditions extrêmes, je n'ai pas pu me tromper de plus de 54 toises 1/2. Par conséquent mon résultat reste juste, puisque j'ai 378 toises d'écart avec Picard. En tout état de cause, les degrés sont plus longs vers le pôle". Et il fait remarquer

aussi que Clairaut, son assistant, avait tenu compte dans ses calculs de la découverte faite en 1728 par le philosophe anglais Bradley de l'"aberration", c'est-à-dire de la déviation des rayons lumineux, qui fait qu'en réalité on ne voit jamais les étoiles à l'endroit où elles sont normalement.

D'ailleurs, quelques années plus tard, les résultats de Maupertuis furent confirmés indirectement par ceux obtenus par La Condamine. C'est seulement en 1745 que l'on a eu les résultats de La Condamine et de Bouguer, qui ont été beaucoup plus lentement que Maupertuis et Clairaut, parce qu'ils ont été retardés par la végétation tropicale. Ils ont fait leurs mesures par 3° de latitude nord. Ils ont pris, eux aussi, les plus grandes précautions. La base a été mesurée séparément par deux groupes d'observateurs. Toutes les observations ont été répétées. Et finalement ils ont trouvé 56.775 toises au degré. Seulement ils avaient opéré à plus de 1.200 mètres d'altitude, c'est-à-dire, en fait, sur un globe plus grand que le globe terrestre. Il fallait ramener la mesure au niveau de la mer. Une fois qu'ils ont eu procédé aux corrections nécessaires, il y avait encore 56.700 toises au degré. Par conséquent les degrés étaient plus courts à l'équateur que vers le pôle, et donc Newton et Huyghens avaient vu juste l'un et l'autre : la terre était renflée à l'équateur, et aplatie aux pôles.

Mais alors, sur le deuxième point, cela donnait un aplatissement de 1/178 aux pôles, c'est-à-dire que Newton s'était approché beaucoup plus près de la vérité que Huyghens. C'est Newton qui avait, là encore, raison contre Huyghens. Et donc l'attraction était bien universelle. L'attraction dépendait de toutes les particules de la matière.

D'ailleurs, très rapidement, on n'a plus eu de doutes. Les résultats ont été très rapidement confirmés par l'astronome Bouguer, grâce à un remarquable raisonnement expérimental concernant l'attraction des montagnes.

Bouguer, à Quito, à 1.466 toises au-dessus du niveau de la mer, était obligé de raccourcir le pendule de 33/100 de ligne sur ce qu'il était au niveau de la mer, c'est-à-dire que le pendule battait plus lentement. Il pense que ce fait est dû à l'attraction du soleil. Sur un sommet voisin de Quito, qui est à 968 toises plus haut que Quito, il est obligé de raccourcir encore le pendule de 19/100 de ligne. Il y a donc une diminution de la pesanteur qui est régulière, mais qui est seulement à peu près en raison inverse du carré des distances, et non pas exactement en raison inverse du carré des distances, selon la loi de Newton. Bouguer s'est alors demandé pourquoi en raison à peu près inverse seulement, et il a pensé que si la pesanteur était diminuée par l'altitude, qui éloignait le pendule et son observateur du centre de la terre, et diminuait donc l'intensité de l'attraction terrestre, d'autre part cette attraction était augmentée par la montagne : sur la montagne, tout se passait comme si l'on s'était trouvé sur un globe plus grand, et de plus grand rayon. Et Bouguer a pensé que les montagnes accroissaient

l'attraction. C'était un fort bon raisonnement, et fort ingénieux, mais ce n'était précisément qu'une hypothèse, suggérée par les faits, et qu'il s'agissait de vérifier. Il s'agissait maintenant de prouver que les montagnes dévient le fil à plomb.

Bouguer a pensé à utiliser une visée sur un astre. Si l'on regarde l'astre par une lunette montée sur un quart de cercle, la distance de l'astre au zénith, en degrés, est déterminée par l'angle que fait la lunette avec l'axe vertical. Or, si la montagne attire le fil à plomb, deux visées faites sur le même astre, l'une au pied de la montagne et l'autre loin de la montagne, marqueront une différence dans les angles, parce que près de la montagne le fil à plomb va être dévié de la verticale, tandis que loin de la montagne il ne sera pas dévié de la verticale, tout au moins pas d'une façon sensible.

Bouguer a fait l'expérience. Il a observé à la fois près et loin du Chimborazo, montagne de belles dimensions, qui pouvait donc exercer une attraction sensible. Il a constaté le déplacement du zénith, donc le déplacement du fil. Il a conclu à l'attraction des montagnes, et il en a conclu tout naturellement à l'attraction de toutes les parties de la terre, donc à la vérité de l'attraction universelle. A partir de la publication des résultats de La Condamine et de ceux de Bougueur il a bien fallu admettre la vérité de cette attraction universelle, attraction évidemment incompréhensible, mais que l'on était bien obligé d'admettre, comme un fait existant, bien que l'on ne pût l'expliquer à l'aide d'idées claires et distinctes, suivant les principes cartésiens.

D'autre part, si la gravitation a été prouvée en utilisant des faits nouveaux, elle a également été prouvée en utilisant le calcul, en utilisant l'analyse infinitésimale. Par cette analyse, les savants ont opéré exactement comme Newton avait opéré sur les principes cartésiens. Vous vous rappelez que Newton était parti des principes cartésiens et que, les supposant vrais, il s'était mis, au moyen de son calcul, à déduire ce que donneraient ces principes, et puis à vérifier si le système solaire répondait aux résultats. Et il avait trouvé que cela ne répondait pas du tout, que les principes de Descartes étaient donc certainement faux.

Un certain nombre de savants se sont mis à appliquer le même moyen de vérification à Newton : déduisons à partir des principes de Newton, et voyons si le système solaire répond oui ou non, c'est-à-dire si les faits que nous pouvons observer après notre déduction sont en accord ou non avec le résultat de la déduction.

Or, là encore, le calcul a confirmé pleinement la vérité des principes de Newton. Lorsque la déduction a été faite, le calcul a d'abord montré la position des astres là où l'observation les avait trouvés. Seulement vous pouvez dire : après tout, les astronomes, en maniant l'analyse infinitésimale, ont pu donner, sans s'en rendre compte eux-mêmes, un certain coup de pouce pour obtenir le résultat qu'ils voulaient, puisqu'ils savaient où se trouvaient les astres. Mais vous savez aussi que par ces moyens on a cherché à prédire la

position d'un astre à un moment donné. Eh bien, lorsque les astronomes ont eu déclaré : telle planète, ou tel astre, va se trouver tel jour, à telle heure, à tel endroit, et que les astronomes ont braqué les lunettes sur l'endroit indiqué, ils ont trouvé invariablement l'astre fidèle au rendez-vous. Le calcul fait en partant des principes de Newton permettait de prévoir, et il apportait une nouvelle confirmation de la vérité des principes newtoniens, et de leur solidité.

Le calcul indiquait tous les mouvements, même les plus petits. Non seulement il montrait la position des astres mais il permettait d'expliquer aussi des phénomènes terrestres comme les marées. Les mathématiciens Euler, Mac-Laurin, Daniel Bernoulli, en 1740, se sont attaqués au problème des marées. Et ils ont réussi à expliquer par la gravitation le mouvement des marées, qui était un sujet proposé par l'Académie des Sciences de Paris, avec un prix substantiel. Vous vous rappelez que Newton avait supposé, pour appliquer ce système de gravitation aux marées, que la terre était immobile. Ses successeurs, qui avaient entre temps perfectionné l'analyse infinitésimale, ont pu tenir compte de la marche de la lune et du soleil, du frottement de l'eau contre le fond et les côtes. Tout s'est trouvé parfaitement expliqué et vérifié par le calcul, en partant des principes de Newton.

Ainsi non seulement la marche du système solaire mais même les phénomènes courants à la surface de la terre se trouvaient expliqués par le calcul, et l'on a eu là une confirmation supplémentaire de la vérité du système.

Ces travaux astronomiques, naturellement, réagissaient sur les mathématiques. C'est en vue précisément de vaincre les difficultés qui étaient opposées par les problèmes astronomiques que, dans la période où nous sommes, les différents astronomes perfectionnent le calcul infinitésimal, dont Newton et Leibniz s'étaient l'un et l'autre servi, mais qu'ils avaient laissé encore à l'état d'ébauche, avec une infinité de théorèmes non prouvés, une infinité de branches non explorées, et qui était un instrument que l'on pouvait notoirement perfectionner.

Parmi ceux qui l'ont le plus perfectionné, je me contenterai de citer Euler, le célèbre mathématicien bâlois, qui, lui, dans une foule de publications, a perfectionné ce système de telle sorte qu'au fond, encore aujourd'hui, dans la pratique, les ingénieurs ne dépassent guère Euler. Il faut citer également les Bernoulli, famille célèbre de mathématiciens. Enfin je vous citerai particulièrement Clairaut qui de 1737 à 1740 résout les problèmes des centres d'oscillation dans des milieux résistants, fait des recherches générales sur le calcul infinitésimal, et publie des mémoires sur l'intégration et la construction des équations différentielles du premier ordre.

Newton, par conséquent, avait progressé, contre Descartes. Et en astronomie les progrès étaient considérables. Mais les théories

scientifiques sont toujours lentes à s'établir, ce qui nous surprend toujours quand nous voyons, deux ou trois-cents ans après, les résultats obtenus. En réalité, songez toujours à la situation dans laquelle se trouvent les savants, au milieu de faits extrêmement complexes, extrêmement enchevêtrés, et où c'est très lentement que l'on arrive en réalité à déterminer les faits principaux et à dégager le vrai du faux. Même en astronomie, nous constatons qu'il a fallu faire encore des progrès pour amener la victoire de Newton. Mais il nous faut d'autre part examiner toutes les autres sciences, pour voir, de science en science, ce progrès des idées newtoniennes.

LES SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

DE 1715 A 1740

Dans la période que nous abordons, la lutte des cartésiens et des newtoniens se poursuit, en physique surtout, et également déjà un peu en chimie. Et tout d'abord dans l'optique, à propos du problème de la lumière.

Vous savez qu'il y avait, à propos de ce problème, un débat extrêmement vif, entre les newtoniens et les cartésiens.

Pour Descartes, la propagation de la lumière s'expliquait par la théorie de l'ondulation : la lumière communiquait ses oscillations aux particules des corps lumineux, et, par ces particules, les oscillations se communiquaient à un fluide élastique infiniment subtil, réparti dans l'espace. Le fluide, alors, se mettait à vibrer, et la lumière en résultait pour nous, exactement comme le son résulte des vibrations de l'air. C'était lié à la conception de Descartes de la transmission de tous les mouvements par le choc, et la lumière devenait donc un cas particulier du mouvement, et un cas particulier du choc, ce qui, pour Descartes, justifiait la théorie de la propagation instantanée.

Vous savez qu'au contraire pour Newton, qui en cela applique sa théorie atomique, la lumière provient de molécules lumineuses qui sont lancées depuis les corps qui nous éclairent jusqu'à nos yeux. Par conséquent la lumière, pour Newton, n'est pas un mode du mouvement, elle est un corps, un autre corps, inconnu, mais dont on doit constater l'existence.

La discussion continua donc, après 1715, entre cartésiens et newtoniens. Un élément de solution très important y fut apporté par Clairaut, dans plusieurs mémoires échelonnés de 1730 à 1739, dont le plus important a pour titre "Sur les explications cartésienne et newtonienne de la réfraction de la lumière", qui est paru en 1739.

Vous savez que les explications cartésiennes de la réfraction de la lumière étaient appuyées sur les mêmes principes que la réfraction des corps solides. Vous vous rappelez comment, dans sa "Dioptrique", Descartes compare le rayon lumineux au mouvement d'une balle qui traverserait une espèce de filet, à mailles très larges. Et pour Descartes, par conséquent, le mouvement de la lumière est semblable à ce mouvement d'une balle lancée à travers un filet à mailles très larges. Clairaut reconnaît que cela apporte une simplification très considérable à l'explication, mais cela n'est pas d'accord, dit-il, avec l'expérience. Car, si la résistance du milieu causait la réfraction de la lumière, exactement de la même manière qu'elle cause la réfraction des corps solides, la lumière devrait perdre de son mouvement en passant à travers plusieurs corps, de densité différente,

exactement comme une balle traversant le fameux filet perd de son mouvement. Or, nous dit Clairaut, ce n'est pas du tout ce qui se passe. La lumière ne perd pas de son mouvement, elle perd de son intensité. Par conséquent tout se passe comme si elle avait perdu en cours de route plusieurs des parties qui la constituaient, et donc l'expérience est beaucoup plus en accord avec la théorie de Newton qu'avec celle de Descartes, beaucoup plus en accord avec l'hypothèse de l'émission qu'avec celle de l'ondulation.

Et il en est de même de la découverte de l'aberration, en 1728, par l'Anglais Bradley, le déplacement apparent des étoiles à cause du rapport entre la vitesse de la lumière et la vitesse de la terre sur son orbite. Cette découverte de l'aberration, confirme la découverte de Roemer de 1676, la découverte de la vitesse de la lumière. Or l'hypothèse de l'ondulation, dans le système cartésien, n'est compatible qu'avec une propagation instantanée de la lumière, et, la découverte de l'aberration montrant que cette propagation instantanée n'est pas réalisée en fait, Bradley amenait encore à rejeter l'hypothèse de l'ondulation, et renforçait l'hypothèse newtonienne de l'émission.

Le travail de Clairaut était donc, vous le voyez, quelque chose de très important. Et d'autre part pour la première fois, dans le mémoire de Clairaut, l'hypothèse newtonienne de l'émission a été présentée d'ensemble à l'Académie des Sciences, et pour la première fois bon nombre de savants ont pu connaître cette théorie absolument dans son intégralité, et avec de très forts arguments à l'appui.

La deuxième science qui va nous retenir maintenant, c'est une science toute neuve : l'électricité.

En électricité, les progrès du XVIIIe siècle ont été extrêmement rapides, parce qu'on partait, en somme, à peu près de rien. On en était encore aux travaux de Gilbert de Colchester, le médecin de la reine Elizabeth Ière, dont le grand ouvrage, "De arte magnetica", date de 1600. On avait ajouté très peu de faits nouveaux au travail de Gilbert de Colchester, au point que l'on en était encore à sa théorie suivant laquelle la conductivité dépend de la couleur des objets. On savait déjà faire apparaître l'électricité, soit au moyen d'un tube de verre frotté, soit déjà au moyen de certaines machines, et l'on avait des machines composées d'un globe de verre, tourné au moyen d'une manivelle, et que l'on frottait avec la main bien sèche, ce qui développait un courant électrique, mais en somme on n'en savait guère plus. Et le travail de Gilbert de Colchester, vous le savez, est un travail plein d'imagination fantaisiste.

Or, après 1729, les progrès sont très rapides. Un Anglais, nommé Grey, reprend les expériences de Gilbert, et en fait un certain nombre d'autres. Il opère de la façon la plus simple, au moyen d'un simple tube de verre et de quelques cordons de soie, et il arrive à découvrir une première loi fondamentale, et qui était la condition de

tous les progrès ultérieurs, à savoir que la conductivité ne dépend pas du tout de la couleur, mais de la nature des matériaux. Et c'est à Grey que nous devons cette première classification des corps "bons conducteurs" et des corps "mauvais conducteurs", les premiers dans lesquels il met les métaux, et les seconds dans lesquels il met, par exemple, la soie.

Il montra également le premier que le corps humain s'électrise, c'est-à-dire est conducteur de l'électricité. Et il a fait attirer des corps légers, par exemple des fragments de papier, mais également quelquefois des boules de liège, ou des boules de sureau, par un sujet, qu'il avait préalablement électrisé au moyen de son tube de verre, et qui à ce moment-là se mettait à attirer, soit avec la tête, soit avec les pieds, de petits fragments de papier que l'on approchait. C'est une expérience qui à ce moment-là a plongé tout le monde dans l'admiration, et aussi dans l'anxiété. On se trouvait en présence de forces occultes, qui inquiétaient très vivement.

Enfin il a découvert le transport à distance de l'électricité. Et il a établi le premier record en cette matière, faisant parcourir à l'électricité une distance de 765 pieds.

Les expériences sur l'électricité ont été reprises et conduites plus loin par plusieurs Français, parmi lesquels nous citerons particulièrement le membre de l'Académie des Sciences Du Fay, dont nous aurons d'ailleurs aussi l'occasion de reparler, à propos de l'agriculture. Il a été un expérimentateur extrêmement fécond.

Du Fay a poursuivi des expériences jusqu'en 1739. Il a prouvé, lui, d'abord que tous les corps pouvaient être électrisés, que la présence de l'électricité dans le monde était un fait universel, il a détruit une classification que Gilbert avait cru pouvoir faire entre les corps "électriques", qui pouvaient être électrisés, et les corps "non électriques", qui ne le pouvaient pas. Du Fay a montré que cette classification reposait sur des erreurs d'expérience, et que l'on pouvait électriser n'importe quoi.

Allant plus loin, il a montré les analogies entre l'électricité et la foudre. Il s'est courageusement soumis à l'expérience d'être lui-même électrisé, bien séparé du sol en se faisant pendre par des cordons de soie ou en se faisant mettre sur un gâteau de résine, mauvais conducteur. Et quand il était ainsi suspendu au plafond, bien étendu et convenablement électrisé, lorsque quelqu'un passait suffisamment près de lui, voilà qu'une étincelle sortait de lui et allait jusqu'à cette personne : c'était une étincelle en zig-zag, bleuâtre, laissant une odeur de soufre, etc... - Cette étincelle s'accompagnait d'un bruit sec, et Du Fay, a compris que c'était là un phénomène absolument analogue à un coup de tonnerre, un coup de foudre. Il a répété l'expérience dans l'obscurité, et il a fait sortir de son corps des étincelles de feu. Il a pu remarquer alors la forme en zigzag ou la forme fourchue de ces éclairs qui sortaient de lui-même, et qui offraient une analogie parfaite avec les phénomènes atmosphériques. Et il a remarqué aussi que, dans cette situation, son corps était entouré comme d'une espèce d'aura lumineuse.

L'abbé Nollet, un autre expérimentateur célèbre, a tiré, dit-on, de lui des étincelles qui avaient plusieurs centimètres de long. Nollet fut tout de suite d'avis que l'éclair et l'étincelle électrique étaient absolument la même chose. Et Du Fay a été également de cet avis. C'était un progrès extrêmement important, parce que cela établissait alors entre la physique proprement dite et les sciences naturelles un nouveau pont. C'était la possibilité d'expliquer les phénomènes naturels par la physique.

Enfin, Du Fay a découvert l'électrisation par contact. C'est lui qui a établi ce fait, que les corps électriques attirent tous ceux qui ne sont pas électrisés, et repoussent au contraire ceux qui le sont. Et il a découvert alors les deux sortes d'électricité : l'électricité "vitrée", que nous appelons l'électricité positive, et l'électricité "résineuse", que nous appelons l'électricité négative. Il a démontré l'attraction de l'électricité positive pour l'électricité négative, la répulsion de l'électricité positive pour l'électricité positive et celle de l'électricité négative pour l'électricité négative, ... enfin toute une série de phénomènes fondamentaux, par lesquels il a fait faire des progrès considérables à la nouvelle science.

Naturellement, tout de suite, les savants ne se sont pas contentés de la constatation de faits positifs, et de l'établissement des premières lois. Et c'est fort heureux, car s'il y avait une science absolument positive, au sens où Auguste Comte a essayé de la définir, le résultat serait l'arrêt immédiat de tout progrès scientifique. Le but de la science c'est d'établir des lois, et, par ces lois, d'arriver à une explication d'ensemble. Et il faut essayer le plus vite possible d'établir des explications d'ensemble, en sachant bien d'ailleurs qu'on se trompera, mais parce que c'est absolument nécessaire pour poser de nouvelles questions, et aller plus loin. Du Fay ne pensait pas encore qu'il se tromperait en cherchant des explications, et il a essayé d'expliquer l'électricité et sa nature par la théorie cartésienne des tourbillons. Lui d'un côté, de l'autre Privat de Molières, ont tenté cette explication. Nous trouvons alors cette tentative d'explication par les tourbillons cartésiens tout d'abord dans le quatrième Mémoire de Du Fay, sur l'électricité (que vous pourrez trouver dans les mémoires de l'Académie des Sciences de 1733, à la page 620).

Voici comment il explique la répulsion produite sur une feuille d'or par le tube électrique. Tout d'abord il a constaté le phénomène habituel : la feuille d'or est attirée par le tube de verre, soigneusement électrisé par frottement, et puis, la seconde d'après, elle est au contraire repoussée. Phénomène élémentaire, et qu'il essaye d'expliquer dans les termes suivants : "Il est à observer, dit-il, que, par la distance à laquelle la feuille se tient éloignée du tube, on peut juger de l'étendue du tourbillon électrique, et que, conduisant la feuille au-dessus de toutes les parties du tube, soit en le tournant sur son axe, soit en le mettant dans une situation verticale, on peut se former l'image des limites du tourbillon, ou plutôt celle de la couche du tourbillon qui a assez de force pour résister au poids de la feuille. Car, si l'on en prend de très petits fragments, on voit

qu'ils se soutiennent à une beaucoup plus grande distance que les autres". Et, en 1737, Du Fay a développé cette explication par les tourbillons.

Qu'est-ce qui lui avait suggéré l'existence d'un tourbillon électrique autour du corps électrisé ? Vous le devinez, c'est la constatation du fait que, dans l'obscurité, son corps était entouré de cette espèce d'aura lumineuse, qui suggérait la présence d'un tourbillon analogue aux tourbillons de matière subtile que Descartes imaginait dans l'univers, autour des astres, et les entraînant. Ainsi le frottement aurait déterminé la présence de tout un tourbillon de matière subtile autour du tube, et c'est ce tourbillon de matière subtile qui, repoussant la feuille d'or, ou repoussant les éléments légers, comme le papier, nous expliquerait cette répulsion qui suit l'attraction.

Le fameux Privat de Molières, a essayé d'élaborer davantage cette explication par les tourbillons cartésiens. C'est dans ses "Leçons de Physique", publiées en 1737, que vous trouverez, au tome III, toute une explication, que je vous résume, car elle est fort longue.

Privat de Molières pose que, pour rendre compte des différentes observations, il est nécessaire d'admettre la présence, autour d'un corps électrique, d'une espèce d'atmosphère. Et comme cette atmosphère, d'une part, est lumineuse, comme d'autre part elle prend feu lorsqu'on approche le doigt, on ne peut douter, dit Privat de Molières, que les particules de cette atmosphère ne soient "de véritables molécules d'huile". Comment, alors, les choses peuvent-elles se passer ? Et ici, appliquant la déduction cartésienne, Privat bâtit un véritable roman cartésien, ces "romans" dont parlait Voltaire, ces romans chers à Descartes et que rejetait au contraire Newton. Privat de Molière nous dit en effet : "Les molécules, tant qu'elles sont dans les pores du corps électrique, ne sont que des tourbillons très petits, qui, à l'intérieur du corps, font équilibre avec le milieu élastique de l'éther".

Cette histoire de "tourbillons très petits" qui se trouvent à l'intérieur des corps, et entre les particules des corps, ce n'est pas Descartes qui l'a trouvée. C'est un perfectionnement ultérieur de Malebranche; il a pensé que la matière subtile était composée de petits tourbillons tournant très vite pour essayer de répondre aux objections de Newton - objections fondées sur le calcul - à la théorie cartésienne.

Lorsqu'on frotte le tube, cela fait sortir ces petits tourbillons Mais alors, quand ils se trouvent en dehors du tube, et à l'air libre, ils s'agrandissent, et à ce moment-là, comme tout est plein, d'autres tourbillons, qui sont dans l'air, entrent, en se comprimant un peu, pour remplacer ceux qui étaient primitivement dans le tube, où ils commencent à s'installer et à tourbillonner. Et c'est ainsi que l'on explique que le tube puisse toujours être électrisé à nouveau, puisque à chaque fois, il y aura de nouveaux petits tourbillons qui vont sortir lorsqu'on va frotter le tube.

Lorsque les tourbillons sont sortis, ils se mettent à voltiger dans l'air. Et quand ils entrent en contact avec le doigt, qui a toujours une espèce de transpiration, cela détermine une fermentation de ces petits tourbillons qui sont de nature oléagineuse, et c'est cette fermentation qui cause l'inflammation, d'où viennent alors les éclairs, analogues à la foudre, dont nous avons parlé.

Voilà quelques explications de type cartésien.

La troisième branche de la physique qui nous retiendra un peu, c'est la calorimétrie.

Mais, dans cette période, la calorimétrie est quelque chose de très modeste. Ce qui est à noter se réduit en somme à la recherche de l'instrument de mesure qui pouvait servir à faire les progrès ultérieurs et qui était la condition de la création de cette branche de la science, c'est-à-dire le thermomètre. Et, ici, vous savez que vous avez une lecture possible, le livre de Daumas sur "Les instruments scientifiques au XVIIe et au XVIIIe siècles".

Les difficultés pour construire le thermomètre étaient plus grandes que nous ne pouvons le penser aujourd'hui, où il y a des choses qui pour nous sont devenues tellement habituelles que nous ne nous apercevons pas qu'il a fallu les trouver. La difficulté, c'est qu'on n'avait pas de points fixes, pour établir une graduation thermométrique. On avait, d'abord, des points de repère extraordinairement variés. On se servait parfois d'un mélange de glace et de sel, et comme on ne savait pas le faire chaque fois de la même façon, comme d'autre part la qualité du sel variait, cela faisait un point de repère assez variable. Ou bien on employait un mélange de glace et d'eau, qui avait le même inconvénient. On prenait le point de congélation de "l'huile essentielle d'anis". On prenait comme point de repère la température des caves de l'Observatoire de Paris. Comme point supérieur de l'échelle, on prenait alors le point de fusion du beurre, ou le point de fusion de la cire. Seulement, naturellement, ce point de fusion varie avec la composition du produit. On prenait la température interne des animaux. Ou bien certains même ont été jusqu'à prendre la plus haute température des jours d'été en Italie, ou en Syrie, ou au Sénégal, ce qui naturellement impliquait une pétition de principe, puisque comment pouvait-on savoir que c'était le jour le plus chaud ? Cela dépendait des individus, de l'état de l'organisme. Enfin, quelques-uns utilisaient le point d'ébullition de l'eau, mais ils étaient encore assez peu nombreux.

Pourquoi se servait-on très peu alors des repères que nous utilisons d'habitude, c'est-à-dire la vapeur d'eau bouillante et la glace fondante ? Précisément parce qu'on n'avait pas encore démontré que l'ébullition de l'eau se produisait toujours à la même température, à la même altitude et sous des conditions égales de pression atmosphérique, et l'on n'avait pas non plus déterminé que la glace fondait toujours à peu près à la même température. C'était cela qui restait à déterminer. Aujourd'hui, pour nous, cela ne fait plus de difficultés. Mais, pour arriver à établir cette fixité, il a fallu

tout le XVIIIe siècle. C'est seulement à partir de 1775 que l'on a commencé à l'admettre, et encore, comme résultat d'une foule de constatations, d'où l'on a tiré des moyennes, d'où l'on a fini par conclure que, somme toute, il y avait des chances pour que l'ébullition de l'eau, à égale altitude et à égale pression atmosphérique, se produisît toujours, en effet, à la même température. Et il en fut de même pour la glace fondante.

D'autre part, si l'on manquait de points fixes, on n'avait pas non plus de liquide donnant, pour une même échelle, des indications comparables. La supériorité du mercure n'était pas encore reconnue. D'ailleurs le mercure coûtait très cher, sa manipulation n'est pas commode, et c'était un produit dont les physiciens ne pouvaient se servir que très peu.

On employait beaucoup l'esprit de vin, mais il n'a pas une composition constante. Il fallait d'abord déterminer le degré alcoolique de l'esprit de vin dont on se servait. On prenait alors une coupelle, on faisait évaporer l'esprit de vin, et, d'après le résidu aqueux qui restait, on déterminait le degré alcoolique de l'esprit de vin utilisé. Vous voyez que c'était un procédé extrêmement empirique, et imprécis. Les pèse-liqueur, me direz-vous : il en existait, bien sûr, mais ils répondaient aux mêmes inconvénients ; ils n'avaient pas d'échelle universelle, et ils ne donnaient pas d'indications comparables.

Et ainsi les thermomètres qui sont fabriqués ne donnent pas d'indications comparables d'un pays à l'autre.

Enfin il se posait le problème de l'échelle thermométrique, problème qui n'a été résolu que très lentement et très difficilement. Vous savez déjà, je pense, que la première échelle qui ait donné des résultats est celle du Dantzigois Fahrenheit.

En 1724, Fahrenheit découvrit que chaque liquide avait un point fixe d'ébullition, qui variait avec la pression atmosphérique. Découverte capitale, mais dont les contemporains ont été très longs à se convaincre. Et c'est Fahrenheit qui le premier a utilisé d'une façon commerciale, pourrait-on dire, la vapeur d'eau bouillante, à la pression de 76 millimètres de mercure, qui lui fournissait son 212e degré. Il a alors eu l'idée moins bonne d'utiliser pour le degré inférieur un mélange d'ammoniaque et de glace, qui lui donnait son degré 0. Mais vous savez que la glace fondante, dans l'échelle Fahrenheit, donne le degré 32.

Les points fixes étaient difficiles à établir, et l'échelle de Fahrenheit est, au fond, très peu commode. C'est ce qui fait qu'il y a eu un certain nombre de tentatives de perfectionnement, parmi lesquelles nous citerons surtout celles du Français Réaumur.

Réaumur donne en 1730 des "Règles pour construire les thermomètres", et en 1731 un deuxième mémoire, intitulé "Mémoire pour la construction des thermomètres". Lui, il a l'idée alors de prendre

pour son degré 0 la température de la glace fondante, mais malheureusement il se sert pour liquide d'esprit de vin, mêlé de 1/3 d'eau dont l'ébullition lui donne le degré 80. Il avait toujours la difficulté d'obtenir un mélange constant. Il divise alors son échelle en 80 parties, toujours pour des questions de volume : son liquide, en effet, se dilatait de 1000 à 1080, cela lui donnait donc 80 degrés en volume. Mais l'échelle de 80 degrés est évidemment, elle aussi, très peu commode.

Il fut très difficile, avec le thermomètre de Réaumur, d'obtenir des indications comparables. Le Genevois du Crest, alors, imagina, en 1740, l'échelle centésimale. Seulement il eut encore une idée défectueuse : il prit comme 0 la température des caves de l'Observatoire de Paris. Et ce fut seulement, en 1742, le savant suédois Celsius qui imagina l'échelle centésimale, en réunissant les procédés les plus commodes : la glace fondante, la vapeur d'eau bouillante, et la division en 100 degrés. Toutefois le centième degré, pour lui, c'était la glace fondante, ce qui créait une petite difficulté, et c'est en 1750, alors, que son compatriote Strömer eut l'idée d'inverser l'échelle, et de lui donner l'aspect que nous connaissons aujourd'hui.

Les fabricants ont copié d'habitude soit l'étalon de Fahrenheit, soit celui de Réaumur. Seulement, comme ils étaient extrêmement difficile à utiliser, ils ont pris comme points fixes la température de la glace fondante et celle de l'eau bouillante. Et les thermomètres, alors, se sont répandus. Vous savez qu'à la fin du XVIIIe siècle encore ce n'était pas l'échelle centésimale qui était la plus répandue. En Allemagne, on se servait surtout de l'échelle de Réaumur, en France de l'échelle centésimale de Celsius, en Angleterre et en Hollande de celle de Fahrenheit. Mais il y avait dix-neuf échelles différentes en usage en Europe. Néanmoins, à ce moment-là, le thermomètre est déjà assez perfectionné pour permettre des mesures précises, et c'est cet instrument qui va faciliter la fondation de la science calorimétrique, par l'Ecossais Joseph Black.

Passons maintenant à la chimie.

Dans les universités allemandes, ce que l'on continuait à enseigner, c'est l'alchimie. Et il s'agissait toujours de trouver la pierre philosophale, et de fabriquer de l'or.

Dans les universités occidentales au contraire, et spécialement en France, en Angleterre et en Hollande, l'alchimie est déjà un stade dépassé. On en est vraiment à un stade préscientifique. Ce qui domine encore, c'est le Cours de Chimie de Nicolas Lémery, publié en 1675, et qui est un traité assez cartésien d'esprit.

Nicolas Lémery était un expérimentateur remarquable, un praticien de grande valeur, et qui se fondait d'ailleurs surtout sur l'expérience. Il a appliqué assez largement la méthode des mécanistes. Cependant il est influencé très certainement par le cartésianisme, et nous le voyons par exemple dans son interprétation de l'augmentation du poids de l'étain et du plomb quand on les calcine.

Vous savez qu'aujourd'hui nous attribuons cette augmentation, depuis Lavoisier surtout, à la fixation de l'oxygène par l'étain et le plomb. Lémery n'a pas pensé à l'oxygène, bien que la découverte fût dans l'air. Quelque temps, en effet, avant la rédaction de son livre, un chimiste français, nommé Lefebvre, avait déjà pensé à un "esprit universel", et il attribuait déjà à cet esprit universel une action semblable à celle de l'oxygène. Seulement il ne disposait pas des moyens d'isoler cet esprit universel. Mais Lémery n'a pas repris cette belle idée de Lefebvre, qui n'était à ce moment-là qu'une simple hypothèse. Il cherche à expliquer cette augmentation de poids en partant de la méthode cartésienne. Pour lui, il s'agit alors de particules ignées, d'espèces de particules cartésiennes, en feu, qui s'uniraient au métal, pendant la calcination. C'est quelque chose de très intelligible, et, vous le voyez, c'est tout à fait cartésien.

La tradition de Lémery a été continuée au XVIIIe siècle par un professeur de chimie très célèbre à cette époque, le fameux Rouelle, dont les cours étaient suivis, au Jardin des Plantes, par des centaines de personnes.

Rouelle était d'abord un pharmacien, comme la plupart des chimistes. En tout cas cette origine a eu pour lui un effet salutaire, c'est qu'il a pensé que dans la chimie on ne devait admettre que ce qui tombait sous les sens, que des déplacements de matière. Et cette idée préconçue, si vague fût-elle, a eu l'avantage de l'inciter à l'expérience, et de lui faire faire des progrès très considérables.

C'est en 1738 que Rouelle a ouvert son cours public à Paris. Et il a eu un tel succès qu'en 1742 il est nommé démonstrateur de chimie au Jardin du Roi. Le professeur était un nommé Bourdelin, qui professait suivant les anciennes méthode. Il faisait son cours, après quoi entrait en scène Rouelle, qui devait faire les démonstrations de ce que le professeur avait enseigné. Et naturellement Rouelle démontrait tout le contraire. Rouelle a continué de cette façon jusqu'en 1764.

Rouelle était, je vous l'ai dit, un pharmacien. Comment procédait-il ? Il partait des corps de la nature, et il les analysait. Il décrivait par exemple les végétaux, et il montrait les "esprits", les "huiles", les "flegmes" que l'on en tirait, suivant le degré de chaleur auquel on les soumettait. Puis il procédait à des essais sur les produits qu'il avait retirés, et par exemple il montrait que l'huile essentielle d'herbechat, que l'on retirait par distillation avec de l'eau au degré de la chaleur de l'eau bouillante, allait sous l'eau, et que cette propriété de l'huile essentielle d'herbechat était absolument contraire aux propriétés de toutes les autres huiles essentielles. - Voilà de quoi se composait le cours de Rouelle. A ce moment-là, on avait l'impression d'entrer dans les secrets de la nature, et cela attirait énormément de gens. Après quoi il passait au règne animal, et, de la même façon, il étudiait les sécrétions animales : le lait, la lymphe, le blanc d'oeuf, le sang, la bile, l'urine, les graisses. Il les mettait au feu, au bain-marie, à l'esprit de vin, à l'eau, et il montrait alors les résultats à ses auditeurs. Après quoi il passait au règne minéral, et il étudiait le mercure, qui était le métal par excellence, en qui se trouvait le principe mercuriel à l'état pur. Ensuite

il passait aux "demi-métaux", qui étaient pour lui l'arsenic, le cobalt, l'antimoine, le bismuth et le zinc, et enfin aux "métaux imparfaits", qui étaient le plomb, le fer et le cuivre. Et il couronnait son cours, qu'il répétait tous les ans, par deux leçons qui étaient encore consacrées au "grand oeuvre", c'est-à-dire à la transmutation de l'or. Il montrait à ses auditeurs qu'on finirait par avoir un jour la pierre philosophale, parce qu'en somme il en avait la formule. C'était presque par un hasard d'expérience qu'il n'avait pas réussi encore à l'obtenir. La pierre philosophale résultait "de la fermentation de l'or avec un mercure, particulièrement chargé de phlogistique". Le moyen d'obtenir ce mercure, il s'efforçait chaque année de le trouver, et il s'étonnait de ne pas y être encore arrivé.

Voilà ce qu'était le cours de chimie de Rouelle. C'était le plus réputé de cette époque . Il y avait d'ailleurs dans toute l'Europe des pharmaciens qui faisaient des cours de chimie, et ces cours étaient à peu près de la nature de ceux de Rouelle. On allait, en somme, au hasard. Et, comme toujours, du hasard aux sciences il ne sortait pas grand chose, mais enfin on faisait des manipulations, on obtenait des détails qui un jour pourraient servir, et surtout on entretenait l'habileté de l'expérience.

Tous ces chimistes, étant de simples praticiens, étaient incapables de ce qui est vraiment de la science, c'est-à-dire une théorie, une théorie qui explique les phénomènes, qui les relie, et qui les rend utilisables pour l'esprit humain, qui permet à l'esprit humain de les enchaîner, de les retrouver facilement, de les faire entrer dans ses raisonnements, et, par là, de s'en servir pour faire de nouvelles expériences, et pour faire des découvertes. Aussi ressentait-on le besoin d'une explication totale en chimie. Et l'explication a été tentée par un médecin allemand, professeur de médecine à l'Université de Halle, Georg-Ernest Stahl.

La théorie de Stahl a été élaborée à partir de 1697, où elle est déjà connue par ses cours, mais elle n'a été livrée au public qu'en 1717.

La chimie traditionnelle reconnaissait, à l'origine des propriétés des corps, quatre principes indivisibles, qui étaient les principes d'Aristote : le feu, l'air, la terre et l'eau. Pendant longtemps, en manoeuvrant suffisamment ces principes, on était arrivé à rendre compte des phénomènes chimiques. A l'époque de Stahl, après les travaux de Lémery, le feu, l'air, la terre et l'eau ne rendaient plus compte de rien. Il fallait aller plus loin.

Stahl, alors, a été convaincu que, pendant la combustion, quelque chose était expulsé du corps qui brûlait ou qui se calcinait. Et ce quelque chose, il le retrouvait partout. Il a donc été convaincu que toutes les substances renfermaient en elles un principe de combustibilité. La combinaison de ce principe avec les corps les rendait combustibles, et, lorsque la combustion se produisait, ce corps, alors, était libéré, et il partait dans l'air. Ce principe a été appelé, par les disciples de Stahl, le "phlogiston", c'est-à-dire la flamme. Le principe en lui-même était insaisissable à l'état de combinaison. Il

FACULTÉ des LETTRES de PARIS
INSTITUT d'HISTOIRE de la RÉVOLUTION FRANÇAISE
SORBONNE

ne devenait sensible qu'au moment où il se dégageait du corps. Tant qu'il était combiné dans le corps, c'est-à-dire tant qu'il était "phlogistique", on ne pouvait pas le saisir. On ne le voyait, pensaient Stahl et ses disciples, qu'au moment même où il se dégageait d'un corps, et il était essentiellement la partie supérieure de la flamme, où il reste encore comme une espèce de vibration qu'on voit se dégager dans l'air. Pour Stahl et ses disciples, c'était cela le "phlogiston", qui partait à travers l'espace.

La combustion était donc le passage du feu combiné, ou phlogistique, à l'état de feu libre. Maintenant comment Stahl et ses disciples voyaient-ils exactement le phlogiston ? Stahl, lui, le regardait comme "une substance de nature terreuse, mais une terre dont les parties sont infiniment petites (vous voyez donc que Stahl est encore influencé par les particules et par la "matière subtile" cartésienne), point du tout, ou du moins très peu cohérentes entre elles, et plus propre qu'aucune autre substance à prendre ce mouvement rapide dans lequel coexistent tous les effets du feu". C'est là une explication cartésienne, et Stahl entre dans la catégorie des savants influencés par le mécanisme cartésien.

Ainsi, dans toute substance, vous voyez que d'une part il y a un principe inflammable, le phlogistique, d'autre part un élément qui varie suivant les corps. Plus une substance est riche en phlogistique, plus elle est inflammable. Le charbon, le soufre ou le phosphore sont très riches en phlogistique, et ils en ont tellement qu'ils peuvent en céder aux corps avec lesquels on les met en contact. Le métal est essentiellement composé de phlogistique et, dit Stahl, d'une chaux, qui est différente suivant la nature du métal. Lorsqu'on calcine le métal, le phlogistique se dégage, et il reste la chaux, que nous retrouvons.

Naturellement, il y avait une objection à formuler. Depuis le début du XVIIe siècle, Brun de Bergerac, un chimiste aujourd'hui très peu connu, avait remarqué que l'étain et le plomb augmentent de poids quand on les calcine, et, d'autre part, Stahl lui-même (lequel n'ignorait d'ailleurs pas l'expérience de Brun de Bergerac, qui avait inspiré Lefebvre) avait remarqué que la litharge et le minium pèsent plus que le plomb, qui les fournit. Il y a donc quelque chose qui s'y est ajouté. Et vous voyez alors l'objection qu'on pouvait lui faire : s'il s'est ajouté au minium et à la litharge quelque chose, l'explication est exactement inverse de celle que vous donnez, parce qu'au contraire, au moment de la combustion, il vient alors se combiner quelque chose au plomb, pour donner du minium et de la litharge, et il ne se dégage pas du tout quelque chose.

Mais alors voici ce que Stahl répondait. Il avait parfaitement tenu compte des indications de la balance, comme l'a démontré le pharmacien Charles Bedel, dans un article que vous retrouverez dans un Recueil collectif publié en 1952 sur "L'Encyclopédie et les techniques", et qui est la reprise, en volume, d'une série d'articles parus dans la Revue de l'Histoire des Sciences. Charles Bedel y montre que, contrairement à ce que je pensais, et à ce que j'ai écrit, Stahl

a parfaitement tenu compte des indications de la balance. Et il s'est parfaitement aperçu qu'on pouvait lui faire ici une objection. Mais il a dit : C'est bien simple. Cela signifie seulement que le phlogiston est plus léger que l'air. Alors, quand il se combine avec les différents métaux, il les rend plus légers. Et de là que, lorsqu'il y a combustion, ces métaux augmentent de poids. Cela n'indique pas du tout qu'il se combine quelque chose avec eux, cela indique tout simplement qu'ils perdent leur phlogiston, et que, perdant ce corps qui est plus léger que l'air, ils deviennent plus lourds. De cette façon, Stahl écartait l'objection, d'une façon, en somme, très pertinente, et nous ne sommes plus étonnés maintenant du succès de la théorie de Stahl au XVIIIe siècle.

D'autre part la théorie a eu un succès énorme, prodigieux, parce qu'elle répondait à deux nécessités. D'abord, elle fournissait le principe d'explication que la théorie d'Aristote des quatre éléments n'arrivait plus à donner. Par le phlogistique de Stahl, on arrivait au contraire à expliquer presque tous les faits connus, et intégrés dans la préscience chimique de l'époque. Et d'autre part cette théorie apportait une simplification énorme : elle permettait de classer, et de combiner, un nombre très considérable de faits. Et c'est ce qui nous explique qu'elle ait remporté un véritable triomphe, triomphe qui a duré très tard, puisque vous savez qu'il a fallu à Lavoisier plus de dix ans de mémoires à l'Académie des Sciences pour arriver à ébranler la théorie de Stahl, et que lorsque Lavoisier est mort, sur l'échafaud, il restait encore dans le monde des "phlogisticiens", et, par exemple, le fameux savant anglais Priestley. La théorie de Stahl a été l'un des grands moments de l'histoire des sciences, et la condition même des progrès de Priestley, de Scheele, et de Lavoisier.

°
° °

LES SCIENCES NATURELLES, DE 1715 A 1740

Les sciences naturelles sont des sciences beaucoup plus complexes que l'astronomie, la physique et la chimie (pas plus difficiles, mais plus complexes). Elles comprennent un plus grand nombre de variables. Aussi ont-elles un retard d'évolution sur les sciences mathématiques, et physico-chimiques, au XVIIIe siècle, et en particulier dans la période que nous allons étudier.

Nous avons à distinguer deux choses. D'une part, un certain nombre de théories physiologiques, destinées à expliquer les fonctions de l'organisme humain, et en général des organismes animaux, dans leur ensemble. Ces théories, comme telles, représentent quelque chose de plus simple que la classification. Elles présentent un certain progrès, en ce sens qu'elles sont pénétrées d'esprit cartésien ; et l'esprit newtonien y est beaucoup moins apparent que dans les sciences que nous avons déjà examinées. Et puis nous avons d'autre part la classification, la systématique, qui, elle, représente un stade de pensée très en retard sur celui de la physiologie, et où l'aristotélisme reste encore extrêmement vivant, par exemple dans l'oeuvre de Linné.

Ce sont là les deux points que nous avons à voir aujourd'hui : la physiologie, où triomphe le mécanisme cartésien, avec les iatromécaniciens, et la systématique, où l'aristotélisme reste encore vivant.

Voyons tout d'abord la physiologie. -

Ici, nous avons à tenir compte d'un certain nombre de théoriciens, qui sont surtout allemands ou hollandais. Et le premier dont nous parlerons, c'est Friedrich Hoffmann, qui a vécu de 1660 à 1742. C'était un célèbre professeur de médecine de Halle, où il a enseigné de 1693 à 1742.

- Sur toutes ces questions de sciences naturelles, vous avez naturellement le vieux livre de Guyénot sur "Les sciences de la vie au XVIIe et au XVIIIe siècles". Et sur Friedrich Hoffmann et les autres savants dont je vais parler, vous trouverez des précisions et des renseignements complémentaires dans le livre de Nordenskjöld : "Geschichte der Biologie" - "Histoire de la biologie" - ouvrage suédois, traduit en allemand, en 1926, par Guido Schneider. -

Friedrich Hoffmann avait une renommée européenne. Et il reçut l'influence de Descartes, par l'intermédiaire d'un médecin français, Perrault, et d'un médecin d'origine italienne, Borelli, qui était lui aussi un iatromécanicien. Ses deux livres principaux sont les "Fundamenta medicinae", publiés en 1703, et la "Medicina rationalis", qui est de 1739.

Pour Hoffmann, le corps est une machine, qui est mise en mouvement par la circulation du sang. Par conséquent, la vie est quelque chose de purement mécanique, et qu'il faut séparer totalement de l'action de l'âme. Et vous reconnaissez ici la conception cartésienne : la distinction, d'un côté, de ce qui appartient à l'âme, et, de l'autre côté, de ce qui appartient à la matière. Cela, c'est purement du Descartes.

Quand le corps meurt, par conséquent, pour Hoffmann, ce n'est pas parce que l'âme le quitte. Ce n'est pas l'âme qui quitte le corps, mais, au contraire, c'est le corps qui abandonne l'âme, de sorte que les organes du corps ne peuvent plus servir d'instruments à l'âme.

Vous voyez que cette théorie, tout en faisant encore une très grande part à l'âme (Hoffmann, d'ailleurs, était un croyant, un piétiste ardent), ouvrait la voie au matérialisme, dont nous aurons à parler, par exemple, avec La Mettrie, et avec Maupertuis.

Le sang, pour Hoffmann, est mis en mouvement par le coeur, ce qui est également la théorie cartésienne. Et ce travail est réglé par les mouvements des nerfs. Dans les fibres des nerfs il circule de petites particules d'un fluide, un éther, que Hoffmann qualifie de "spiritus animalis". Et ici on peut se demander s'il n'a pas subi tout de même l'influence des newtoniens, puisque Newton expliquait, par exemple, la sensation visuelle, et le mouvement qu'elle détermine, par la propagation, le long des nerfs, des vibrations de l'éther.

Le "spiritus animalis" a son siège dans le cerveau. - Là encore, on sent l'influence de Descartes, qui mettait, vous vous le rappelez, l'âme dans la glande pinéale. - C'est le spiritus animalis qui règle les fonctions des muscles, les fonctions des sens, et la nutrition. Et le sang, alors, entretient la vie, mais il entretient la vie parce qu'il contient, lui, un esprit, qui se combine avec des parties de l'éther que contient l'air et, d'autre part, avec le soufre du sang. Il y a là par conséquent une combinaison "éther-soufre du sang-spiritus animalis", qui explique la chaleur du sang. C'est notamment le soufre qui est cause de cette chaleur. Les particules du soufre sont mises en violent mouvement par l'éther, et elles communiquent alors leur mouvement au sang. Dans le poumon, le sang prend de nouvelles particules d'éther. Ces particules d'éther se mêlent alors aux particules constitutives du sang, et le mouvement est ainsi entretenu.

Il y avait là tout de même une vue assez juste de la fonction du poumon, si elle se traduisait dans un langage bizarre.

Mais tout ce système, qui est un système purement mécaniste, n'empêchait pas Hoffmann de dire que l'homme avait une âme immortelle, une âme qui dirigeait le corps. Et cette âme, c'est l'image de l'esprit de Dieu.

Par conséquent vous voyez que nous avons là une conception qui est influencée avant tout par Descartes, car c'est une conception qui est avant tout mécaniste, et mécaniste dans le sens cartésien du mot. Mais l'éther nous dénonce une influence newtonienne, et d'autre part, dans les considérations sur le soufre, sur ses combinaisons avec l'éther, sur le spiritus animalis, nous trouvons certainement l'influence des médecins chimistes allemands, des iatrochimistes, dont le type, par exemple, est Paracelse, et qui avaient fait de nombreux développements sur l'importance de la chimie dans les mouvements du corps. Mais enfin ce qui domine ici, c'est tout de même l'influence cartésienne.

Nous allons la trouver encore plus nette avec Boerhaave, dont nous avons déjà parlé.

Boerhaave, né en 1668 et mort en 1738, était professeur de médecine à Leyde. Et il a été pendant longtemps le premier médecin d'Europe. Il a été plusieurs fois millionnaire, millionnaire en florins, à l'époque où le florin était la première monnaie d'Europe.

Comment est-il devenu disciple de Descartes ? Par l'influence de Spinoza, par la lecture de Spinoza, qui, vous le savez, a reçu le coup de foudre pour la philosophie en lisant Descartes. Nous connaissons son oeuvre surtout par les "Institutiones medicae", parues en 1708 et qui ont leur troisième édition en 1720. Elles ont été utilisées un peu dans toute l'Europe comme manuel d'enseignement. Elles ont eu une très large diffusion, de sorte que l'opinion de Boerhaave a eu une très grande importance.

On trouve chez Boerhaave un certain nombre de théories communes à tous les iatromécaniciens.

Chez lui, nous retrouvons tout d'abord le thème de la séparation de l'âme et du corps : tout ce qui est de la pensée appartient à l'âme, tout ce qui au contraire a forme, mouvement, étendue, impénétrabilité, appartient au corps. C'est la distinction cartésienne, qui était devenue fondamentale pour tous les gens qui s'occupaient de sciences à cette époque.

Boerhaave explique de façon purement mécanique les fonctions des différents organes. Il est même beaucoup plus mécaniste que Hoffmann, qui, vous l'avez vu, faisait encore intervenir des considérations chimiques. Pour Boerhaave, l'activité du corps, c'est du mouvement. C'est la capacité de se mouvoir que l'on appelle la fonction. Et la fonction a des lois, qui sont des lois mécaniques. La nutrition, par exemple, pour Boerhaave, est un phénomène purement mécanique. Il y a l'estomac qui triture les aliments, qui les réduit en une espèce de bouillie extrêmement fine et extrêmement fluide, et ceci - combiné, reconnaît toutefois Boerhaave, avec la chaleur du corps - constitue

la digestion. La digestion est quelque chose de purement mécanique.

Toute activité, d'ailleurs, est uniquement du mouvement. Dans les membres, ainsi que dans les différentes parties de l'organisme, Boerhaave ne veut pas voir autre chose que des organes uniquement mécaniques. Et il écrit lui-même que ce sont "des appuis, des colonnes, des poutres, des bastions, des téguments, des coins, des leviers, des aides de levier, des poulies, des cordes, des pressoirs, des soufflets, des cribles, des filtres, des canaux, des auges, et des réservoirs". Il ne veut absolument reconnaître, en somme, que des fonctions mécaniques à tous les organes. Et pour lui, par exemple, qu'est-ce que le rein ? Uniquement un filtre, qui agit uniquement, par sa finesse, pour séparer les différentes parties des liquides qui lui sont envoyés, et séparer le sang de l'urine, mais en cela il agit uniquement de façon mécanique, en séparant des particules les unes des autres. Il n'y a pour Boerhaave aucune action chimique.

Voilà comment un grand médecin, qui par ailleurs soignait très convenablement, pouvait se représenter la physiologie du corps humain.

Nous avons d'autre part à parler maintenant d'Astruc, professeur à Montpellier, et qui a vécu de 1684 à 1766.

Les écrits qui nous intéressent ici sont le "De phantasia sive imaginatione", de 1723, et le mémoire intitulé "An Sympathia Partium A Certa Nerv rum Positura in interno sensorio", qui est de 1736.

Tout ce que je connais d'Astruc m'a été révélé par le dernier livre de M. Georges Canguilhem, sur "La formation du concept de réflexe au XVIIe et au XVIIIe siècles", qui est sa thèse de lettres, et qui vient de paraître aux Presses Universitaires en 1955. Tout ne nous intéresse pas dans ce livre, qui porte d'ailleurs avant tout sur le XVIIe siècle, et où M. Canguilhem s'efforce de démontrer que Descartes n'a pas conçu la véritable théorie du réflexe, mais que c'est l'Anglais Willis, et ce qui nous intéresse essentiellement c'est ce qu'il nous dit à propos d'Astruc.

Astruc a utilisé le concept du réflexe, qui serait dû par conséquent à l'Anglais Willis. Pour Willis, le réflexe est une action directe des esprits animaux sur le cerveau : les esprits animaux font réflexion sur les fibres du corps calleux, et cette réflexion les fait refluer vers les membres, en déterminant le mouvement réflexe, qui, est, selon la vieille définition, "une réponse, immédiate et automatique, à une excitation donnée".

Dans son Mémoire de 1736, Astruc se lie des "sympathies". Il entend par là les réactions où, une partie de l'organisme étant excitée, l'autre subit une contraction, ou une convulsion. Et il cite l'occlusion des paupières, la déglutition des aliments, la toux, l'éternuement, le vomissement, la crampe. C'est tout cela qu'il appelle des "sympathies". Et c'est bien ce que, nous, nous appelons des réflexes.

Astruc a cherché à en donner une explication mécaniste. Et, comme Descartes, alors (car tous ces gens-là ont subi plus ou moins l'influence cartésienne), il admet une structure tubulaire des nerfs, et il admet que les nerfs ont leur origine dans le cerveau, sous la forme d'une ouverture dans l'écorce cervicale. Mais, comme Willis, il admet alors le double mouvement des esprits animaux, et la réflexion des esprits sur un obstacle intracérébral, qui les renvoie alors à l'extrémité des membres.

Vous savez que, pour Descartes, la chose était la suivante : il admettait bien un mouvement des esprits du cerveau jusqu'à l'extrémité des membres, mais il n'admettait pas le mouvement de retour. Pour lui, les esprits animaux, lorsqu'ils étaient arrivés, par exemple, à l'extrémité des doigts, passaient par les pores, et se perdaient dans l'atmosphère. Il n'admettait pas du tout le retour des esprits animaux. Or Astruc, suivant Willis, admet ce retour, ce mouvement d'aller et retour permettant alors d'expliquer très bien le phénomène du réflexe, qui a beaucoup préoccupé les gens de l'époque.

Et voici, par exemple, comment Astruc explique l'éternuement : Les fosses nasales sont un peu chatouillées. Les esprits animaux, alors, refluent des fosses nasales vers le cerveau. Ils heurtent les fibres du cerveau. Le choc produit alors dans l'âme, par l'intermédiaire ou non de la glande pinéale, une sensation qui est rapportée à la narine. Mais, en même temps que cette sensation, et sans qu'il y ait un rapport de cause à effet, les esprits qui ont heurté la fibre rebondissent, en quelque manière, sur cette fibre, d'une façon qui est conforme, nous dit Astruc, à la réflexion de la lumière, c'est-à-dire que l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence. Et cela permet alors aux esprits animaux d'être renvoyés par le nerf pourvoyeur du diaphragme. Le diaphragme est violemment agité par l'arrivée des esprits animaux et l'éternuement se produit.

Toutes ces théories purement mécanistes, ou plutôt inspirées par le mécanisme cartésien, ont provoqué une réaction. Parce qu'évidemment vouloir éliminer de la physiologie les phénomènes chimiques, et les phénomènes que nous pourrions appeler vitaux, c'était une espèce de gageure, qui ne peut être attribuée qu'à l'extrême influence de Descartes. Et la réaction a été le fait d'un autre médecin, dont nous avons déjà dit un mot à propos de la chimie, Georg-Ernst Stahl.

Georges-Ernest Stahl, né en 1660 et mort en 1734, a été longtemps professeur à Halle, avec Hoffmann. Et puis il ne s'est pas trop bien entendu avec Hoffmann, qui était très autoritaire, tandis que Stahl avait mauvais caractère. Et, en 1716, Stahl a trouvé une situation comme médecin à la cour de Berlin, où il est resté jusqu'à sa mort.

En 1737, trois ans après sa mort, est parue sa "Theoria medica vera", dont le premier chapitre est intitulé, d'une façon extrêmement significative, "Recherches sur la différence entre mécanismes et organismes", ce qui était donc tout de suite une position anti-cartésienne.

Stahl, en effet, souligne la profonde différence entre les deux. Il déclare que toute la biologie mécaniste est à rejeter. Et il prend position, en affirmant que, dans l'organisme vivant, l'âme est essentielle : le corps est pour l'âme, et il est commandé par l'âme. C'est l'âme qui assure directement les mouvements du corps. Et vous voyez qu'il rejette complètement la théorie d'Hoffmann, dans laquelle Hoffmann appliquait en somme la théorie de Descartes de l'animal-machine, en faisant simplement un "homme-machine". Le corps, d'après Hoffmann, aurait très bien pu fonctionner lui-même, pour des raisons mécaniques. Stahl s'inscrit en faux. S'il n'y a plus d'âme, il n'y a plus de vie.

La constitution chimique, dit Stahl, est différente selon les différentes formes vivantes. Elle est d'ailleurs développée différemment selon chaque individu. Et les parties du corps, outre leur constitution chimique, ont une "texture", et une "structure" (deux termes qui ont une très grande importance dans la théorie de Stahl). Par "texture", Stahl entend "l'ordonnance des petites particules du corps", et, par "structure", il entend "la réunion des éléments fondamentaux qui ont été ainsi constitués". Or cette texture, et cette structure, c'est cela qui donne leurs caractéristiques aux différents êtres vivants. Et là, alors, toute question d'âme mise à part, il est évident que Stahl était dans une bonne voie, parce qu'il mettait en relief l'importance de la forme et de la constitution de chaque organe, qui avait complètement disparu dans l'oeuvre des iatromécaniciens. Ceux-ci, comme Descartes, veulent briser le spécifique, or, quand on aborde l'être vivant, on ne peut pas se passer du spécifique.

En attirant l'attention sur l'importance de la texture et de la structure, Stahl rétablissait la notion d'être. Et c'est cette notion d'être que la mécanique cartésienne avait attaquée, et avait détruite. Seulement cela allait très bien tant qu'on n'étudiait que la physique, ou même encore, à la rigueur, que la chimie, mais dès qu'on s'attaquait au vivant, on se heurtait à la réalité : l'être vivant est une réalité, une réalité qu'on ne peut pas esquiver.

On peut dire qu'ici Stahl a posé les bases de la biologie du XIXe et du XXe siècles. Ce qui reste de son oeuvre, et ce qui est resté la base de la biologie, c'est cela, la conception de la texture, et de la structure, dans les êtres vivants.

Il faut dire que les contemporains n'ont pas vu du tout l'importance de cette partie de la théorie de Stahl. C'est seulement soixante ans après lui que Bichat a pu reprendre son idée, et lui donner un développement important, mais parce que Bichat appartenait à l'école de Montpellier, qui a repris les théories de Stahl. Les contemporains ont été surtout frappés par sa théorie de l'âme, et c'est cette théorie de l'âme qui, au point de vue de l'histoire du XVIIIe siècle, a surtout de l'importance. Ils ont été surtout frappés par la théorie de la maladie qui est une défaillance de l'âme : si l'on tombe malade, pour Stahl, c'est parce que l'âme faiblit. Il faudrait donc, pour soigner toutes les maladies, commencer par soigner l'âme, par conséquent par soigner le moral du malade. Inutile de vous dire que Stahl était, lui aussi, un piétiste, comme Frédéric Hoffmann.

Enfin je vous dirai un mot, bien que son importance soit tardive, d'Emmanuel Svedenborg, dont le nom se retrouve chez Balzac, dans presque tous les volumes. En effet, l'importance de Svedenborg a été surtout grande à l'époque romantique.

Svedenborg, né en 1688 et mort en 1772, était le fils d'un évêque suédois. Il a publié à Londres, en 1740, une "Economia regni animalis", et, en 1745, un "Regnum animali". C'était un mystique, ou tout au moins Nordenskjöld le qualifie de tel. Disons simplement que c'était un spiritualiste, et admettons même qu'il était pieux. Il a projeté sa piété dans sa biologie. Pour lui, il voit l'âme comme un "fluidum spirituosum", un "fluide spirituel", qui se tient dans l'écorce du cerveau. Et même il le localise : ce fluidum spirituosum est dans les cellules pyramidales. Nous voyons là l'origine des théories de Galle, par exemple, qui ont eu une telle influence sur Auguste Comte et sur les penseurs du XIXe siècle. - De là, le fluide va dans les différentes parties du corps. Chaque partie du corps dépend d'une partie déterminée du cerveau. Et, si la partie correspondante du cerveau est lésée, les mouvements de cette partie du corps sont alors atteints.

A la vérité, au XVIIIe siècle, on n'a pas fait très attention à la théorie de Svedenborg. Mais c'est au XIXe, alors, qu'il a eu une extrême importance. Et on vous a déjà parlé abondamment de la théorie des "localisations cérébrales".

Voilà ce que nous pouvons trouver, par conséquent, pour la biologie proprement dite.

Voyons maintenant, alors, la systématique, les classifications.

Dans la systématique, nous arrivons à quelque chose qui est encore plus complexe que la physiologie, c'est-à-dire qui fait intervenir un nombre encore plus considérable de variables. Et il n'est pas étonnant, alors, que nous ayons là affaire à quelque chose qui marque un retard dans l'esprit qui l'anime.

C'est encore l'esprit d'Aristote qui domine, parce que, là, on se heurte aux êtres, or vous savez qu'Aristote, précisément, avait une philosophie de l'être, parce que lui-même était un biologiste, et un sociologue.

Aussi les sciences naturelles se trouvent-elles très en retard. Elles sont encore dominées par l'esprit des "causes finales". Et il nous faut tout de même dire un mot du livre de l'abbé Pluche, "Le spectacle de la nature", qui a eu je ne sais combien de volumes, de 1732 à 1740, et où l'on trouve que les arbres sont verts pour ne pas nous offenser la vue, que Dieu a fait les marées pour permettre l'entrée des vaisseaux dans les ports, etc...

Il en résulte que ces sciences sont encore dominées par la systématique. On en est encore au stade des classifications, qui est un stade nécessaire, par lequel passent, ou sont passées, toutes les sciences successivement, mais un stade qui montre, évidemment, que la science en question est moins développée.

L'idée qui dominait, c'est précisément l'idée de l'être. C'est la persuasion que chaque espèce est une entité réelle, avec des différences tranchées, et des différences constantes, des caractères spécifiques.

Chaque espèce, pensait-on, avait été créée par un acte conscient, par une volonté du Créateur. Le Créateur l'avait douée de tous les attributs nécessaires pour sa vie. Il avait disposé autour d'elle tout ce qui était nécessaire pour qu'elle subsiste. Et, par exemple, il avait entouré soigneusement le mouton de toutes les herbes convenables pour la perpétuation de l'espèce mouton, et il veillait à chaque instant à ce qu'il y en eût suffisamment pour que l'espèce mouton ne disparût pas. On objectait qu'il y a des sécheresses, et des quantités de moutons qui meurent. Mais on répondait : Certes, mais il y a toujours un coin du globe où il y a assez d'herbe pour que l'espèce mouton ne disparaisse pas. - Enfin, Dieu avait fait chaque espèce inaltérable, immuable : telle avait été créée, quatre ou cinq-mille ans auparavant, telle elle était restée jusqu'à nos jours, et telle elle devait rester jusqu'à la fin des temps.

Par conséquent, dans cet état d'esprit, quelle était la tâche par excellence du savant ? Il n'y avait plus, en somme, qu'une question qui se posait, ou du moins une question qui dominait les autres : il fallait faire l'inventaire des espèces. Du moment qu'on aurait fait un beau tableau de toutes les espèces existantes, on aurait décrit l'oeuvre admirable du Créateur, on aurait retrouvé le plan divin, et par conséquent on aurait atteint le but suprême de la science, qui est de rapprocher de Dieu, et de faire contempler, dès ce monde, Dieu, autant qu'il est possible.

Aux hommes de science, d'ailleurs, la systématique, la classification, s'était posée comme une nécessité. Depuis les grandes découvertes, on avait apporté un nombre croissant de plantes coloniales, et on finissait par ne plus s'y reconnaître. A la fin du XVIIe siècle on connaissait au moins 18.000 plantes. Le nombre des animaux connus s'était aussi considérablement accru, et la classification devenait absolument nécessaire pour s'y retrouver.

Or, à la fin du XVIIe siècle, on savait très mal classer. D'abord, on savait très mal dénommer ce qu'on avait trouvé. Au début d'une classification, on n'a pas de termes, et l'on fait alors une description de l'objet. Seulement cela charge l'esprit, et il est extrêmement difficile de s'y retrouver. Au fond, personne n'y arrivait. Il fallait absolument trouver quelque chose de nouveau.

Heureusement, à la veille du XVIIIe siècle, deux progrès importants avaient été faits. Tout d'abord, un progrès réalisé par l'Anglais John Ray, en 1682. John Ray, a, pour la première fois, défini l'espèce. Cela peut nous sembler extrêmement curieux de voir l'espèce définie si tardivement, puisque, en logique formelle, depuis Platon lui-même, les notions de genre et d'espèce sont parfaitement claires. Mais il semble qu'on ait eu les plus grandes difficultés à les appliquer progressivement à des objets de plus en plus complexes. Et John Ray a défini

ainsi l'espèce : "C'est le groupe caractérisé par les différences les plus tranchées et les plus constantes, qui sont les caractères spécifiques".

Mais alors, ces caractères spécifiques, comment va-t-on les trouver ? Il y a un caractère dont Ray souligne l'importance, c'est la filiation. La filiation est le criterium le plus sûr de l'identité spécifique. Et il pose une première règle : "Jamais une espèce ne naît de la semence d'une autre, et réciproquement". Par contre, si vous voyez un animal naître de la semence d'une espèce, il appartient à cette espèce. Et l'on avait là un critère très sûr pour déterminer cette espèce.

Ainsi on savait déjà ce qu'était l'espèce, et on avait un moyen de la reconnaître.

Et puis il y a un deuxième progrès qui a été fait, par le Français Piton de Tournefort, dans ses "Eléments de botanique, ou méthode pour reconnaître les plantes", dont la troisième édition est de 1700. Piton de Tournefort, lui, a su reconnaître les genres. Il a classé les nombreuses espèces que l'on avait trouvées en 698 genres, et il a fait du genre la base essentielle de la classification. Il les a précisés avec soin, il a cherché à enfermer toutes les espèces dans les genres, à distinguer un caractère essentiel qui permît de classer les plantes. Et il a d'autre part raccourci les phrases par lesquelles on désignait les plantes. Il a commencé à les rattacher toutes à un nom commun. De sorte que la classification de Tournefort a présenté des avantages très certains de commodité et de clarté.

Seulement elle restait imparfaite, parce que, comme toutes celles qui l'avaient précédée, ce n'était pas une classification naturelle. Une classification naturelle doit tenir compte de toute la plante. Or c'est extrêmement difficile. Et, dans les premiers temps de la classification, on n'est jamais arrivé à tenir compte de toutes les parties d'un être. C'est ce qui fait, par exemple, que, dans les sciences sociales, la classification soit aussi peu avancé, parce qu'on n'a jamais considéré les êtres sociaux, les groupes sociaux, dans leur ensemble. Au début, on ne peut pas.

Ce qu'avait fait Tournefort, c'est de prendre comme point de départ la corolle. Il classait les plantes d'après leur corolle, d'après la présence ou l'absence de pétales, d'après leur nombre, leur disposition, en croix, ou en sac, et ainsi de suite. Il est donc arrivé ainsi à faire une classification, mais une classification qui avait des caractères arbitraires. Sur vingt-deux classes que Tournefort avait déterminées, il y en a six seulement qui sont naturelles ; les seize autres sont artificielles, et groupent ensemble, en somme, des plantes qui n'ont pas de rapports. Et c'est ainsi que la classification de Tournefort, au fond, n'a pas pu servir autant qu'on l'aurait voulu à classer les plantes nouvelles. Et c'est ce qui fait que Linné a tenté une autre classification.

Charles Linné est né le 23 mai 1707. C'est le fils aîné d'un pasteur, qui était épris de jardinage, et qui a communiqué sa passion

à son fils. Charles Linné a commencé, comme beaucoup de naturalistes, par être médecin. Il a étudié d'abord, en 1727, la médecine à l'Université de Lund, puis, en 1737, à celle d'Upsala, où il a été encouragé par le professeur Celsius. - Pour plus de renseignements sur Linné, vous pouvez consulter le livre de Norah Gourlie : "Princeps botanicorum, Caroleus Linneus", qui vient d'être publié à Londres, en 1953.

Linné a donc eu la chance de rencontrer, à Upsala, le professeur de théologie Celsius, qui était lui-même un botaniste acharné, et qui l'a protégé, si bien qu'il a pu devenir lecteur de botanique à l'Université. Cela lui a permis de gagner un peu d'argent pour effectuer des voyages en Laponie, en Dalicarlie. Et, comme la Suède ne décernait pas encore, à cette époque, le grade de docteur, Linné est allé conquérir ce grade en Hollande. Ce séjour en Hollande a été l'un des faits capitaux de sa vie, parce que la Hollande, nous l'avons vu, était un centre européen d'études. Linné a fait là la connaissance de Boerhaave, qui l'a beaucoup soutenu. Il a publié en Hollande ses premiers livres, qui ont eu ainsi une diffusion européenne, qu'ils n'auraient pas eue s'il les avait publiés en Suède. Et il a noué des relations précieuses avec des savants européens. A son retour en Suède, il a été quelque temps médecin à Stockholm. Enfin, en 1741, il est nommé professeur de botanique à Upsala, ce qui était son rêve.

La nomination de Linné était justifiée par ses oeuvres. C'est d'abord le "Systema naturae", dont la première édition a été donnée à Leyde en 1735, et la deuxième à Stockholm en 1740. Ce sont ensuite les "Fundamenta botanica", publiés à Leyde en 1736, les "Classes plantarum", publiées également à Leyde, en 1738.

Linné a un état d'esprit qui est un peu en retard sur l'évolution de son siècle. C'était un homme pieux, un excellent luthérien, pour qui Dieu avait créé toute la nature. C'est Dieu qui avait disposé tout pour l'usage de l'homme. Dans cette nature, d'ailleurs, tout ce qui arrive arrive sur l'ordre de Dieu, et sous la direction de Dieu. Et c'est là toute la philosophie naturelle de Linné.

Linné, chose curieuse, ne semble guère s'être intéressé au développement scientifique de son époque. Et même dans la 12ème édition de son "Systema naturae", en 1766, il parlait encore des quatre éléments - le feu, l'air, la terre et l'eau - comme composant les corps chimiques, exactement comme s'il n'y avait pas eu avant lui Stahl, et comme s'il n'y avait pas autour de lui, en 1766, de nombreux chimistes, qui avaient depuis longtemps abandonné cette conception. Il semble que Linné ait toujours ignoré la physique de Galilée, l'astronomie de Newton, et la chimie de Stahl. Il semble qu'il soit resté confiné dans sa spécialité, et complètement à l'écart du mouvement scientifique de son temps. Par contre nous le trouvons grand lecteur de la Bible, et d'Aristote, et l'on comprend, en somme, que son effort de classificateur ne l'ait pas incliné à sortir d'Aristote : rencontrant l'être à chaque pas, il était très incliné vers une philosophie de l'être. Aussi Linné voit-il Dieu partout.

Et voici une citation très caractéristique. Il le qualifie "le Seigneur et Maître de ce monde". Et il ajoute : "Veut-on le nommer Destin ? L'on n'erre pas, car tout dépend de son doigt. Veut-on l'appeler Nature ? L'on n'erre pas davantage, car de Lui tout vient. Veut-on le qualifier Providence ? L'on a encore raison, car tout arrive selon son vouloir, et sur un clignement de ses yeux".

Vous voyez à quoi aboutit Linné : presque à une espèce de panthéisme, tout au moins il est sur les limites du panthéisme. Et c'est un état d'esprit extrêmement intéressant, car le cartésianisme lui-même implique la transcendance de Dieu, et non pas cette espèce de panthéisme vague qui inspire Linné.

La classification de Linné lui a été inspirée par la découverte de Camerarius. En 1694, Camerarius a fait une découverte capitale, celle de la sexualité des plantes, et il a montré l'importance des organes sexuels chez les plantes. Cette importance des organes sexuels a frappé vivement Linné. Et il a cru, au début, aboutir à une classification naturelle en fondant sa classification des plantes sur les étamines et sur les pistils. C'était encore naturellement faux, parce que c'était encore prendre "un" aspect des plantes, et non pas la plante dans sa totalité, mais néanmoins cela l'a amené à un progrès considérable, parce qu'il s'appuyait là sur des organes beaucoup plus importants, fondamentaux, et qui sont en quelque sorte l'expression de toute la plante, qui doivent aboutir à la fructification et à la reproduction. Le progrès a donc été extrêmement considérable.

Linné a donc réparti la nature en "classes", en "ordres", en "familles" et en "espèces", les classes selon le nombre des étamines, les ordres selon la forme et la disposition du pistil, les familles selon le nombre, la forme et la position des différentes parties de la fleur. Il est arrivé ainsi à une classification beaucoup plus commode que celle de Tournefort. Elle n'a pas, naturellement, éliminé immédiatement celle de Tournefort, qui a été encore longtemps en usage, mais enfin elle était infiniment supérieure, et d'ailleurs elle continue, je crois, à être employée, tout au moins dans l'enseignement élémentaire, et tout au moins en Suède.

De même, Linné s'est efforcé de classer, un peu selon les mêmes motifs, les animaux, en six classes : les quadrupèdes, les oiseaux, les amphibies, les poissons, les insectes et les vers. Et il donne alors un certain nombre de définitions. "Quadrupèdes" : "Corps velu, quatre pattes, femelles enfantant des petits vivants, qu'elles allaitent". Vous voyez l'importance que prend ici un caractère sexuel. Et il avait raison, parce que c'est cela qui l'a amené plus tard à découvrir que la baleine n'était pas un poisson, mais un mammifère. - "Oiseaux" : "Corps emplumé, deux pattes, deux ailes, bec. Les femelles pondent des oeufs".

Ne sourions pas. Ce sont tout de même les genres, les classes et les familles de Linné qui sont devenus la base de la classification. On l'a beaucoup perfectionnée, mais enfin c'est tout de même lui qui a posé un certain nombre de principes.

Il attache une grande importance à la fixité de l'espèce : "Nous comptons, dit-il, autant d'espèces qu'il en a été créé dès le commencement. Les êtres individuels se multiplient par des oeufs, et chaque oeuf fournit un descendant, qui en tout est identique à ses parents". Cela exclut, vous le voyez, toute espèce de variation de l'espèce. L'espèce est absolument fixe. Linné est même allé jusqu'à exclure la possibilité que, de la semence d'une plante, il puisse naître une autre variété, ce qu'obtiennent couramment les jardiniers. C'est au début un partisan du fixisme intégral.

Linné a donc posé les bases de tout le travail de la systématique d'aujourd'hui. Néanmoins son système a quelque chose d'insuffisant. D'abord c'est, lui aussi, un système arbitraire. Le principe de classement reste un organe isolé, un caractère isolé. C'est un principe défectueux. Aussi les ordres de Linné restent-ils malgré tout des ordres artificiels. Par exemple, il met les rosiers dans trois ordres différents, le figuier dans le même ordre que l'ortie. En zoologie, dans l'ordre des "Ferae", il classe le tigre, le lion, la loutre, le veau marin, le chien, le hérisson, la taupe, et la chauve-souris ; dans l'ordre des "jumenta", le cheval, l'éléphant, l'hippopotame, la musaraigne et le cochon.

D'autre part Linné avait tout de même fini par s'apercevoir, et à peine son système était-il publié, que ce système était artificiel, qu'un système naturel de classification devrait utiliser l'ensemble de la plante. Et, après 1740 (et nous aurons l'occasion d'y revenir), Linné a essayé de perfectionner son système de classification, dans le sens d'une utilisation de l'ensemble des caractères de la plante. Et il y aurait là peut-être lieu d'étudier mieux qu'on ne l'a fait les rapports de Linné et d'Adanson, qui le premier a prôné les classifications naturelles. Mais c'est un problème sur lequel nous reviendrons.

Dès l'époque de Linné, d'ailleurs, des découvertes tendaient à mettre en cause la notion même d'espèce. La notion d'espèce implique qu'il y a des caractères tranchés. Or un certain nombre de découvertes, faites par des gens qui étaient de simples observateurs, tendaient à effacer les limites entre les espèces.

C'est d'abord, en 1727, la découverte du médecin marseillais Peyssonnel. Celui-ci observe le corail. On croyait jusqu'alors que les coraux étaient des végétaux, et Peyssonnel, après de multiples observations, conclut que ce sont des animaux, que le corail est un "insecte", qui produit, dit-il, "ce que l'on appelle le corail". Cela tendait donc à suggérer la continuité de la nature, idée qui est tout à fait contraire à celle des espèces, qui introduit, elle, au contraire une conception discontinue de la nature et des êtres vivants.

Plus importantes encore ont été les découvertes d'Abraham Trembley, de Genève, qui avait pris un goût considérable pour l'histoire naturelle grâce à la lecture des livres d'Antoine Ferchault, seigneur de Réaumur. Réaumur, dans ses "Mémoires pour servir à l'histoire des insectes", publiés de 1734 à 1742, avait joué un rôle

important, non seulement en apportant beaucoup de faits nouveaux, sur les chenilles processionnaires, les chenilles arpenteuses, les grillons, les cigales, etc..., mais surtout en prônant d'abord l'observation directe, en déclarant : Rejetons Aristote, rejetons Pline, allons voir nous-mêmes, et ayons le souci d'apporter du nouveau. - Il avait été aussi extrêmement important en déclarant : Ce qui nous intéresse, ce n'est pas seulement de connaître les espèces, mais de retrouver les papillons, par exemple, dans leur vie, d'étudier comment la chenille se nourrit, où elle loge, comment elle se transforme en papillon, comment le papillon se reproduit, comment il trouve un habitat propice à recevoir ses oeufs et à nourrir d'autres chenilles.

Vous le voyez, la conception de Réaumur n'était pas seulement la conception d'un observateur, mais aussi celle d'un observateur qui voulait retrouver la vie, le mouvement même de la vie, l'évolution même des êtres vivants, et faire une histoire qui serait la description des différents stades par lesquels passe l'être vivant. Aussi ses écrits ont-ils eu une influence extraordinaire. Et il a inspiré à Trembley l'idée d'observer. Et c'est alors que Trembley, en 1740, dans un bocal où il avait laissé des plantes aquatiques, aperçoit des espèces d'objets bizarres, verts, qui avaient des bras. Il s'aperçoit que les bras se rétractaient et s'allongeaient. Il secoue le bocal : rétraction violente des bras. Cela devenait intéressant, parce que ces mouvements suggéraient absolument l'animal, alors que l'on croyait avoir affaire à un végétal. Et vous savez qu'alors c'est là que Trembley a commencé, pour faire ses expériences, à couper ces animaux en morceaux, parce que, disait-il, s'ils se reproduisent ou s'ils se rétablissent, ce sont des végétaux. Seul le végétal se reproduit par bouture.

Au bout de deux ou trois jours, il voit en effet de petites saillies qui apparaissent. Puis, au bout de quelques jours, ce sont des espèces de bras normaux, et au bout de trois semaines à peu près l'animal était entièrement reconstitué. Trembley envoie alors cela à Réaumur, qui l'examine, et déclare : Il n'y a pas de doute, ce sont des animaux. Et, en 1741, il fait la première communication à l'Académie des Sciences sur ces hydres vertes, en les appelant "polypes". Bientôt Trembley voit les bras capturer des insectes et les porter à la bouche de l'hydre. C'était bien un animal.

Trembley continue alors la série de ses expériences. Il coupe une hydre par le milieu, elle se reconstitue intégralement. Il rapproche la queue de la tête, la queue et la tête se soudent. Par des incisions, il obtient des hydres à trois ou quatre têtes. Il retourne l'hydre, elle vit toujours : l'extérieur prend les fonctions de l'intérieur et inversement. Bref, des animaux extraordinaires, et qui ont absolument stupéfié le XVIIIe siècle. Réaumur disait : "J'ai beau multiplier cette expérience, chaque fois que je vois l'hydre se reconstituer après avoir été coupée en petits morceaux, c'est pour moi la même surprise".

Mais ce qui était le plus important, c'est que cela montrait que les règnes n'avaient pas non plus de limites tranchées. On croyait qu'il y avait une limite tranchée entre animaux et végétaux, et on s'apercevait qu'il y avait en somme des êtres intermédiaires. De sorte qu'avec le renforcement de l'idée de la continuité de la nature, l'idée même de l'espèce était attaquée. Et c'était la voie qui s'ouvrait à la théorie de l'évolution, dont vous connaissez le succès ensuite.

Nous en avons donc terminé avec les sciences, de 1715 à 1740, puisque votre programme ne comporte pas les sciences sociales. Je fais d'ailleurs toutes réserves là-dessus, parce qu'il n'y a absolument aucune différence de nature entre les sciences que nous venons d'étudier et les sciences sociales.

°
° °

LE PROGRES TECENIQUE, DE 1715 A 1740

Nous avons vu que le progrès scientifique n'est pas sorti du progrès technique, mais, inversement, les sciences ont eu extrêmement peu d'influence sur le progrès technique.

Le progrès technique est sorti de déséquilibres économiques. C'est ou bien la nécessité d'obtenir un produit moins cher, ou bien la nécessité de palier à la rareté d'une matière première (ce qui d'ailleurs posait le même problème : la matière première étant rare, elle devenait très chère), qui ont amené alors des gens qui n'étaient pas du tout des savants, mais des artisans, des maîtres de métier, parfois des pasteurs, ou des landlords, et quelquefois des hommes d'Etat, à s'occuper de recherches techniques, et à trouver des solutions, qui n'ont d'ailleurs été expliquées au point de vue scientifique que très tard généralement, et le plus souvent au XIXe siècle. Ceux qui ont fait des inventions ont tâtonné, et puis ils ont obtenu des résultats qu'ils ne s'expliquaient pas très bien, mais, comme cela rendait, ils ont continué.

Il y a une espèce de hiatus entre la science et les techniques.

Le progrès technique, dans la période que nous avons à examiner aujourd'hui, s'est surtout réalisé en Angleterre et en Ecosse. Et vous vous rappelez, je pense, tous, le tableau, d'ailleurs célèbre, que Mantoux nous donne de l'économie anglaise, au début du XVIIIe siècle, avant la "révolution industrielle", pour reprendre ses termes. Je vais vous rappeler brièvement ce tableau.

Tout d'abord Mantoux est d'avis que nous avons affaire à une économie qui est encore médiévale, une économie fermée, nous dit-il (avec tout ce qu'il faut apporter d'atténuations à ce mot de "fermée", qui représenterait tout au plus un cas limite), faute de bonnes communications intérieures. Il y a à ce moment-là en Angleterre beaucoup de cabotage, grâce au développement des côtes, au nombre des estuaires profonds, à la quantité des rades bien abritées, etc... beaucoup de routes, d'ailleurs peu praticables : des chaussées étroites, où souvent deux chevaux de bât peuvent à peine se croiser, et dont l'efficacité est diminuée par de profondes ornières, de sorte que parfois toute la route finit par s'enfoncer dans le sol, et lorsqu'il y a des pluies, ou des crues des rivières, ou de fortes marées, la route se transforme parfois, près des côtes, en rivière. Les forts attelages sont interdits : la plus grande quantité des transports se fait par animaux de bât, et la circulation est extrêmement coûteuse.

Il en résulte que l'économie anglaise, à cette époque-là, est une économie de marchés régionaux, à aire très étroite, dans lesquels les relations nationales se font encore ou bien par grandes foires périodiques (ce qui est un type, en effet, médiéval), ou bien par marchés régionaux et locaux, où l'on rencontre encore les marchands qui se déplacent en caravane, ou bien encore les petits colporteurs

individuels, avec leur mulet de bât, ou transportant eux-mêmes les produits sur leur dos.

De là une vie repliée, et une économie surtout agricole, où l'industrie est le plus souvent un complément.

L'économie agricole est fondée sur la culture avec l'"openfield", les champs ouverts et allongés, sur lesquels on fait une culture communautaire, et, où les paysans trouvent un supplément de ressources dans les "commonlands" : les landes, les bois, les broussailles, les pâturages maigres, où les petits propriétaires peuvent envoyer paître leurs bêtes, prendre du bois, pêcher, en proportion de ce qu'ils détiennent de terre dans l'openfield.

L'outillage est extrêmement mauvais. Les charrues sont des charrues à soc de bois, recouvert parfois d'une feuille de fer, quand on est à proximité d'un endroit grand producteur de fer, comme le Sussex. Les procédés sont médiocres. Le plus courant est l'assolement triennal, avec jachère ; première année : blé, orge ; deuxième année : pois, haricots ; troisième année : jachère. Les attelages sont mauvais, les bêtes peu nombreuses, car dans ce système agricole on manque toujours de pâturages, et, comme on ne connaît pas encore l'emploi des plantes fourragères, ni des racines - raves, navets, etc... - ce sont des bêtes petites, de poids médiocre, de force limitée, et qui ont un très mauvais rendement.

Enfin la culture en commun, nous dit Mantoux (idée qui n'est plus retenue actuellement), est une culture qui impose la routine, qui empêche le progrès, puisqu'il faut que tous les cultivateurs d'un même village cultivent la même chose en même temps, fassent la moisson ou la récolte en même temps, afin de laisser ensuite la terre ouverte pour la vaine-pâture.

Quant aux seigneurs grands propriétaires, ils se réservent alors un domaine, qu'ils donnent à ferme.

L'industrie est extrêmement dispersée. La laine est la principale industrie, la plus ancienne, la plus estimée aussi, puisque la matière première se trouve dans le pays, et que se la procurer ne nécessite aucune sortie de métal précieux. D'autre part, au contraire, l'exportation rapporte de l'or, ce qui, selon les idées mercantilistes, est la meilleure combinaison.

L'industrie se fait par le système domestique. Les industriels sont de nombreux petits entrepreneurs, à très petit capital, qui possèdent leur outillage, leur métier à tisser, qui achètent leur matière première, la transforment chez eux, avec leur femme, leurs enfants, parfois un ou deux compagnons, et qui vont eux-mêmes chercher leurs débouchés, qui se rendent eux-mêmes au marché voisin, et se chargent eux-mêmes de l'écoulement de la marchandise. Ce sont d'ailleurs des gens qui sont à moitié cultivateurs : ils ont quelques acres de terre, une ou deux vaches, et l'industrie est presque le complément de leurs cultures.

Dans l'industrie métallurgique, c'est la même chose. A Birmingham, par exemple, ce sont les ouvriers en boutique qui fabriquent toute la quantité d'objets qui donnent lieu à exportation. Et la grande exportation anglaise à destination des colonies, de l'Amérique ou des pays asiatiques, est alimentée par de petits ouvriers en boutique, qui travaillent de leurs mains, et alimentent eux-mêmes un marché mondial.

Il n'y a que dans quelques industries que l'on voit apparaître une forme d'entreprise qui est déjà une grande entreprise. Par exemple dans la production du fer. Car il y a déjà des hauts-fourneaux. Et, généralement, celui qui alimente le haut-fourneau, et qui dirige son travail, c'est un grand propriétaire, un landlord, qui trouve dans sa propriété tout ce qui est nécessaire : le charbon de bois, le fer, et le calcaire, qui est nécessaire pour la fabrication. Là, nous avons alors des formes de grande industrie, si vous voulez, mais ce sont des cas absolument exceptionnels. L'ensemble de l'industrie est une petite industrie, dans laquelle se produit l'intervention constante de l'Etat - affirmation qui serait également à réformer, car, depuis la Révolution de 1688, en fait, il n'y a plus d'intervention administrative de l'Etat dans la vie quotidienne de l'industrie en Angleterre.

C'est une économie, d'autre part, qui est déjà en voie de transformation, et cela à cause de l'essor du commerce.

D'une part, en agriculture, le phénomène des "enclôtures", qui est un phénomène déjà ancien (vous savez qu'au XVIe siècle les enclôtures étaient déjà très nombreuses), et qui semble s'être ralenti au XVIIe siècle, a repris au début du XVIIIe. Les propriétaires enclosent pour transformer les terres labourables en pâture, et produire alors de la laine pour l'industrie, ce qui est plus rémunérateur, puisqu'il suffit d'une ou deux personnes pour surveiller les troupeaux, là où il fallait, par exemple, soixante agriculteurs.

Dans l'industrie, d'autre part, il se produit ce qu'on appelle la concentration commerciale de l'industrie. Le mode de travail ne change pas, mais, maintenant, entre le consommateur et le producteur, il s'insinue un intermédiaire, le "marchand-fabricant" : c'est un personnage qui ne fabrique pas, mais qui se charge d'apporter la matière première, de donner le modèle du travail, et de reprendre le produit fabriqué. Et ce marchand-fabricant étend son action de plus en plus, puisqu'il a, lui, la possibilité de se procurer la matière première facilement, et il se charge de toutes les opérations de vente, ce qui décharge le petit producteur particulier de ces opérations qui lui prennent du temps, et lui permet ainsi de se consacrer uniquement à la production.

Maintenant, comme il y a des crises, ce petit producteur, à certains moments, est endetté, et il arrive que son métier devienne la propriété du marchand-fabricant. Le petit producteur, alors, ne devient plus qu'un salarié, qui n'a plus la disposition de ses moyens de production, et qui reçoit simplement un salaire pour ce qu'on lui apporte à transformer.

Dans certaines régions, aussi, pour bénéficier d'une main d'oeuvre extrêmement bon marché, vous savez que le marchand-fabricant apporte à des paysans le métier, et les transforme en ouvriers, qui sont uniquement des ouvriers salariés.

Cette première forme de concentration laisse une production dispersée, mais opère une concentration commerciale de l'industrie. Elle est déjà très répandue en Angleterre au début du XVIIIe siècle.

Voilà le tableau de Paul Mantoux. Disons tout de suite qu'il ne nous satisfait pas entièrement aujourd'hui. Et il ne peut pas nous satisfaire, puisque nous disposons maintenant des travaux de John U. NEF, qui a fait, vous le savez, un ouvrage en deux volumes, et qui l'a complété ensuite par plusieurs articles publiés dans différentes revues anglaises, américaines et françaises.

C'est lui qui a lancé l'idée de "première révolution industrielle d'Angleterre" dans la deuxième moitié du XVIe siècle et le début du XVIIe, la révolution industrielle d'Angleterre dont avait traité Mantoux pour le XVIIIe siècle n'étant pour lui que la deuxième révolution.

Cette idée de première révolution industrielle d'Angleterre est naturellement extrêmement discutée encore aujourd'hui. Il semble bien cependant, d'après les exemples qu'a rapportés Nef, qu'il y a eu déjà, en effet, non seulement une concentration capitaliste dans l'Angleterre de la deuxième moitié du XVIe siècle, mais déjà une concentration industrielle, et que certaines industries - les industries du fer, les industries minières d'une façon générale d'ailleurs, d'autres industries encore, comme celle du sel - ont déjà des caractères capitalistes, et des caractères de concentration industrielle. Et, si l'on compare les exemples rapportés par Nef à ceux rapportés par Mantoux au début de son livre, on a l'impression que le tableau de Mantoux est un tableau anachronique, qui ne répond pas à l'état réel des choses. Il n'y a pas lieu de supposer que Mantoux ait mal travaillé, mais on peut se demander ici s'il n'a pas été victime du point de vue auquel il se plaçait. Il comparait l'état des choses en Angleterre à l'état du XIXe siècle. Lui, c'était par rapport au XIXe siècle qu'il jugeait. De là, peut-être, l'impression qu'il a eue d'une économie encore médiévale. Tandis que si nous jugeons par rapport au XVIe siècle, nous aurions tendance à penser qu'au début du XVIIIe siècle l'économie anglaise était beaucoup moins médiévale que ne le pensait Mantoux, et il faudrait rectifier sensiblement son fameux tableau. L'on peut se demander aussi, s'il n'y aurait pas eu recul de l'industrie capitaliste anglaise dans la période 1660-1700, où la hausse des prix est remplacée dans l'ensemble par un palier.

Ce qui nous porte à penser à une industrie moderne, c'est le rapport que vient de faire un homme que vous connaissez déjà bien, T.H. ASHTON, dont a été traduit il n'y a pas très longtemps, chez Plon, un petit livre sur "La révolution industrielle en Angleterre."

Ashton a fait, pour le X° Congrès des Sciences Historiques, qui s'est tenu à Rome du 4 au 11 septembre 1955, un rapport sur l'industrie anglaise au XVIII° siècle. (Comitato Internazionale di scienze storiche. X Congresso Internazionale di scienze storiche - Relazioni, IV, storia moderna - G.C. Sansoni, Editore, Firenze.

Dans ce rapport, Ashton nous fait remarquer que le gros problème de l'industrie anglaise vers 1700, c'est avant tout le problème de la main d'oeuvre. L'Angleterre, qui avait alors, avec l'Ecosse, environ 6 millions d'habitants, manque de main d'oeuvre. Et c'est, pour Ahston, une cause essentielle de ce caractère de l'industrie anglaise qu'elle est déjà une industrie de transformation de produits déjà mis en oeuvre, que la matière première qu'elle reçoit a déjà subi une première transformation : c'est du fer en barre suédois, ou russe, ce sont des organsins (de la soie déjà filée et tordue) italiens, des fils de chanvre et de lin de la Baltique, c'est-à-dire des produits qui ont déjà reçu une première préparation. Et vous savez que pendant longtemps on s'est dit : c'est parce que l'Angleterre commence à manquer de matières premières pour son industrie, étant donné la nature de ses productions agricoles et ses capacités. Or, d'après ce rapport d'Ashton, ce serait avant tout une question de main d'oeuvre. Il s'agirait de réduire le coût de la production, parce qu'on n'a pas assez de main d'oeuvre en Angleterre.

Mais si l'on manque de main d'oeuvre, et si cette industrie anglaise consiste déjà à transformer en produits finis des produits déjà élaborés, vous voyez qu'il s'agit d'une industrie qui se rapporte à un type d'évolution déjà très avancé, et que par conséquent le tableau de Mantoux sur la caractère médiéval de l'économie britannique à cette époque nous inspire des doutes de plus en plus grands. Il y aurait lieu de reprendre cette question de très près.

En tout cas il y a une chose sur laquelle tout le monde est d'accord, c'est qu'à partir de ces premières années du XVIII° siècle l'économie britannique s'est transformée rapidement, et qu'il y a eu des progrès techniques considérables.

Quelles ont été les causes du changement ?

D'abord, l'essor commercial de l'Angleterre après les traités d'Utrecht, qui ont instauré la prédominance, coloniale et maritime, de l'Angleterre dans le monde.

La transformation de l'économie a été favorisée par ce commerce qui n'a pas cessé de s'accroître. Et il faut ici insister particulièrement sur le traité Methuen, de 1703, qui a ouvert le Portugal et le Brésil aux produits anglais (quant à l'"Asiento" et au "vaisseau de permission", ils ont eu surtout une grande importance politique ; je ne sais pas si leur importance économique est aussi évidente). D'autre part, le commerce anglais est favorisé également par la paix intérieure qui s'est installée après la Révolution de 1688. Il est favorisé aussi par la liberté. Le pouvoir législatif, en effet, est maintenant aux mains d'une bourgeoisie commerçante, ou de landlords, qui ont des intérêts que nous qualifierons de bour-

geois, et ceux-ci font une législation qui favorise l'activité libre des industriels. Par ailleurs, il n'y a plus de Conseil Privé, ni de Chambre Etoilée, il n'y a plus cette intervention quotidienne des juges de paix et du Conseil du Roi pour fixer les salaires, les heures de travail, empêcher l'exploitation des ouvriers par les patrons, etc... Le patron est entièrement libre, l'entrepreneur capitaliste est libre de son action. Et ceci a favorisé, vous le savez aussi, l'établissement de la Banque d'Angleterre, qui peut faire des prêts considérables aux commerçants, après avoir été instituée essentiellement pour faire des prêts à Guillaume III dans la lutte contre la France.

Ce développement du commerce extérieur, précisons-le par quelques chiffres.

Voici tout d'abord le tonnage des vaisseaux de commerce qui ont quitté l'Angleterre, à différentes périodes, d'après les registres des Douanes :

en 1700	317.000	tonnes
1715	448.000	-
1737	503.000	-
1740	471.000	-

Si le chiffre de 1740 est plus bas que celui de 1737, c'est parce que, depuis 1738, la guerre coloniale a repris avec l'Espagne, et que le commerce, tout naturellement, en souffre quelque peu. Mais vous voyez que jusqu'à cette guerre il y a un progrès constant du tonnage des vaisseaux qui sortent des ports anglais.

Voyons maintenant, alors, les importations et les exportations anglaises pendant cette période :

Dates	Importations (en millions de livres-sterling)	Exportations
1700	4	
1710		7
1715	6	7 1/2
1725	7	11
1730		12
1750	8	

Vous voyez qu'il y a un essor constant du commerce, et une balance commerciale sans cesse plus favorable. Il y a donc les possibilités d'une capitalisation croissante. Il y a en Angleterre un afflux de capitaux, extrêmement favorable à ce commerce.

Enfin, dans la même période, Ashton a eu raison d'insister sur la baisse du taux de l'intérêt. C'est là, en effet, un fait capital, sans lequel il n'y aurait probablement pas eu de révolution industrielle d'Angleterre.

Le taux légal était de 10 °/°, et, en 1651, le taux usuel, était encore de 6 °/°. Mais, en 1714, le taux de l'intérêt est de 5 °/°, en 1727 de 4 °/°, et en 1757 de 3 °/°. Il reflète la baisse

du taux de l'intérêt réel dans l'industrie privée. Ainsi, les associés de la firme des maîtres de forges du Worcestershire, E.D.W.-KNIGHT and Cy, reçoivent chacun 5°/° sur les bénéfices non distribués, et réinvestis, d'ailleurs, jusqu'à l'année 1720 ; vers 1720, cet intérêt a passé à 4°/°, vers 1756 à 3°/° seulement. Par conséquent l'évolution du taux officiel a reflété celle du taux habituel des capitaux.

Or ceci est un fait extrêmement important, parce que vous voyez toutes les possibilités que cela donne à l'entrepreneur capitaliste. L'intérêt ayant diminué de moitié entre 1661 et le milieu du siècle, c'est exactement comme si le capital anglais disponible pour l'industrie avait doublé. Et il faut mettre cette baisse du taux de l'intérêt à côté des bénéfices laissés par le commerce et de la capitalisation pour expliquer l'essor économique de l'Angleterre.

Une autre raison du changement, dont nous avons à parler, parce que cela doit nous servir toute l'année, c'est la prédominance de l'esprit mercantile.

Ce qui domine, en Angleterre, dans les classes industrielles et commerçantes, c'est l'esprit puritain. Et l'esprit puritain avait reçu sa marque d'une interprétation du calvinisme. Calvin lui-même, vous le savez, reprend, au point de vue économique, la théorie des scolastiques, qui est la théorie chrétienne, qui nous est inspirée par l'épître de Saint-Paul à Timothée : pourvu que nous ayons la nourriture et le vêtement, nous n'avons besoin de rien d'autre ; gagner juste ce qui est suffisant pour entretenir le corps, et faire que la vie soit une vie sous le regard de Dieu et avec Dieu, cela, c'est la véritable vie chrétienne. Sur ce point, Calvin ne change absolument rien. Mais une différence est sortie d'un autre aspect de la théorie de Calvin.

Pour Calvin, tout homme reçoit un appel de Dieu ; il a une vocation. Or la vocation commerçante est tout aussi bien une vocation, un appel de Dieu, que la vocation du moine, par exemple. Celui qui est véritablement chrétien, c'est celui qui répond à cet appel de Dieu. Et si Dieu lui a donné le goût du commerce, et la capacité d'être un bon commerçant, il sera un bon chrétien, s'il est véritablement un bon commerçant. Et plus il deviendra bon commerçant, meilleur chrétien il sera.

Mais qu'est-ce qui est la marque qu'on est un bon commerçant, ou un bon industriel ? Evidemment, c'est qu'on fait des bénéfices, qu'on gagne de l'argent, et qu'on s'enrichit. Et alors, bien contre la pensée de Calvin, une bonne partie des puritains, en Angleterre, en sont arrivés à une véritable inversion du christianisme : alors que l'idéal chrétien est un idéal de pauvreté, pour le puritain d'Angleterre l'idéal chrétien, c'est la richesse. On doit servir à la fois Dieu et Mammon, bien que l'Evangile l'interdise absolument. Et plus on gagne de l'argent, plus on sert Mammon, plus on sert Dieu en même temps. C'est la conséquence logique de la doctrine de Calvin, tout au moins c'est une des conséquences logiques qu'on en a tirées.

Il en est donc résulté, chez la plupart des puritains, et chez ceux qui formaient le noyau de l'élément commerçant et bourgeois en Angleterre, une véritable inversion de toute la doctrine. Et alors que, dans l'idéal chrétien, la fortune était considérée comme un service social, pour les puritains c'est l'inverse : on a la propriété pour soi, et on doit s'en servir pour soi. L'intérêt personnel, l'intérêt individuel, devient la règle de la vie. Et plus on sert cet intérêt individuel, plus on est dans le plan de Dieu. Cela avait été là, d'ailleurs, la grande cause des révolutions de 1640 et de 1688, surtout de celle de 1640 : les puritains se sont débarrassés du roi, et aussi de l'Eglise établie, parce que les Stuart absolutistes appliquaient la doctrine traditionnelle, celle de la propriété service social, et voulaient limiter les bénéfices des producteurs, les enclôtures, et tout ce qui nuisait au petit peuple ; ils en étaient encore à l'idée de la société hiérarchisée, dans laquelle chacun a une fonction pour le bien de la société, et non pas pour son bien propre. Les puritains, eux, voulaient une propriété délivrée de toutes entraves, et un entrepreneur capitaliste absolument libre de son action.

Voilà l'état d'esprit qui est prédominant. Et, au XVIIIe siècle, il ne cesse de s'amplifier, et de remporter des succès. Au point que l'Eglise, anglicane, qui reflète en quelque manière la société civile (comme d'ailleurs, en France, l'Eglise catholique), a adopté la philosophie sociale prédominante chez les puritains. Et l'on s'aperçoit, au début du XVIIIe siècle, que dans les sermons des prédicateurs il n'y a absolument plus rien sur l'opposition qui peut exister entre le capitalisme, le commerce, et la doctrine chrétienne. Cela disparaît. De même, devant les tribunaux ecclésiastiques, on ne trouve plus d'usuriers, ni d'accapareurs, condamnés, parce que ce serait mettre une entrave, à l'activité des accapareurs. Et l'on voit des ecclésiastiques en renom, comme par exemple le doyen Tucker, s'écrier, en 1714 : "Le commerce national, une bonne morale, et un bon gouvernement, ne sont qu'une partie d'un plan général dans les desseins de la Providence". Il est vrai qu'on disait de ce Tucker que la religion était son commerce, et le commerce sa religion, mais il y avait plus d'un révérend comme lui en Angleterre à cette époque-là. Un théologien écossais, resté dans la tradition presbytérienne et calviniste, disait d'ailleurs, en 1709 : "Notre commerce a pris la place de la religion".

Et ceci est important, parce que tous ceux qui ont étudié la technique anglaise, et le développement des industries anglaises, notamment, bien entendu, Ashton, ont remarqué que les plus éminents des maîtres de forges étaient des puritains. Et ce nouvel état d'esprit nous explique que quelques-uns des meilleurs esprits, et en tout cas des gens animés d'une volonté de fer, dans leurs entreprises, parce qu'ils croyaient par là répondre à l'appel de Dieu, et gagner le paradis, ont dirigé l'essentiel de leur force, et ont consacré l'essentiel de leur intelligence à développer le commerce. Or les découvertes techniques dont nous avons à parler ont précisément pour but de faciliter le commerce, de supprimer tout ce qui nuisait au commerce, et particulièrement les prix de revient élevés,

qui pouvaient ralentir ce commerce. Il y a là une liaison directe entre l'esprit commercial et l'essor de la technique.

Enfin il nous faut dire un mot de l'influence du mécanisme, et de l'esprit newtonien, sur le développement de la technique.

Ce qui nous frappe, nous Européens, quand nous raisonnons avec les habitudes que nous avons prises, c'est le peu d'influence directe des sciences sur la technique. Et vous verrez en effet tout au long que les découvertes scientifiques proprement dites n'ont pas eu d'action sur la technique avant le dernier tiers du XVIIIe siècle. C'est là une chose qui saute aux yeux.

Mais si nous comparons avec les autres continents, avec le continent asiatique par exemple, ou avec le continent africain, il y a tout de même une chose qui nous frappe, c'est que les inventeurs dont nous avons à parler, qui étaient des gens très frustes, se servaient tout de même d'un peu d'arithmétique et de géométrie, pour trouver leurs nouveaux systèmes. Et ils appliquaient tous les procédés du raisonnement expérimental, ou, si vous voulez, l'esprit positif, dans leurs recherches, et dans leurs découvertes. Or, si cela nous semble tout naturel, ce l'est beaucoup moins que nous ne le croyons. On en prend conscience si l'on voit, par exemple, les ouvriers de l'Inde. Dans les pays d'Europe, depuis déjà longtemps, pour faire une paire de chaussures, le cordonnier prend des mesures. Le cordonnier indien n'en fait rien : il prend le pied de son client dans sa main ; il prend donc la notion qualitative d'un volume, et ensuite il fait la chaussure, qui d'ailleurs va à peu près, mais va tout de même, parce qu'il a beaucoup d'expérience. Mais vous voyez la différence des états d'esprit : d'un côté, quelqu'un qui a un état d'esprit qualitatif, de l'autre côté quelqu'un qui mesure, qui a déjà l'esprit quantitatif.

Et nous sommes amenés, je pense, à cette conclusion que si la science n'a pas agi directement, tout au moins ce qu'on pourrait appeler l'esprit scientifique du cartésianisme, et du newtonianisme, l'esprit du Mécanisme, a dû avoir tout de même une espèce d'influence diffuse sur l'ensemble des Européens, et contribuer par là au développement de la technique.

Remarquez d'ailleurs qu'en principe l'esprit du mécanisme est un esprit d'ingénieur. De quoi s'agit-il dans le Mécanisme ? Il s'agit toujours, pour expliquer un certain nombre de faits, de bâtir une petite machine. Les tourbillons cartésiens, c'est cela : on construit une machine, pour rendre compte des mouvements des astres. De sorte qu'en principe l'esprit des mécanistes est l'esprit même de l'ingénieur. - Je ne sais pas si dans la pratique et dans le détail nous trouverions beaucoup de liaison, mais on doit tout de même remarquer qu'il y a là un esprit commun, qui a pu très bien ne pas être sans influence.

Voilà l'ensemble des raisons que l'on peut trouver au changement dans l'économie anglaise. Et maintenant passons à cette économie même, et aux progrès techniques en eux-mêmes.

Le sens général de ces progrès techniques, quel est-il ? Là-dessus, nous trouvons des remarques, extrêmement pertinentes, dans un livre que j'invite à lire tous ceux d'entre vous qui savent l'anglais. C'est le livre de A. et Nan. L. Clow, intitulé "The chemical revolution", qui a paru à Londres en 1952. C'est un livre de premier ordre, rempli d'une masse de renseignements sur les techniques des industries qui ont une liaison avec les industries chimiques, que vous ne trouverez nulle part ailleurs.

Le sens général, c'est le passage d'une économie fondée sur l'eau et sur le bois à une économie fondée sur le charbon, et sur le fer. Et Clow a repris ici les formules données dans un livre célèbre sur l'histoire de la technique et de la civilisation, un livre de Lewis Mumford, dans lequel Mumford distingue trois âges : l'âge "éotechnique", qui est celui de l'économie fondée sur l'eau et sur le bois ; l'âge "paléotechnique", qui est celui de l'économie fondée sur le charbon et sur le fer, et l'âge "néotechnique", qui est celui où nous sommes aujourd'hui, celui de l'économie fondée sur l'électricité et les alliages.

Je dois vous dire que cette classification ne me satisfait pas beaucoup, parce que son âge éotechnique comporte en réalité au moins dix ou douze âges différents, qu'il nous fait disparaître dans sa classification. Mais enfin nous pourrons la retenir pour préciser un peu les idées. Et ce qui est certain c'est que du XVIe, en effet, au XIXe siècle, nous assistons à cela : un passage progressif d'une économie fondée sur le bois à une économie fondée essentiellement sur le charbon.

Encore en 1715, en Angleterre, le bois sert à tout. Il fournit la potasse, pour les industries textiles. Il fournit le combustible, pour toutes les industries sans exception. Il fournit le goudron, pour tout ce qui est navires. Il fournit également la potasse qui est nécessaire pour l'industrie du verre. Il sert encore au tannage, dans certains cas, et ainsi de suite. Et nous avons là une économie qui est en état de déséquilibre, parce qu'elle est bien fondée sur le bois, mais il y a maintenant en Angleterre une famine du bois, famine qui vient de ce que l'Angleterre est, vous le savez, un pays qui est très mal doué pour la forêt, de par son climat, mais qui vient, en outre, de la véritable dévastation des forêts anglaises, d'abord sous la République d'Angleterre, qui avait concédé aux particuliers des autorisations d'exploiter sans nombre (on cite le cas d'un particulier qui, dans le Nottinghamshire, a reçu l'autorisation d'abattre, pour son usage personnel, 28.000 troncs d'arbre), et puis à l'époque du duc d'York, le futur Jacques II, qui au moment où il commandait la marine anglaise avait fait des coupes désastreuses dans la forêt anglaise, pour faire construire des vaisseaux. De sorte qu'au début du XVIIIe siècle il y a en Angleterre un problème du bois d'une extrême gravité, qui met en cause tout le développement industriel de l'Angleterre.

D'autre part nous avons, dans la période que nous allons étudier, le passage d'une économie fondée sur l'exploitation des produits végétaux et animaux à une économie fondée sur l'exploitation des produits minéraux.

On se servait des produits animaux d'une façon dont nous avons peu idée aujourd'hui. Ainsi, par exemple, pour le blanchîment, au lieu de se servir de soude, on se servait de lait aigre. Et le développement de l'industrie textile, précisément, a posé le problème des détergents. L'agriculture n'a pas suffi à produire ce qu'il fallait, et c'est quand on a réussi à passer du sel à la soude qu'on a pu développer l'industrie textile, qui à un moment donné s'est trouvée paralysée parce qu'on manquait de produits pour le blanchîment. Et le travail du XVIIIe siècle a consisté dans une utilisation croissante des produits minéraux.

Enfin, le dernier sens, cela a été dans l'alourdissement, si je puis dire, de l'industrie anglaise. On a cherché au cours du XVIIIe siècle à transformer de plus en plus, en Angleterre, des matières premières que l'on acquérait autrefois à demi-transformées dans les pays étrangers. C'est un cas que nous retrouvons, par exemple, avec les fils : l'Angleterre s'est mise à filer elle-même beaucoup de matières premières qu'elle achetait autrefois filées aux pays étrangers, ceci en vue d'économiser la main d'oeuvre, et probablement aussi, en vue d'économiser les transports.

Quant au rythme de cette transformation, vous savez que la révolution industrielle d'Angleterre avait été divisée en somme, par Mantoux en deux périodes. Il y aurait eu la période 1715-1763, dans laquelle il y aurait eu une évolution lente, des perfectionnements certainement, mais enfin cela aurait été assez lentement. Et puis alors, à partir de 1763 et du traité de Paris, à partir du moment où l'Angleterre aurait vu le Canada, l'Inde, s'ouvrir à son action, ç'aurait été la montée en flèche. Or le rapport d'Ashton, qui utilise toute une série de travaux faits dans les dix dernières années par les historiens de l'économie anglaise, met en doute ce rythme. Ashton fait remarquer que les historiens anglais admettent maintenant beaucoup plus de continuité dans le mouvement séculaire des inventions. Pour eux, la montée en flèche après 1763 serait moins marquée, et les progrès auraient été plus considérables qu'on ne le pense avant 1763. Et si l'on veut absolument parler de révolution, disent-ils, il faudrait aller après 1783, parce que c'est à ce moment-là que les inventions de Watt, d'Arkwright, produisent véritablement leurs effets, et que leurs machines sont véritablement employées. Il y aurait donc un mouvement séculaire, beaucoup plus progressif, beaucoup plus uniforme, qu'on ne l'aurait cru.

Dans le détail, il paraît que les historiens de l'économie anglaise sont extrêmement frappés par le caractère discontinu des progrès. A chaque instant, le mouvement de perfectionnement de la technique anglaise serait interrompu, soit par des crises agricoles, soit par des ruptures cycliques dans le mouvement des prix. De sorte que si nous avons un mouvement séculaire beaucoup plus uniforme, si l'on voulait tout expliquer dans le détail, il faudrait tenir compte bien davantage d'interruptions ou de ralentissements, produits par

la conjoncture économique. Mais je n'ai pas les moyens d'entrer dans ce détail.

Commençons par voir les transformations produites dans l'industrie du fer.

Vous savez que le fer est une industrie en déclin en Angleterre au début du XVIIIe siècle. En 1720, on compterait, d'après les évaluations, 60 hauts-fourneaux, produisant environ 17.000 tonnes de fonte par an (à titre de comparaison, en 1913, l'Angleterre produisait 10.425.000 tonnes de fonte). C'est une industrie extrêmement dispersée, et qui se trouve surtout dans des régions forestières, puisque le charbon de bois est la condition essentielle de cette industrie.

Le nombre des entreprises est en réduction lente, et des régions qui avaient été des régions grandes productrices depuis l'époque romaine à peu près, comme la Forest of Dean, étaient à peu près abandonnées, entre 1720 et 1730, plus par manque de bois que par manque de minerai, bien que, dans la Forest of Dean, l'épuisement des gîtes soit également à mettre en cause.

On manquait de matière première, et l'on devait donc importer du fer en barre : fer suédois, ou fer russe. Les industries de Birmingham et de Sheffield ne pouvaient plus être ravitaillées à bas prix. Le prix de la matière première commençait à devenir prohibitif, et à gêner l'exportation des objets fabriqués en fer, en Europe, et dans les pays d'Outre-Océan. Par conséquent il fallait utiliser le charbon.

Le charbon était déjà employé sur une grande échelle pour les forges, mais on ne pouvait pas l'employer pour la fonte du minerai, parce que le soufre du charbon détériorait les minerais. Il donnait un saumon de fer cassant, et à peu près inutilisable. De là toute une série de manipulations, qui ont été faites absolument au hasard. Nous savons, nous, que c'est le soufre qui rendait le fer cassant, mais les gens de l'époque n'en savaient rien. Ils se sont simplement aperçus que le charbon cru que l'on mettait avec le fer donnait de mauvais résultats, alors ils ont tâtonné, pour voir ce qui en donnerait de meilleurs. Et l'idée de cuire le charbon, l'idée de le transformer en coke, est une idée très ancienne, puisque déjà en 1612 un Anglais reçoit des lettres patentes pour l'utilisation d'une méthode de fabrication du coke.

Cela n'a pas donné de résultats pratiques, et c'est seulement au début du XVIIIe siècle que la famille des Darby, une famille de quakers, a trouvé le procédé. C'est Abraham Darby Ier, qui a vécu de 1677 à 1717, qui, dans sa fabrique de Coalbrook-Dale, a le premier réussi d'une façon pratique, en 1709, la transformation du charbon en coke. Et le premier il a réussi l'utilisation pratique. Vous savez aujourd'hui à quoi on attribue son succès : c'est que le coke donne d'abord une plus haute température de combustion, parce que la chaleur n'est pas absorbée par les nuages de vapeur dégagés par le charbon en combustion ; dans le coke, il n'y a pratiquement plus de

fumée. Et d'autre part, alors, les produits sulfureux ont disparu en vapeur. Mais cela, c'est l'explication trouvée au XIXe siècle. Darby n'en savait rien du tout ; il a constaté seulement qu'il réussissait, alors il a continué.

D'autre part, un hasard heureux l'a servi. Il avait une rivière assez forte, qui lui a permis de faire une soufflerie très puissante, grâce à quoi il a pu produire un fer fluide, au lieu de fer pâteux que l'on produisait le plus souvent, et ce fer fluide était beaucoup plus facile à travailler, et donc beaucoup plus avantageux.

Son fils, Abraham Darby II, qui a vécu de 1711 à 1763, est réputé avoir trouvé le procédé d'ajouter de la chaux au minerai, de façon à obtenir un "fondant", qui enlevait les impuretés que le minerai pouvait encore contenir.

Grâce aux procédés employés par les Darby, les hauts-fourneaux à charbon de bois, de 12 à 18 pieds de haut, ont fait place à des hauts-fourneaux à coke, de 40, 50, et 60 pieds.

A partir de ce moment-là, au cours du XVIIIe siècle, nous assistons à une évolution progressive des entreprises depuis le bois jusqu'au charbon, en Angleterre comme en Ecosse, dont les charbons se prêtaient très bien à la cokéification. Mais ce mouvement, s'il est continu, est lent. Encore au début du XIXe siècle, on se servait encore de charbon de bois. C'est seulement à partir de 1830 qu'on a cessé complètement d'utiliser le charbon de bois, en Angleterre, pour la fabrication de la fonte.

Comment procédait-on, à Coalbrook Dale ? De la façon suivante : on empilait le charbon en tas de 12 à 15 pieds de diamètre, et de 2 pieds de haut. On mettait le gros charbon en bas, de façon à faciliter les courants d'air. On ouvrait quatre ou cinq ouvertures du côté du vent dominant, et puis on mettait au-dessus du charbon plus petit, et puis de la poudre de charbon, et on mettait le feu. Le tas de charbon finissait, au bout de quelque temps, par former une masse compacte, il perdait son bitume et enfin n'émettait plus de fumée et prenait une couleur rouge-blanc. A ce moment-là, on se hâtait de recouvrir tout le tas de cendres, et l'on attendait que le feu eût complètement cessé.

Vous voyez que c'est un procédé absolument empirique, qui rappelle la fabrication du charbon de bois. C'est le procédé qui a duré pendant les deux premiers tiers du XVIIIe siècle. C'est seulement dans le dernier tiers qu'on a pensé à faire l'opération dans des fours d'un type spécial.

LE PROGRES DES TECHNIQUES

DANS LES INDUSTRIES TEXTILES ET DANS LES INDUSTRIES CHIMIQUES

Pour les textiles, il nous faut tout d'abord parler des progrès réalisés dans la filature de la soie.

Londres, au début du XVIIIe siècle, a déjà, dans le faubourg de Spitfield , des industries de la soie assez importantes, qui ont été développées par des huguenots français réfugiés. Mais cette industrie était handicapée par le haut prix de la soie filée : la soie filée, les "organsins", venaient presque tous d'Italie, et le prix de cette matière première qui était déjà élaborée rendait prohibitif le prix du tissu de soie.

Les Italiens ont des machines qui leur permettent de transformer la soie grège en organsins assez facilement, et, en 1716, l'Anglais John Lombe, qui est allé en Italie dans l'intention de surprendre le secret de la fabrication, trouve le secret de la machine à filer. Il le rapporte en Angleterre, et, en 1719, il installe, dans la ville de Derby, une fabrique, avec ses machines.

Sur la machine elle-même, nous n'avons pas de renseignements très précis. On suppose que c'est une succession de bobines sur lesquelles le fil passe, bobines animées d'une vitesse de rotation de plus en plus grande.

Ce qui a frappé la plupart des observateurs, c'est que cette industrie, pour la première fois, a été une industrie de fabriques. Lombe avait établi à Derby un bâtiment de 500 pieds de long, qui avait, dit-on, cinq étages, et, plus de 500 fenêtres. Le travail à l'intérieur de cette fabrique était automatique : tout se faisait à l'aide de machines mues par la force de l'eau. Et il y avait plus de 300 ouvriers. Le tout a fait une énorme impression sur les contemporains. Non seulement cela permettait d'avoir le fil à meilleur compte, mais on gagnait également sur les manutentions et les transports de fil. Ce qui rendait l'élaboration des matières premières extrêmement couteuse, en Angleterre, à cette époque-la, c'est le fait qu'on avait affaire à une industrie concentrée commercialement, mais dispersée, au point de vue technique, chez une quantité de petits fabricants. Il faut alors porter la matière première à ces fabricants, il faut aller rechercher le produit fabriqué. Il y a là une série de déplacements, et de manutentions, qui finissent par être onéreux. Et l'une des raisons qui, au cours du XVIIe siècle, a fait passer de l'atelier dispersé à la fabrique, c'est précisément cette recherche d'économie de la main d'oeuvre et des transports.

Les transformations qui nous intéressent ensuite, ce sont celles qui se sont produites dans l'industrie de la laine, dont la principale est tout d'abord l'invention de la "navette volante" de John Kay.

Cette "navette volante", un certain nombre d'auteurs en rattachent l'invention aux nécessités de l'industrie du coton. C'est là une erreur. C'est d'abord à cause des nécessités de l'industrie de

la laine que la navette volante a été inventée. Et, là-dessus, le meilleur livre dans lequel vous puissiez trouver des renseignements, c'est toujours le livre, déjà vieux, de Lipson, qui date de 1921, mais qui reste encore le meilleur ouvrage en ce qui concerne les perfectionnements techniques : "The Woollen and Worsted Industries", London, 1921, in 8°.

Il nous faut voir tout d'abord comment était fait le tissu, selon les habitudes traditionnelles.

Tout d'abord, lorsqu'un fabricant de tissu s'était procuré la laine, il s'agissait de la laver et de la trier. La laine arrive en effet très mélangée, laines longues et laines courtes, qui ne conviennent pas pour les mêmes sortes de tissu, laines souvent d'ailleurs abimées par la marque que l'on imprimait sur les moutons, et par l'opération qui consistait à goudronner les moutons, pour les empêcher d'attraper toutes sortes de maladies.

On commençait donc par épurer la laine, en la mettant dans de grands paniers, que l'on couchait dans un cours d'eau. Le courant d'eau se chargeait déjà d'enlever une quantité d'impuretés. Ensuite la laine était triée : on enlevait ce qui était endommagé. Et cela coûtait souvent d'ailleurs plus de 1/15 du poids total de la laine que l'on avait mise à nettoyer. Et puis on séparait les fibres courtes et les fibres longues. Les fibres courtes servaient à faire les tissus dits "cardés", et c'est cela que l'on désigne par la "Wollen Industry". Quant aux fibres longues, elles servent au contraire à faire les tissus dits "peignés", et c'est cela qui désigne, dans les ouvrages anglais que vous pouvez utiliser, la "Worsted Industry".

Les fibres courtes étaient cardées. Vous savez ce que c'est que le cardage : on mettait la laine entre deux espèces d'énormes brosses à tête, qui avaient environ 60 centimètres de diamètre, et qui étaient hérissées d'espèces d'énormes clous. Après quoi il n'y avait plus qu'à mouvoir une brosse sur l'autre, et l'on épurait ainsi les fibres, on les démêlait, ce qui était l'essentiel, on les nettoyait, on les assouplissait, suffisamment.

Quant à la laine longue, elle était "peignée", c'est-à-dire soumise à l'action d'une espèce de grand outil en bois, qui avait la forme d'un T, et chaque barre transversale du T était munie de trois rangée de clous en acier doux, extrêmement fins. Ensuite, on procédait sur les fibres longues à la même opération, consistant à les démêler. Mais, à la différence du cardage, l'opération se faisait au-dessus d'un feu de charbon de bois, pour amollir et pour détendre davantage la laine que l'on peignait. C'était une opération évidemment extrêmement malsaine, à cause des dégagements de gaz carbonique. Les ouvriers en souffraient beaucoup. Les ouvriers peigneurs de la laine longue avaient la réputation d'être extrêmement pâles, décharnés, et de ne pas vivre au-delà de cinquante ans.

La laine suffisamment peignée et cardée était ensuite filée. Vous savez qu'il y avait deux façons de procéder à la filature de la laine :

1°) On filait la laine toujours suivant le mode ancien, au fuseau. Ne croyez pas que cette façon de préparer la laine ait disparu au XVIIIe siècle. Elle était en effet extrêmement commode. Une quantité de bergers, en gardant leur troupeau, pouvaient utiliser leur temps à préparer du fil. De sorte que même jusque la fin du XVIIIe siècle, et même jusqu'au XIXe siècle, on trouve, dans toutes les régions pastorales anglaises, des gens qui filaient de cette façon-là.

2°) Mais il y avait une façon plus productive, qui s'était répandue depuis le XIIIe siècle, c'était la filature au rouet. Le rouet, que l'on tournait encore à la main au début du XVIIIe siècle en Angleterre, permettait d'aller deux fois plus vite qu'au fuseau, et par conséquent de diminuer d'environ deux fois le prix de revient.

Dès cette époque, d'ailleurs, la filature ne va pas assez vite pour le tissage. Le filateur est toujours en retard sur le tisserand. Et on le voit surtout l'été, parce que beaucoup de ces filateurs avaient une activité agricole, et l'été, au moment de la moisson, ils ne filaient plus. Il n'était pas rare de voir, l'été, des tisserands passer leur temps à courir les villages pour tâcher de se procurer le fil dont ils avaient besoin, et qui était devenu extrêmement rare. L'industrie était freinée déjà par le retard de la filature sur le tissage.

Comment se faisait le tissage ? Vous savez que le métier à tisser se compose tout d'abord d'une espèce de cylindre en bois, sur lequel on enroule, avant le début de l'opération, les fils qui vont constituer la "chaîne", c'est-à-dire ceux qui vont être disposés dans la longueur du tissu. Le tisserand les fait passer sur ce cylindre, qui s'appelle l'"ensouple". Les fils passent ensuite sur un cadre de bois, et l'opération, très délicate, consiste à bien tendre le fil sur ce cadre. Le fil passe ainsi sur le cadre, et il vient ensuite s'enrouler sur un autre rouleau, qui s'appelle l'"ensoupleau", et qui va recevoir l'étoffe, une fois tissée. Et vous savez que l'opération du tissage consiste alors à entrelacer, avec la série des fils qui composent la chaîne, une série de fils qu'on va faire passer transversalement, et qui vont constituer la "trame". Pour qu'il y ait tissage, il faut faire passer le fil de la trame alternativement par-dessus et par-dessous les fils de la chaîne.

Comment obtenir ce résultat ? On l'obtient au moyen de deux cadres, verticaux qui sont placés sous les fils de la chaîne, et qui sont disposés de façon que, si nous soulevons un des cadres, il va soulever la moitié des fils de la chaîne, mais un sur deux des fils de la chaîne, par exemple tous les fils impairs, et, si nous soulevons ensuite le second cadre, il va soulever tous les fils pairs de la chaîne. Ces deux cadres sont reliés par deux pédales, que meut le tisserand. Quand le tisserand appuie sur une pédale, le cadre qui soulève les fils impairs de la chaîne se lève, et, en se levant, il soulève tous les fils impairs. A ce moment, le tisserand a à la main la "navette". C'est un petit morceau de bois, avec deux pointes, évidé à l'intérieur, et muni au centre d'une espèce de petite bobine, sur laquelle est enroulé le fil de la trame, qui sort par un petit trou pratiqué à l'arrière de la navette. Le tisserand fait alors

passer sa navette, de façon qu'elle passe sur tous les fils de la chaîne qui sont restés abaissés, et au-dessous de tous les fils impairs qui ont été soulevés par le cadre.

Le fil est ainsi déposé. La navette, poussée par la main du tisserand, arrive à l'autre bout. Le tisserand prend alors une espèce de latte de bois, munie de dents, et il l'applique sur la chaîne, il la tire vers lui, de façon à ramener le fil de la trame qu'il vient de passer en contact avec les autres fils de la trame qui ont déjà été passés. Il appuie alors sur l'autre pédale, le cadre de bois des fils impairs s'abaisse, le cadre de bois des fils pairs se lève, et il recommence à passer sa navette, et ainsi de suite, par un mouvement des deux cadres, qui fait qu'automatiquement, alors, le fil se trouve passer alternativement entre les fils de la chaîne, comme il convient pour que le tissu soit fait. Voilà le procédé.

Quel est l'inconvénient de ce procédé (dont les inventeurs sont des anonymes, mais parmi les grands bienfaiteurs de l'humanité) ? C'est que le tisserand est limité par la longueur de ses deux bras. Il est d'ailleurs obligé de travailler dans une position absolument épuisante. Il est courbé sur son métier, passant sa navette et la rattrapant de l'autre côté pour la repasser en sens inverse, et en même temps il manoeuvre ses deux pédales. C'est une position dans laquelle les muscles travaillent dans une situation anormale, et avec une tension anormale des reins, et qui épuisait très rapidement le tisserand. Mais surtout, au point de vue économique, on ne peut pas faire une pièce large. Elle est étroite même à la largeur des deux mains, parce que, au foulage, elle va perdre la moitié de sa largeur. Et si l'on veut faire une pièce plus large, ce qui était souvent demandé par la clientèle, il fallait que le tisserand ait un aide, pour rattraper la navette, l'amener jusqu'au bout de la largeur de la pièce, et la renvoyer. Cela faisait double salaire, et cela augmentait par conséquent le prix de revient, d'une façon désastreuse. Et c'est cette question, la difficulté d'écouler les pièces de drap, qui devenaient trop chères pour la clientèle, et la difficulté, d'autre part, que si l'on fabriquait des pièces pas trop chères, elles étaient trop étroites, qui a inspiré John Kay.

Pour en finir avec les opérations traditionnelles, la pièce, une fois tissée, va au "foulage". On la foule, dans de l'eau, c'est-à-dire qu'on la pétrit fortement, soit avec les mains, soit avec les pieds, soit avec des marteaux en bois, pour faire un tissu plus homogène, où il n'y ait pas de vides, comme il en reste quand la pièce vient d'être tissée. Le travail du foulon avait pour résultat de faire une étoffe plus épaisse, plus chaude, plus homogène, moins facile à traverser par la pluie, et plus résistante aussi.

Le foulage à la main et au pied se pratiquait encore en Angleterre au XVIIIe siècle, et il s'est pratiqué encore dans la deuxième moitié du XVIIIe siècle et même dans la première moitié du XIXe en Ecosse. De nombreux voyageurs nous décrivent une scène où vingt Ecossaises, assises l'une en face de l'autre, sont en train de fouler une pièce de tissu, en chantant de vieilles légendes du terroir.

Mais de plus en plus, depuis le XIVe siècle, on avait vu se répandre en Europe le "moulin à fouler". Ce moulin à fouler était composé de grands marteaux en bois, au bout d'une espèce de poutre, et qui étaient mus par un arbre à came. L'arbre à came tourne lentement, sous l'impulsion d'une roue de moulin, qui est mue par un cours d'eau. En passant sur la partie proéminente, l'arbre est soulevé. Dans l'autre position, l'arbre retombe, dans une cuve, où se trouvent les pièces de drap, dans de l'eau. Le gros marteau de bois retombe ainsi périodiquement sur ces draps, et les foule.

L'inconvénient du système, c'est qu'il donne des draps beaucoup moins fins que le travail au pied ou à la main, mais il économise considérablement la main d'oeuvre, et il permettait de diminuer de plus de moitié le prix de revient des draps. Le foulage fait souvent perdre à la pièce la moitié de la largeur et un tiers de la longueur.

Ensuite, quand le drap est convenablement foulé, commencent les opérations du blanchiment et de la teinture, dont nous parlerons plus loin.

Il y a donc une difficulté : il faut arriver à faire des draps de la largeur demandée, sans que le prix de revient augmente. C'est cette difficulté qu'a résolue John Kay.

John Kay n'est pas un savant. Comme tous ces inventeurs, c'est un simple praticien. C'était le fils d'un fabricant de drap, et dans la maison de son père, à Colchester, il avait travaillé pendant de longues années, avant de devenir directeur de l'entreprise paternelle. Et c'est en 1703, à l'âge de vingt-neuf ans, qu'il trouve la navette, qu'on a appelée plus tard la "navette volante".

L'idée de John Kay est extrêmement simple. Je vous ai parlé de la latte, cette pièce de bois que ramène vers lui le tisserand, pour coller le fil de trame qu'il vient de passer contre les autres fils de trame déjà en place,c'est-à-dire, en somme, contre la partie de la pièce d'étoffe qui est déjà faite. John Kay a eu l'idée de munir cette latte de deux espèces de pistes, pour la navette. Et il a muni la navette de quatre petites roues. La navette a été accrochée à une corde, et cette corde a été reliée à un levier, que manoeuvrait le tisserand.

Que fait alors le tisserand ? Il pose la latte au contact des fils de la trame déjà en place, autrement dit au contact du tissu que l'on fabrique. Il pose la navette volante sur la piste qui est adjointe à la latte, il donne un coup sec avec son levier : le levier tire la corde, celle-ci tire la navette volante. Comme la navette est montée sur des roues bien huilées, elle part à toute vitesse, elle parcourt toute la piste de la latte, elle arrive à l'autre extrémité, elle repart en sens inverse, et ainsi de suite. Il n'y a plus qu'à donner des coups de levier, pour entretenir le mouvement. Et le tisserand, alors, n'a plus qu'à manoeuvrer ses pédales, de façon à lever et à abaisser alternativement les fils pairs de la chaîne et les fils impairs, suivant le passage de la navette.

Il y a donc là deux avantages. D'une part, comme le tisserand n'a plus à passer la navette à la main, en se courbant sur son métier, on peut augmenter la largeur des pièces, dans des proportions très sensibles. Et d'autre part la navette volante va beaucoup plus vite que la navette ordinaire. On augmente donc ainsi la rapidité du travail, et par conséquent la productivité de l'ouvrier. En outre on n'a plus besoin d'un aide, ce qui réduit les frais de salaires. On peut donc faire des pièces d'étoffe de la largeur convenable, pour le goût de la clientèle, sans que le prix de revient en soit trop élevé. On obtient donc par là, vous le voyez, des avantages économiques qui sont de première importance.

Nous nous extasions aujourd'hui devant la navette volante de John Kay. C'est vraiment très bien trouvé. Mais, à l'époque, elle a été extrêmement mal accueillie. Elle a d'abord été très mal accueillie par les tisserands, ce qui nous paraît surprenant, puisque cela leur permettait d'augmenter leur productivité, donc leurs gains, et cela leur permettait aussi, maintenant, de travailler en position droite, donc avec beaucoup moins de fatigue et de risques de maladie. Nous pensons qu'ils auraient dû être enthousiasmés. Seulement ils ont eu peur que la machine nouvelle ne les privât de travail. C'est toujours l'accueil qui est fait aux inventeurs. Or ils calculaient mal, puisque, en fait, grâce en partie à la navette volante, les débouchés ont tellement augmenté que non seulement aucun des tisserands déjà installés n'a perdu de travail, mais que même les aides, dont ils n'avaient plus besoin, ont retrouvé eux-mêmes du travail, mais comme tisserands désormais - le travail devenant d'ailleurs plus facile avec la navette volante qu'avec l'ancienne navette. - Mais ils ont été frappés de crainte, et John Kay a été obligé de quitter Colchester, de peur d'être assommé, et il s'est rendu à Leeds.

A Leeds, les fabricants, eux, ont bien compris l'avantage de la navette volante. Mais John Kay est alors tombé sur un autre inconvénient : les fabricants n'ont pas voulu lui verser les droits qu'ils auraient dû acquitter, puisque John Kay avait fait patenter son invention et avait pris un monopole. Il leur a intenté des procès, il les a gagnés, mais il n'est arrivé pratiquement à rien. Il a fait appel au Parlement d'Angleterre, en soulignant les services qu'il avait rendus à son pays. Le Parlement ne lui a pas répondu. Et finalement John Kay, inlassable, a inventé un nouveau modèle de machine à filer, parce que, de plus en plus, on manquait de fil, à cause de son système de tissage.

Mais lorsqu'on a appris qu'il avait inventé une nouvelle machine, la foule a mis sa maison sens-dessus-dessous, et, pour sauver sa vie et celle de sa famille, il a été contraint de se réfugier en France, où il est mort obscurément. On n'a jamais pu retrouver la tombe de John Kay.

La navette volante avait été créée, vous le voyez, uniquement pour répondre à un déséquilibre économique. Or, comme il arrive le plus souvent aux inventions, et comme, en tout cas, il est arrivé à toutes celles du XVIIIe siècle, elle a créé elle-même un nouveau

déséquilibre économique. On manquait déjà de fils. Comme maintenant les tisserands vont deux ou trois fois plus vite, on en manque encore davantage. Et le filateur devient l'exploiteur du tisserand. Les bergers qui filaient en surveillant leurs troupeaux, ou les petits filateurs en chambre, se donnaient le mot pour augmenter les prix d'une façon excessive, et quand, dans un canton, on annonçait que deux ou trois acheteurs arrivaient, la nouvelle volait, et instantanément les prix montaient du tiers ou de moitié partout. Les tisserands se plaignaient beaucoup. Il est évident, d'autre part, que cette augmentation du prix du fil, due à sa rareté relative, risquait d'annuler la découverte de John Kay.

Outre l'invention de John Kay, il y a lieu aussi d'incriminer, pour cette pénurie du fil, la machine à tricoter.

Vous savez que la machine à tricoter, notamment à tricoter les bas, à cette époque, est d'invention déjà ancienne. C'est le pasteur Lee qui l'a inventée, en 1586. A la date où nous sommes arrivés, elle avait déjà reçu un perfectionnement, à l'époque de la Restauration anglaise, après 1660, nous ne savons pas exactement à quel moment. Jusqu'à 1660, il faut un homme pour la mouvoir pendant que l'ouvrier tricote. A partir de 1660, un perfectionnement, que nous connaissons mal, a eu pour résultat que désormais un seul ouvrier a suffi pour la machine, ce qui a abaissé sensiblement le prix de revient.

Aussi la machine à tricoter les bas a-t-elle eu un grand succès. En 1692, les Anglais exportaient encore 8.000 douzaines de bas par an en France. Après cela il y a eu la guerre et la fermeture du marché français, mais grâce au traité Methuen et à l'ouverture du marché portugais, les Anglais en exportaient plus de 20.000 par an, à la fin de la guerre de Succession d'Espagne. C'était donc une industrie extrêmement prospère.

Elle n'a pas cessé de prospérer au cours du XVIIIe siècle. Et probablement parce qu'elle a émigré. Au début du XVIIIe siècle, elle est concentrée à Londres. Dans le cours du XVIIIe siècle, elle émigre dans la région de Nottingham. Et vous avez là-dessus un livre tout à fait remarquable à tous égards, c'est celui de Chambers, paru en 1931, qui est un des meilleurs livres sur toutes les questions sociales et économiques dont nous avons à traiter.

Pourquoi cette émigration ? Vraisemblablement parce que les salaires, dans la région de Nottingham, étaient beaucoup moins élevés que dans la région de Londres, et qu'il y avait un avantage considérable, pour les producteurs, à mettre leurs machines dans cette région.

Or la machine, à ce moment-là, a trouvé d'autre part, vers 1730, un nouveau débouché, grâce à la mode des bas de coton, qui a été pour elle un stimulant. Et puis d'autre part il y a l'installation de la grande filature de soie dont je vous ai parlé, qui, en rendant la soie accessible à meilleur marché, a facilité l'extension de la mode des bas de soie. Et cela a été un nouveau débouché pour le travail de la machine à tricoter.

C'est probablement à ce moment-là que la machine reçoit différents perfectionnements, dont je vous avouerai que je ne connais que les noms. Il s'agit de l'invention du "peigne" et de celle du "refouleur". En tout cas il y a des perfectionnements, au point que tout autour des villages où il y avait des machines, et autour de la ville de Nottingham, il se crée des industries d'artisans spécialistes, pour fabriquer les pièces de la machine, et réparer les machines. Une nouvelle industrie naît autour de cette machine à tricoter.

La machine à tricoter se procurait bien son fil de soie facilement, grâce à la grande fabrique de Lombe, mais pour le coton, et pour la laine surtout, là aussi, plus l'industrie se développait, plus le manque de fil se faisait sentir. Et c'est ce qui alors a déterminé les efforts de deux hommes, dont l'un était le descendant d'un réfugié français, Lewis Paul. Il a trouvé les procédés d'une machine à filer. Il a d'ailleurs trouvé déjà les principes de la machine d'Arkwright, c'est-à-dire faire passer les fils successivement sur des cylindres, puis sur des bobines, avec une torsion entre chaque cylindre et chaque bobine (d'ailleurs on connaît mal le procédé par lequel il obtenait la torsion). C'est lui aussi qui a trouvé le procédé suivant lequel on fait tourner les bobines de plus en plus vite. Et c'est lui qui a su faire les calculs sur la résistance du fil, pour obtenir la vitesse convenable de chacune de ces bobines. Donc tous les procédés de base ont été trouvés par lui.

Il s'est associé alors avec un mécanicien anglais, nommé John Wyatt, qui, lui, a su trouver des perfectionnements de détail, et surtout lui a apporté des capitaux pour mettre dans l'entreprise.

En 1738, ils ont installé leurs machines à Birmingham. Et leur entreprise a fonctionné jusqu'en 1743. Elle s'est terminée par un échec, échec que nous comprenons mal. On a supposé que leur machine, tout en ayant les mêmes principes que la machine d'Arkwright, qui a eu un grand succès plus tard, était moins bien mise au point dans le détail, et que cela a causé des pertes de matière première, qui ne leur ont pas permis de couvrir leurs frais. Il est possible aussi, comme Mantoux le suggère, que, bien qu'on ait senti à ce moment-là le besoin d'une grande production de fil, les besoins du marché aient été tout de même moins impérieux qu'ils ne l'ont été une vingtaine d'années plus tard, et cela expliquerait leur insuccès. En tout cas, en 1743, on retombe dans la situation précédente : le déséquilibre entre le filateur et le tisserand.

Il faut aussi parler du développement de la technique du coton. Vous savez que les cotonnades se répandent. C'est une fureur de coton imprimé. Et le coton commence à faire une concurrence à la laine, qui passait pour l'industrie fondamentale de l'Angleterre, puisqu'on avait sous la main la matière première, ou la plus grande partie de la matière première. De sorte que, sur la demande des tisserands, le Parlement interdit la fabrication des étoffes imprimées, en 1726. Néanmoins il ne peut pas interdire la fabrication de toutes les étoffes de coton. Et puis finalement il admet un moyen terme : en 1735, sont exemptées de la prohibition les étoffes "moitié coton, moitié lin", parce que le fil de lin était tout de même, en partie

tout au moins, une production nationale. Et, à partir de 1735, l'industrie du coton prend un grand essor. Elle a augmenté d'ailleurs le succès de la navette volante de John Kay. Sans elle, il est possible que l'industrie du coton n'ait pas connu le grand essor qu'elle a connu par la suite. Seulement, j'y insiste, parce qu'il y a des confusions dans plusieurs ouvrages, la navette volante a été créée pour les besoins de l'industrie de la laine. Et c'est seulement ensuite qu'elle a servi au coton en même temps.

Nous venons d'étudier deux des opérations essentielles de l'industrie textile. Mais cette industrie ne comporte pas seulement la filature et le tissage, elle comporte également le blanchiment, et la teinture, qui lui sont aussi indispensable que les autres opérations. Et vous ne vous étonnerez pas que l'accroissement général de la production dû à ces perfectionnements mécaniques ait posé pour l'Angleterre une très grave question d'industrie chimique, que nous allons maintenant examiner, à son tour.

L'essor des industries textiles a posé la question des détergents. Voilà une étoffe qui sort du métier : il est naturellement absolument impossible de la livrer ainsi à la consommation. Il faut la nettoyer, et la teindre. Il y a donc deux opérations : le blanchiment, et la teinture.

Comment se fait, tout d'abord, le blanchiment ? Dans une première opération, on trempe l'étoffe qui vient de chez le tisserand, pendant neuf heures, dans de l'eau, pour faire gonfler la fibre, et pour qu'elle soit bien imprégnée d'humidité. Après cela, on la met bouillir avec des cendres, parce que dans les cendres on trouve la potasse, qui est essentielle pour dégraisser l'étoffe. Si en effet on laisse à l'étoffe la graisse qu'elle contient, quand on va mettre ensuite la couleur, la graisse va jouer le rôle de mordant, c'est-à-dire qu'elle va former avec la teinture des composés chimiques, qui vont donner, par places, une teinte plus poussée ou plus brillante. Il faut donc dégraisser l'étoffe. Mais cela pose immédiatement un problème très grave, celui du bois. On en manque. De sorte qu'on va essayer de chercher toute espèce de cendres : cendres de ronces, cendres d'églantier, cendres d'algues, qui donnent une espèce de soude, tout à fait excellente. Enfin, vous le voyez, cela pose un problème de ravitaillement en matières premières.

On fait donc bouillir la pièce de tissu avec les cendres, et ensuite on l'étend, pendant trois ou quatre jours, sur l'herbe. Cela aussi, cela pose tout un problème, parce que, autour des endroits où l'on tissait les étoffes, il fallait disposer de prairies gigantesques, pour étendre les étoffes à blanchir. Et il n'était pas rare qu'autour des villes qui étaient des centres d'industrie textile on pût voir, sur des kilomètres, des champs couverts de ces étoffes. On immobilisait ainsi des champs pour la culture, et pourtant on n'en avait pas trop, à une époque où l'habitude de la jachère était une habitude universelle.

Après ce séchage, on passait à nouveau l'étoffe à l'eau, puis on répétait l'opération à plusieurs reprises, afin de bien enlever la couleur naturelle de la fibre.

Ensuite commençait une deuxième série d'opérations. On mettait l'étoffe dans du petit-lait, parce que l'acide que contient le petit lait permettait d'enlever, par solution, le reste des substances organiques qui auraient échappé aux premiers lavages, et qui auraient pu jouer le rôle de mordant, dans la fixation des couleurs. On laissait pendant quarante-huit heures l'étoffe dans le petit-lait, et puis on la relavait. On répétait l'opération deux ou trois fois, et l'on finissait par avoir une étoffe que l'on pouvait envoyer maintenant au teinturier.

Mais cette utilisation du petit-lait posait également toute une question agricole, parce qu'il fallait avoir pour cela une production laitière intense. Il y avait des agriculteurs qui élevaient des bêtes uniquement pour fournir du petit-lait aux manufactures de blanchiment (étant entendu que la manufacture n'est pas un bâtiment, mais l'ensemble des gens qui travaillent à un métier donné). D'autre part il y avait un certain nombre de blanchisseurs qui possédaient des vaches. On en cite qui élevaient une trentaine de vaches, uniquement pour avoir la matière première nécessaire à leur industrie. En somme, ils réalisaient ainsi un début d'intégration verticale.

Tout ceci nous pose donc, vous le voyez, une très grave question : c'est celle des détergents. Et là on aurait bien voulu avoir des moyens de se procurer facilement la potasse. Or ces moyens, on ne les trouve pas.

La potasse dont on pouvait disposer venait, autrefois, du bois. De plus en plus on essaie d'en trouver au moyen des algues. Et il y a tout un commerce qui s'est établi : on va chercher des algues en Irlande, en Ecosse, aux Nouvelles-Hébrides, pour arriver, en les brûlant, à en extraire la potasse.

Ces opérations de blanchiment nécessitaient d'ailleurs l'emploi du savon. Or précisément, faute de moyens commodes d'avoir de la potasse, le savon devient infiniment trop cher. Et on n'en produit pas en quantité suffisante. De sorte que vers 1740, par manque de potasse et par manque de savon, l'industrie textile est freinée. Elle pourrait produire beaucoup plus, si l'on pouvait faire beaucoup plus de blanchiment. Mais comme on n'a pas les moyens de faire le blanchiment en quantité suffisante, on réduit la production des textiles.

Pouvait-on trouver une solution ? Il y en aurait eu une, qui aurait consisté à traiter le sel, par l'acide sulfurique, afin d'en extraire la soude. Et l'on aurait eu là le détergent de base dont on avait besoin.

Le sel, on le produisait à ce moment-là en quantité suffisante. Tout le long de la côte d'Ecosse, et dans plusieurs régions d'Angleterre, notamment du côté de Newcastle, là où l'on trouve du charbon en assez grande quantité, il y avait, au bord de la mer, des cuves, profondes d'un pied environ, larges d'une dizaine de pieds et longues d'une quinzaine de pieds, dans lesquelles on mettait de l'eau de mer, pour en extraire le sel. On procédait par évaporation. On commençait par faire chauffer l'eau, pendant assez longtemps, pour la faire

vaporer, puis, lorsqu'on avait bien chauffé, et que le mélange
ait suffisamment réduit, on ajoutait du sang de boeuf ou bien du
anc d'oeuf. Et vous voyez là encore un appel de l'industrie à
'agriculture. On était obligé de faire un élevage spécial pour les
esoins de l'industrie du sel. - L'albumine du sang de boeuf ou du
anc d'oeuf coagulait à la chaleur, et elle ramenait à la surface de
cuve à sel, sous forme d'une épaisse croûte, une partie des impure-
és que contenait le sel. On enlevait cela avec une espèce de grande
ouche, et l'on recommençait l'opération à plusieurs reprises.

En quatre jours et demi, on arrivait, par ce moyen, à produire
ne quantité de sel suffisante. En outre, en Angleterre, on utilisait
certain nombre de sources salées, dans les mêmes conditions, par
vaporation. Et puis, il y avait quelques mines de sel gemme.

Par conséquent on avait le sel en quantité suffisante. Sel
'ailleurs très employé, puisqu'à ce moment-là on avait l'habitude de
'utiliser non seulement pour l'industrie du fer, pour l'industrie de
a poterie, où il sert à faire des vernis, mais également comme
ngrais pour l'agriculture - ce qui était une hérésie. Et l'on avait
ne très forte production de sel.

Seulement, pour passer du sel à la soude, on ne savait pas
omment procéder. On tâtonnait. On s'était tout de même engagé dans
a bonne voie : traiter le sel par l'acide sulfurique. Mais l'acide
ulfurique, on ne l'obtenait pas encore en quantités commerciales.
l était d'un prix de revient trop élevé pour qu'on pût l'employer à
raiter le sel, afin d'en tirer la soude.

On utilisait, pour obtenir l'acide sulfurique, le procédé qui
st contenu dans le Traité de Chimie du Français Lefebvre. Pour cela,
n brûlait du soufre, et l'on traitait ce soufre par le nitre, ce
ui permettait d'obtenir l'acide sulfurique, mais d'une façon plus
apide et plus économique qu'avec le procédé traditionnel qui consis-
ait à l'obtenir par oxydation atmosphérique des pyrites de fer, ce
ui était extrêmement long.

Le procédé de Lefebvre est connu déjà en Angleterre au début
u XVIIIe siècle, parce que l'acide sulfurique était déjà utilisé
our la fabrication du papier, pour celle des chapeaux, pour la
annerie, pour les boutons, pour l'étain et pour le cuivre. Mais on
e l'obtenait encore qu'en petites quantités, par conséquent à un
rix beaucoup trop élevé pour pouvoir l'employer au traitement du
el qui aurait été convenable.

Le procédé a été introduit en Angleterre, semble-t-il, par
'Anglais Josuah Ward. Il aurait établi une fabrique à Twickenham,
côté de Londres, en 1736, et une autre à Richmond, en 1740. Et il
commencé à développer assez sensiblement la production, puisqu'il
rrivait à expédier cet acide sulfurique en bonbonnes de verre, de
0 gallons (le gallon a une capacité d'environ 4 litres 54). Dès
ette époque, il réussit à réduire le prix de l'acide sulfurique de
shilling 6 pence à 2 shillings 6 pence par livre. Seulement tout

de même, malgré cette réduction du prix, il ne parvient pas à l'abaisser suffisamment pour que l'on puisse s'attacher au véritable problème, qui aurait été le passage du sel à la soude. Et l'industrie textile reste encore freinée, à cette époque, par l'insuffisance de la production de l'acide sulfurique.

Quant à la question de la teinture, c'est une question extrêmement complexe. Pour teindre, en effet, il faut bien des opérations. Il faut soumettre d'abord l'étoffe à l'action de toute une série de "mordants", dont le principal est l'alun. - Rappelons qu'un mordant est essentiellement un produit qui a pour rôle de permettre à la couleur de pénétrer dans la fibre. Si on plonge une étoffe dans la teinture sans utiliser un mordant, la teinture recouvre l'étoffe, mais elle ne pénètre pas dedans, si bien qu'elle est irrégulière, elle est faible, et elle n'est pas durable. D'autre part elle n'est pas brillante, or, au début du XVIIIe siècle, les Anglais s'étaient pris d'une véritable passion pour les étoffes brillantes, comme pouvaient en livrer, par exemple, les fabricants indiens. Par conséquent il fallait absolument employer des mordants. Avec le mordant, on obtient à la fois une teinte durable, beaucoup plus forte, et l'on peut obtenir, dans certaines conditions, le brillant, qu'autrement on n'obtient pas. Sans mordant, une teinture est toujours terne.

Quel était le mordant le plus employé ? C'était surtout l'alun. L'alun a une composition variable. C'est essentiellement un groupe de sels métalliques, qui ont la propriété de former des complexes insolubles avec les molécules organiques des teintures végétales que l'on employait. Cet alun, on le fabriquait généralement, à ce moment-là, avec des pierres qui étaient à base d'alumine, des algues, qui fournissaient la potasse, et de l'urine de bestiaux, qui était nécessaire pour fournir les acides dont on manquait. - Large recours, vous le voyez, aux produits organiques.

Avec ces mordants, on parvenait alors à fixer les teintures. Au début du XVIIIe siècle, on teignait déjà les tissus en noir, en employant des encres, des cuivres, et de la limaille d'acier. On obtenait la couleur rouge en se servant du bois de Brésil, de la garance, de la cochenille, et aussi du safran, et du chêne kermès. On obtenait le jaune par la gaude, longtemps cultivée dans le Languedoc, le genêt, le safran d'Inde. Le bleu était fourni par le pastel (qui est une plante européenne, encore cultivée au XVIIIe siècle) et l'indigo.

Seulement toutes les teintures que l'on obtenait étaient des teintures beaucoup trop faibles pour le goût anglais. C'est ce qui a donné à certains fabricants l'idée de faire des recherches. Et nous devons à cette période-là l'invention du "bleu de Prusse", qui est un bleu extrêmement vif et extrêmement soutenu. L'invention est due à un teinturier de Berlin, appelé Diesbach. Il a découvert le produit, d'ailleurs tout à fait accidentellement, en 1704. Et c'est en 1724 qu'il a publié sa formule.

Les formules du bleu de Prusse, il y en a plusieurs. On n'est pas arrivé tout de suite à trouver la meilleure. Celle de Diesbach, dont on se servait dans la période que nous étudions, consistait à calciner d'abord de l'alun, à y ajouter du "vitriol vert", c'est-à-dire du sulfate de fer, à mettre ensuite un alcali, obtenu par dissolution de cendres d'algue, à ajouter enfin du sang de boeuf, et puis de la viande. Par ce mélange, on obtenait alors cette belle teinture bleue, brillante, qui plaisait à la clientèle. Et l'invention du bleu de Prusse est un des grands phénomènes économiques de ce temps.

C'est également à cette époque-là que l'on commence à faire des calicots imprimés de grandes fleurs, non sans d'ailleurs de très grandes difficultés, car on n'a pas le procédé indien, et l'on a mis très longtemps à le retrouver. Pour pouvoir imprimer les premiers calicots, il faut employer le procédé suivant : on trempe l'étoffe pendant vingt-quatre heures. Puis, on la fait bouillir avec un alcali, faible. Après cela, l'étoffe est lavée et blanchie, elle est calendrée, on la traite avec un mordant de gomme arabique et de farine, qui est appliqué avec des blocs de bois. Ensuite on fait sécher, puis on ajoute de la bouse de vache, pour enlever l'excès de mordant et faire briller la couleur. Puis on lave à nouveau, on fait bouillir avec de la garance, on procède au blanchîment, suivant la technique que je vous ai décrite, et puis alors on imprime, avec des blocs de bois, qui mettent la couleur définitive. Après lavage, séchage, etc..., l'étoffe est enfin prête à livrer.

Vous voyez la multiplicité des opérations nécessaires, et le prix auquel revenaient fatalement les premiers tissus imprimés. D'autant plus que les cotons ont la propriété de très mal fixer la couleur : ils contiennent toujours des déchets organiques, qui donnent de l'irrégularité à la couleur que l'on applique. Et il fallait, pour le coton, beaucoup plus de blanchîment et beaucoup plus d'usage de mordants que pour la laine, ce qui augmentait les prix.

Voilà la réaction de l'industrie textile sur l'industrie chimique.

Naturellement, à chaque pas, ce que nous rencontrons, c'est l'utilisation de produits fournis par l'agriculture. De sorte que maintenant cela pose la question de savoir si cet essor industriel, dans les textiles et dans les produits chimiques, n'a pas eu une influence sur la technique agricole, question que nous examinerons dans notre prochaine leçon.

° ° °

LE PROGRES TECHNIQUE, DE 1715 A 1740

La technique agricole de 1715 à 1740

Naturellement, il est extrêmement tentant d'opérer une liaison logique entre les progrès de la technique industrielle et les progrès de la technique agricole. Nous avons vu comment se sont développées les industries textiles, et les industries chimiques du blanchiment et de la teinture, qui étaient liées au développement de celles-ci, et, comme ces industries textiles et chimiques font appel à une grande quantité de matières premières d'origine végétale, nous sommes tout naturellement portés à nous dire : les transformations de la technique agricole que nous constatons dans la même période sont dues à l'essor de ces industries textiles et de ces industries chimiques. La liaison s'opère tout à fait automatiquement, dans notre esprit.

Le malheur, c'est que la chose n'est pas aussi claire quand on va voir de près. Car, par exemple, c'est en 1701 qu'un des plus réputés découvreurs de la période en matière de technique agricole, Jethro Tull, a inventé son fameux semoir, qui est une des parties essentielles de son système. Et quant aux pratiquants de ce qu'on a appelé le "Système du Norfolk", qui est un type d'exploitation nouveau, c'est dès les dernières années du XVIIe siècle, et probablement vers 1696-1697, qu'ils ont commencé de pratiquer leur système dans le Norfolk (système qui d'ailleurs était probablement une adaptation de procédés hollandais). De sorte que les dates ne nous permettent pas, vous le voyez, d'établir une simple liaison de cause à effet entre l'essor des textiles et des produits chimiques et l'essor de l'agriculture.

Il est vraisemblable que l'essor des industries textiles et des industries chimiques a contribué à accroître l'ampleur des phénomènes, et à propager les techniques. Mais ces techniques elles-mêmes, ces rénovations techniques de l'agriculture, qu'est-ce qui les a provoquées ? Actuellement, je ne puis vous donner de réponse. Cela nous inciterait à croire, comme je vous le disais, je crois, dans une leçon précédente, que Paul Mantoux a exagéré l'archaïsme de l'économie anglaise au début du XVIIIe siècle, et qu'il s'était déjà produit en Angleterre, dans la deuxième moitié du XVIIe siècle, des transformations industrielles capables de stimuler les transformations agricoles. Seulement c'est une simple hypothèse. Et je ne connais pas de livre qui puisse nous donner de renseignements sur cet aspect de la question. Il n'y aurait d'ailleurs rien d'impossible à ce que, contrairement à ce que je vous dis, toutes les rénovations aient commencé par l'agriculture, pour des raisons qui m'échappent.

L'agriculture britannique, au début du XVIIIe siècle, en tout cas, est, dans l'ensemble, l'agriculture de l'"openfield". Je ne vous la décrirai pas, parce que vous la connaissez suffisamment. Mais il y a un autre type de culture, très répandu en Irlande, en Ecosse, et dans les parties les moins fertiles de l'Angleterre, dans le Nord et dans l'Ouest du pays, dont il faut que je vous dise quelques mots, parce qu'il est moins connu. C'est le système qui repose sur la division du sol entre l'"infield" et l'"outfield".

L'"infield", c'est la partie des terres la plus proche de l'agglomération, et qui se compose de plusieurs parcelles, assez groupées. Sur ces parcelles, on met de l'engrais - c'est d'ailleurs la seule partie de l'exploitation qui en reçoit - ce qui donne une terre qui se distingue au premier coup d'oeil : une terre noire, et qui est onctueuse au toucher, à cause de la quantité d'excréments et de débris que l'on a mis à pourrir dedans. Cette terre reçoit d'ailleurs des engrais assez rarement, de notre point de vue. Et, lorsqu'on a mis engrais et fumures, on fait quatre récoltes successives, sans ajouter rien d'autre. Par conséquent, pendant au moins deux ans - puisqu'on cultive successivement orge, avoine, pois et haricots - et parfois quatre ans, on a des cultures qui épuisent peu à peu l'engrais que l'on a mis. Au bout de cette série de cultures, les parcelles retournent à la jachère, et l'on passe au reste du terrain.

Quant à l'"outfield", qui comprend les quatre-cinquièmes de l'exploitation, les terres les plus éloignées, il ne reçoit, au fond, jamais d'engrais. On cultive tout de même des parcelles de cet outfield, mais, quand on est sur une parcelle, on la cultive sans arrêt, jusqu'à épuisement complet. Si elle produit pendant dix ans, on la cultive pendant dix ans. Et puis, quand vraiment elle ne rend plus que la semence que l'on y met, on l'abandonne, pour passer à une autre parcelle, et on la laisse pendant dix, vingt, trente ans, sans culture, jusqu'à ce qu'elle soit régénérée.

Vous voyez à quoi correspond ce système : il correspond à un manque d'hommes, manque de main d'oeuvre, manque de bras, à un manque de capitaux aussi, qui obligent à concentrer les efforts du paysan, et le peu de capital dont il dispose, sur une portion du sol extrêmement réduite.

Le système, évidemment, est d'un rendement médiocre. Et nous avons plusieurs hommes qui se sont attachés à l'améliorer. Mais alors ici il faut faire une distinction fondamentale. Dans bien des livres, cependant très sérieux, vous verrez confondre le système de Jethro Tull et le Système du Norfolk. Ce n'est pas du tout la même chose. Le système de Jethro Tull, c'est la "New-husbandry". On peut traduire cela par le "nouveau ménage des champs", si vous voulez reprendre une expression ancienne. Mais ce sont des choses totalement différentes, et qu'il ne faut pas confondre.

Tout d'abord, à cause de sa célébrité, qu'est-ce que le système de Jethro Tull ?

Jethro Tull est essentiellement un praticien. C'est à partir

de 1699 qu'il s'est mis à expérimenter. Il a tiré de ses expériences un système de culture. Et, lorsqu'il a eu son système de culture, il a cherché à se le justifier à lui-même. C'était en même temps un esprit constructif, il a imaginé une théorie, pour justifier sa pratique. Et puis, après avoir imaginé sa théorie, il s'est dit : Il faut que je la communique au reste de l'humanité, pour faire son bonheur. Mais à ce moment-là il s'est méfié, et il s'est mis à lire un certain nombre d'agronomes de son temps - Evelyn, Woodward, Grew, Hales, Bradley, etc... - pour confronter son système avec le leur, ou plus exactement pour démolir le leur au moyen du sien. Et une fois cette confrontation terminée, c'est seulement à ce moment-là, en 1731, qu'il a publié son livre, destiné à un grand succès, the new horse-hoeing husbandry.

Dans ce livre, Jethro Tull expose une théorie de la nutrition des plantes, qu'il a tirée de son système, et qui est destinée à justifier celui-ci.

Tout d'abord il rejette les théories de Bacon et de Van Helmont, suivant lesquelles c'était l'eau qui était la nourriture des plantes. Il rejette également la théorie de Platt, suivant laquelle c'était le sel qui était la nourriture des plantes. Et, là, il ne peut pas contenir son indignation. Il déclare : Le sel est la nourriture des plantes comme l'arsenic est la nourriture des rats. - Quant à Thomas Willis, il avait imaginé une autre théorie : d'après lui, c'était l'air qui était la nourriture des plantes, parce que, disait-il, il y a dans l'air des particules éthérées, qui proviennent du Souffle divin, et ce sont elles qui viennent nourrir les plantes. Tull rejette ceci, et il y substitue la théorie suivante : les plantes absorbent de petites particules qui sont dans la terre (mais qui ne sont pas de la terre) ; ces petites particules adhèrent à la superficie interne des cavités du sol, et elles nourrissent alors les plantes, mais seulement lorsque les racines peuvent entrer librement dans ces cavités. - Ces cavités, c'est ce que Tull désigne sous le nom de "pasture".

Ces particules, Tull ne s'étend pas beaucoup, à ma connaissance, sur leur nature. Il sait simplement que ce n'est pas de la terre, mais qu'elles font partie de la terre. C'est, si vous voulez, la partie de la terre qui est nourrissante pour les plantes. Et ce qui, alors, crée les cavités à l'intérieur du sol, ce sont le soleil, la pluie, la gelée, ou encore les engrais. Car, pour Tull, les engrais n'engraissent pas par eux-mêmes : ils engraissent par le fait qu'ils pratiquent des cavités dans le sol, ce qui permet aux plantes d'atteindre les particules nourricières.

Pour accroître la fertilité d'un sol, par conséquent, que faut-il faire ? Diviser la terre le plus possible, afin que les racines puissent pénétrer commodément dans le sol. Et Tull s'exprime ainsi : "La division des parties de la terre, division qui peut être mathématiquement infinie,.....". Ceci attire certainement votre attention: de petites particules minuscules, microscopiques, et qui peuvent être d'une finesse extrême, cela vous rappelle probablement les

théories de Descartes : la "matière subtile", divisée à l'infini. Et il y a alors une question que nous pouvons nous poser, c'est celle de savoir si Tull n'a pas été influencé aussi par le mécanisme cartésien. Cela, je n'en ai pas trouvé de preuves, ni de traces, mais évidemment cette théorie bizarre nous pose la question, parce que c'est évidemment l'équivalent de cette matière subtile cartésienne, de ces petites particules que Descartes voyait partout.

Il faut donc faire des labours. Et c'est le labour qui est l'essentiel de la culture. On peut mettre des engrais, mais il faut bien considérer, nous dit Tull, que l'engrais a simplement pour effet de désintégrer le sol. Le labour, d'ailleurs, c'est la même chose : son seul rôle, c'est de désintégrer le sol, de le mettre à l'état de petites particules, aussi réduites que possible. Les engrais, en eux-mêmes, ne sont pas nourrissants. Et ils ont toutes sortes d'inconvénients : ils sont coûteux, ils apportent de mauvaises herbes, leurs sels sont des poisons pour les plantes, nous dit Tull, et ils contaminent les moissons, si bien qu'indirectement les engrais nous empoisonnent. On peut donc mettre des engrais si l'on veut, mais seulement lorsqu'on est dans la situation de ne pouvoir faire suffisamment de labours. Et la bonne culture consiste à ne pas mettre d'engrais du tout, et à diviser le sol autant qu'on le peut, en le travaillant.

Et, du même point de vue, Tull nous dit : Il n'y a pas besoin de rotation des cultures, il n'y a pas besoin de jachères. Tout cela, c'est inutile, à condition que vous labouriez suffisamment. Vous pouvez faire toujours la même récolte sur la même terre, pourvu que vous labouriez pendant que la moisson croît, et que vous labouriez également immédiatement après la moisson. Si vous labourez pendant que la moisson pousse, vous n'aurez plus, une fois la moisson coupée, qu'à mettre la semence : votre terre sera prête à la recevoir.

D'autre part, en partant du même point de vue, il préconise la réduction des semences. Il trouve que l'on met trop de semences, parce qu'on ne laisse plus alors aux racines de la plante suffisamment d'espace pour cheminer vers les cavités du sol, afin d'y puiser les petites particules nourrissantes. Et c'est alors, pour mettre les semences à une bonne distance, et en quantité suffisante, que Tull a inventé, en 1701, son semoir, qu'ensuite il a perfectionné, et dont il a fait un semoir traîné par des chevaux, mais le procédé est resté exactement le même.

Où pourrez-vous trouver des renseignements sur Jethro Tull, et sur son semoir ? - Sur Jethro Tull, il y a une bibliographie qui n'en finit plus, mais ce que vous pourrez lire encore de mieux, c'est un vieil article de Marshall, publié dans "The Economic Story Review", en 1929, tome II, pages 40-61. Quant au semoir de Tull, d'autre part, vous le trouverez seulement décrit dans un ouvrage, plus récent celui-ci, paru en 1952, et intitulé "Farmer tools" - "Les outils du fermier", de G.E. Fussell.

Ce semoir, en quoi consiste-t-il ? C'est quelque chose d'extrêmement rudimentaire, d'extrêmement simple.

Soit un moyeu de roue de brouette. Que fait Tull ? Tout simplement il creuse ce moyeu d'une série de petits trous, et, au-dessus, il plaçait une boite fixe, adhérant à frottement doux à l'appareil, et dans laquelle il mettait sa semence. Lorsqu'il poussait la brouette devant lui, et que le système tournait, quand une cavité venait sous la boite fixe contenant la semence, elle se remplissait de semence ; et, ensuite, quand elle arrivait dans la position inverse, elle vidait tout simplement la semence dans le sillon ; et puis, en remontant, elle revenait se charger de semence, et ainsi de suite. C'est là le principe du semoir, principe que Tull a conservé lorsque, en 1714, il a perfectionné son semoir, en en faisant un semoir à cheval.

Ce semoir à cheval est beaucoup plus compliqué, parce que, en avant de la roue, il y a trois coutres, munis chacun d'un conduit postérieur. Et, lorsque la cavité chargée de semence arrive devant le conduit qui est ménagé le long du coutre, la semence tombe dans le sillon que le coutre vient de trancher dans la terre. Comme il y a trois coutres l'un à côté de l'autre, vous avez trois sillons qui se font automatiquement, et, en même temps, la semence se dépose, au fur et à mesure que le cheval progresse, entraînant l'appareil. Vous le voyez, cet appareil est extrêmement simple.

Maintenant il y a une question qu'on pourrait se poser ici, c'est celle de savoir s'il a jamais été réalisé. L'histoire de Tull est extrêmement obscure. On nous raconte qu'il a commencé par de nombreuses expériences, et qu'ensuite il a donné son système. Je veux bien. Je suis tout de même obligé de constater qu'ayant donné cette description dans la première édition de son ouvrage, en 1731, il s'est dépêché de la supprimer dans la deuxième édition, de peur qu'il n'y eût un malheureux qui voulût réellement construire l'appareil. Finalement, je ne sais pas si l'appareil lui-même a réellement fonctionné.

Voilà le système de Tull. Il paraît qu'il l'a expérimenté sur le blé, et qu'il a réussi à tirer, pendant treize ans de suite, des récoltes tout à fait remarquables du même champ de blé, sans y mettre jamais d'engrais.

Mais vous voyez le problème qui se pose alors : comment arriver à labourer pendant que le blé pousse ? - Tull préconisait le système suivant. Le champ devait être divisé en une série de banquettes, séparées l'une de l'autre par une distance de 5 pieds (ce qui fait un peu plus de 1 m.50) - c'était donc suffisant pour qu'on pût y faire passer un appareil du type de celui de Tull. La banquette elle-même comportait trois ou quatre sillons. Entre chacun des sillons de chaque banquette, il y avait 1 pied d'intervalle. Et c'était au moyen de ces sillons que Tull pouvait faire ses labours pendant que la plante croissait. Il commençait par faire deux labours avant les semailles, et ensuite, pendant que la plante croissait, il faisait six labours, avec son système de coutres, qu'il employait pour labourer à nouveau. Après la moisson, il labourait les banquettes. Les endroits qui étaient en banquette

devenaient des endroits en creux, et inversement. De sorte que, sans le dire, il pratiquait tout de même, vous le voyez, une jachère, jachère annuelle, puisqu'il changeait chaque année sa banquette de place : l'endroit qui était cultivé une année devenait, l'année suivante, l'endroit réservé au passage.

Voilà donc le système. Remarquez d'ailleurs que ce système, nous pouvons tout de même entrevoir ce qui en a donné l'idée à Tull. C'est le jardinage. Déjà, avant que Tull eût procédé à ses expériences, en eût tiré sa théorie, et en tout cas avant qu'il l'eût répandue dans le public, les jardiniers procédaient exactement de cette façon-là pour leurs cultures de pois et de haricots, notamment les jardiniers londoniens. Et, en somme, le système de Tull est une extension des procédés du jardinage à la grande culture. Déjà, avant Tull, plusieurs auteurs, au XVIIe siècle, avaient préconisé l'extension de ce type de culture au blé. Ce n'était donc pas une idée absolument nouvelle. Et même une houe à cheval avait déjà employée précédemment, dans le Kent. Mais on l'employait là uniquement pour couper les herbes, et non pas pour faire le labour, le bouleversement du terrain, auquel Tull l'avait destinée. De sorte que nous avons là, vous le voyez, une extension, extrêmement curieuse, de procédés déjà employés.

Totalement distinct du système de Tull est le système du Norfolk.

Le système du Norfolk, qui est d'origine hollandaise, s'est déjà propagé dans les dernières années du XVIIe siècle. On en a des témoignages dans des écrivains, et surtout dans les "livres de raison" de très grands propriétaires anglais. Vous connaissez tous lord Townshend, le fameux "lord Navet"; il était le fils d'un premier "lord Navet", dont les livres de raison nous montrent qu'au XVIIe siècle le système qui a fait la notoriété de son fils était déjà répandu sur ses terres, dans la grande propriété de Raynham. D'autre part, nous avons les livres de raison des Cokes à Holkham, qui donnent exactement les mêmes conclusions. Et une autre preuve a été donnée récemment, par un historien anglais, qui a exhumé les lettres de John Wrott, lequel était l'intendant de sir Robert Walpole : ces lettres nous montrent que, si Walpole avait été battu politiquement par Townshend, au lieu que ce fût le contraire, c'est lui qui aurait été "Turnip Walpole", et non pas Townshend. (voir l'article de L.H. Plumb, Economic History Review, 1952, pp. 86-89).

Que nous révèlent ces lettres, qui sont échelonnées du 29 février 1701 au 15 janvier 1707 ? Que déjà à cette époque-là tout le système du Norfolk est appliqué, sur une très grande étendue, sur les terres de Walpole. Et elles viennent compléter ce que l'on savait déjà des terres de Townshend et des terres des Cokes. Le système est ancien.

Ce système diffère complètement du système de Tull, parce que vous voyez que Tull est contre les engrais, contre la rotation des cultures, alors qu'au contraire le système du Norfolk repose sur un emploi massif des engrais, et sur un emploi systématique des rotations.

Comment procédait l'école du Norfolk ? Tout d'abord, elle labourait, elle aussi, beaucoup plus qu'on ne le faisait dans le système normal de l'openfield. Et c'est ce qui a fait qu'on a cru qu'il y avait liaison entre ce système et le système de Tull. Mais ce n'était pas dans le même dessein que Tull, et cela ne répondait pas du tout à la même théorie. On faisait d'ailleurs, d'autre part, des systèmes de semailles en ligne, analogue à celui que Tull préconisait, mais parce qu'ils convenaient très bien aux terres légères du Norfolk. Et pour le reste, alors, on employait tout d'abord le système des enclôtures, afin d'obtenir de très grandes fermes, permettant les cultures sur de très vastes superficies. Ensuite on employait des engrais : les marnes, et la chaux, parfois même l'argile pure, parce que, les terres du Norfolk étant extrêmement sablonneuses, il fallait absolument les étoffer un peu.

Et enfin on employait d'une façon systématique la rotation, avec emploi de différentes céréales, et l'emploi des cultures fourragères : le trèfle, dont on soupçonnait déjà qu'il empruntait de l'azote à l'air, pour en enrichir le sol, le sainfoin, la luzerne, les navets, les raves.

Voilà le système qui était employé. Les théoriciens cherchaient des variétés nouvelles, pour obtenir des plantes épuisant la terre à différents niveaux, l'épuisant différemment, et aussi donnant des moissons à des époques différentes. C'est ainsi que Houghton, dans sa Collection de 1727, distingue sept espèces d'herbes, seize ou dix-sept variétés de blé différentes. De la même façon, on faisait les mêmes expériences sur d'autres plantes. Bradley, professeur de botanique à Cambridge, 1724 à 1732, donnait des rotations pour douze ans. Et sa rotation comprenait neuf récoltes différentes.

Mais là aussi, d'ailleurs il ne faut pas négliger l'influence des jardiniers sur les théoriciens, car déjà, avant qu'il y ait eu un Système du Norfolk, les jardiniers du Middlesex, par exemple, méprisaient totalement l'homme qui laissait ses terres inactives pendant une certaine période. Et, chez eux, le système de culture continue était déjà quelque chose de courant. Et c'est tout cela qui est passé dans le Système du Norfolk.

De sorte qu'en 1748, Kahn, faisant une visite en Angleterre, trouvait autour de Londres la pomme de terre, le sainfoin, le trèfle, la luzerne, employés sur les terres à blé, comme cultures de rotation ou comme cultures dérobées. Dans des fermes du Kent, de 1747 à 1759, il n'y avait déjà plus jamais de jachère, mais, chaque année, on faisait différentes récoltes. C'est le système de la rotation. Et, entre deux récoltes successives, alors, on cultivait du navet, ce qui est le type de la culture dérobée de la technique flamande actuelle.

Il y avait donc là, vous le voyez, un système qui est tout à fait différent de celui de Jethro Tull. Et c'est ce système-là qui a triomphé très rapidement, de sorte que, dans la deuxième moitié du siècle, c'est celui que l'on désigne sous le nom de "Vieux système de culture", "Old husbandry".

Je vous ai dit que les partisans du Système du Norfolk employaient de préférence les enclôtures. Et c'est vrai pour les Townsend comme pour les Walpole. Ils cherchent à regrouper les fermes. C'est également vrai, d'ailleurs, dans le système de Tull. Les gens qui ont adopté le système de Tull (qui étaient extrêmement nombreux : il a eu en effet un très grand nombre d'adeptes ; il s'est même créé des journaux pour le combattre, ce qui est le signe de son succes) ont pratiqué également les enclôtures.

Et ici, alors, une question, très importante, se pose à nous : est-ce que l'enclôture était une nécessité, imposée par cette transformation technique ?. Pouvons-nous établir un déterminisme : transformation économique, progrès technique, et, alors, transformation sociale, la transformation des enclôtures, avec toutes ses conséquences? - Eh bien il semble que ce beau déterminisme, que nous sommes tous portés à établir, n'existe pas. Il semble que le système des enclôtures n'a pas été une nécessité technique, ni économique. Et c'est une remarque que nous fait très intelligemment Chambers, dans l'ouvrage que je vous ai déjà cité : il remarque qu'au cours du XVIe et du XVIIe siècles plusieurs villages s'étaient déjà adaptés à la technique hollandaise, en Angleterre, sans avoir besoin d'enclôtures, et que à partir de 1763 (environ), un certain nombre de villages anglais se sont adaptés aux nouvelles conditions de la production, sans renoncer du tout à l'openfield, et que dans cet état ils ont tenu jusqu'au delà de 1850, où alors de nouvelles conditions les ont fait disparaître.

On pouvait très bien s'adapter, avec l'openfield, au Système du Norfolk. Pour cela, il suffisait d'enclore les communaux, les pacages, et les landes, parce qu'il était évidemment nécessaire de séparer de façon absolue le bétail des cultures - il ne pouvait plus être question de vaine-pâture à partir du moment où l'on employait un système de rotation continue. Mais ce que l'on enclosait à ce moment-là, ce n'était plus la terre de culture, c'était la terre de pâture, pacage ou prairie.

Et d'autre part, alors, en ce qui concerne l'openfield, les soles, pour que l'on pût établir une rotation valable, au point de vue économique, il était évidemment nécessaire de les repartager, de les multiplier. Et dans ces conditions, alors, en conservant le vieux système de l'openfield, et le vieux système de culture communautaire auquel l'openfield répondait, on s'adaptait parfaitement au système du Norfolk.

Il n'y a donc absolument aucune nécessité technique ni économique de procéder à des enclôtures pour pratiquer ce système du Norfolk, ou pour pratiquer le système de Jethro Tull. Alors, me direz-vous, pourquoi a-t-on fait des enclôtures ? On l'a fait uniquement pour des raisons sociales. Les propriétaires qui naturellement ont pensé les premiers à ce système du Norfolk, qui l'ont connu les premiers, et qui les premiers ont été en état de le pratiquer, ce sont bien entendu les grands propriétaires. C'est seulement après eux que les villages ont pu connaître le procédé, et songer à l'employer. Et ces grands propriétaires ne pouvaient évidemment concevoir la

transformation de la technique qu'à leur profit personnel. C'est pour cela qu'ils ont songé à faire des enclôtures, pour leur profit personnel, et pour leurs intérêts de classe, dirions-nous, alors qu'au point de vue technique elles ne s'imposaient nullement.

L'extension des enclôtures est donc une conséquence de ce que Chambers a appelé la "squirearchy", la hiérarchie sociale qui mettait les propriétaires du sol au sommet de la société. Vous savez que ces "squires" détenaient, en somme, le pouvoir politique, puisque c'étaient eux surtout qui étaient pratiquement représentés à la Chambre des Communes, et d'autre part ils détenaient également toute l'administration : c'étaient eux, pratiquement, qui étaient les juges de paix, les constables, les officiers de milice de la société anglaise. C'étaient eux qui détenaient en somme à la fois le pouvoir politique et l'administration. Et ils se sont servis de ce pouvoir politique et de cette administration pour faire des enclôtures qui répondaient à leur désir de s'approprier les profits de la société et du système économique, mais qui n'étaient nullement imposées par la modification technique. La modification technique aurait très bien pu se produire avec une société démocratique, reposant sur le village, et sur la communauté du village.

Le système de l'enclôture n'est pas du tout un système économique ou technique, c'est un système social. Voilà ce que nous suggère la lecture de Chambers. Et je vous invite à vous rapporter à ce livre, qui est une très riche source de méditations.

PROGRES TECHNIQUE ET PROGRES SCIENTIFIQUE

EN EUROPE AU XVIII° SIECLE

Deuxième Période : 1740-1763

Vous savez que la période 1740-1763 est la grande période de guerre du XVIIIe siècle. Nous nous trouvons là en présence de la guerre dite de Succession d'Autriche, de 1740 à 1748, guerre qui a été aussi une grande guerre coloniale, et une grande guerre maritime, - et de la guerre de Sept-Ans, de 1756 à 1763, qui elle non plus n'a pas été simplement une guerre européenne, mais également une guerre pour la prépondérance maritime et coloniale. Sans compter que dans l'intervalle, de 1748 à 1756, en fait, la guerre n'a jamais cessé au Canada, et même dans l'Inde, malgré le traité de 1754, et sans compter, aussi, qu'on a préparé d'autres conflits à peu près dans tous les pays.

Alors, pour nous, ceci nous pose encore une question : la guerre a-t-elle influé sur le développement des sciences, et des techniques ?

Or, par le raisonnement, nous n'arrivons pas à une réponse bien satisfaisante. Nous arrivons à des contraires. Parce que nous pouvons très bien dire, "a priori", que la guerre a été très favorable au développement des sciences. Et nous nous représentons ces savants, auxquels nous savons déjà que l'Etat demandait d'apprécier la valeur des inventions nouvelles, pour les breveter. Nous voyons tout de suite l'Etat demander à ces savants de fabriquer de nouvelles armes, de trouver de nouveaux procédés de production, et les savants, ainsi excités, faire de nouvelles découvertes dans l'ordre des sciences. Nous voyons leurs subventions augmenter, les crédits dont ils disposent s'accroître, pour le travail. Et quant aux techniciens, vous voyez la quantité de fusils, de baïonnettes, de canons, de poudre, de drap pour les uniformes, de souliers, etc..., qu'il fallait. Alors nous les voyons tous, excités par l'accroissement du marché que leur offrait l'Etat, en train de chercher des procédés pour aller plus vite dans ces différentes fabrications.

Seulement nous pouvons dire, exactement de la même façon, que ces guerres ont été très néfastes au mouvement des sciences, et au progrès des techniques. Parce que, évidemment, au cours de la guerre, les amateurs éclairés, dont vous avez vu le rôle au XVIIIe siècle, avaient autre chose à faire qu'à penser aux savants. Alors on ne s'est plus intéressé à leur travail, les subventions ont diminué, les crédits dont ils disposaient ont décliné. Et puis, dans les nations vaincues, il y a une espèce de dépression qui se produit, qui n'est pas favorables au travail scientifique plus qu'à aucun autre travail. D'autre part, pour les techniciens, les marchés se rétrécissent, la monnaie est détournée de son usage normal, l'Etat prélève davantage d'impôts. Alors il y a bien un certain nombre d'industriels et de munitionnaires qui travaillent davantage, ceux qui fournissent directement l'Etat, mais les autres voient au contraire leur marché se rétrécir. Et, dans ces conditions, est-ce que les inventeurs sont très portés à faire des

inventions, pour alimenter un marché qui se rétrécit toujours davantage ?

Vous voyez que, selon la façon dont on raisonne, on peut arriver à des conclusions opposées. On pourrait d'ailleurs dire aussi : si le marché se rétrécit, les savants et les techniciens peuvent chercher des procédés pour améliorer la fabrication, et abaisser le prix de revient.

On peut continuer comme cela pendant très longtemps. Autrement dit, par le raisonnement, nous n'arrivons à rien. La seule méthode qui nous reste, c'est d'isoler par la pensée cette période 1740-1763, de reprendre méthodiquement ce qui y a été fait en matière de science et de technique , et puis nous verrons en terminant si les guerres ont eu un effet, direct ou indirect, sur le mouvement des sciences et des techniques. Et c'est pourquoi j'ai adopté, dans ce Cours, un plan chronologique, de façon à pouvoir isoler cette période.

LES MATHEMATIQUES ET L'ASTRONOMIE, DE 1740 A 1763

Nous allons commencer naturellement par les mathématiques et l'astronomie. Pour les mathématiques, je vous citerai tout particulièrement le livre, ancien, de Jean-Etienne de Montucla, que vous pourrez prendre dans l'édition de 1802, qui est la deuxième ou la troisième, revue par le citoyen Legendre (1802, An X de la République). D'autre part, vous pourrez le compléter par le livre, réédité il y a peu d'années, de Delambre : "Grandeur et figure de la Terre" (réédité en 1912, chez Gauthiers-Villars, par Bigourdan). Vous aurez là tout ce qui vous sera nécessaire.

Je vous signale d'autre part que le Père Russo, un polytechnicien devenu Jésuite, a publié en 1954 une Bibliographie sur l'Histoire des Sciences et des Techniques, qui peut tout de même rendre des services. Mais les intentions sont meilleures que la réalisation. Il oublie un certain nombre d'ouvrages parmi les plus importants. Par exemple, à propos de l'Académie des Sciences de Paris, il cite bien Maindron, mais il oublie Maury, qui est aussi important. Il ne cite pas le fameux livre sur la Philosophie chimique, de Jean-Baptiste Dumas, qui est un classique. Il a eu l'idée de faire une bibliographie critique ; c'est une très bonne idée, malheureusement par exemple, à la page 158, il cite, comme manuel de médecine excellent, le livre de Castiglioni, or c'est une médiocre compilation. Mais d'autre part il ne cite pas le très bon livre, publié en 1911, du docteur Meunier, qui au contraire est un des meilleurs livres que l'on puisse trouver sur l'histoire de la médecine. Néanmoins, cette bibliographie peut servir pour une première approche.

- Que trouvons-nous donc, en mathématiques, et en astronomie, de 1740 à 1763 ? Nous trouvons des travaux qui confirment Newton, et qui font pénétrer davantage l'esprit positif dans la science. Mais peut-être cette période est-elle moins importante, au point de vue mathématiques et astronomie, que la précédente et que la suivante.

Au point de vue des mathématiques, nous ne trouvons plus de grandes créations. Nous trouvons simplement, en partant du calcul infinitésimal, la solution de problèmes qui ont été posés par l'essor de l'astronomie, de la mécanique, et de la physique, et une première codification des résultats acquis, mais rien qui soit absolument nouveau, et rien qui bouleverse la science.

Les travaux les plus importants sont ceux de d'Alembert, pour la mécanique, de Maupertuis, sur une question qui a une très grande portée philosophique, le principe de moindre action, et de Clairaut, sur la vulgarisation mathématique. Ce sont simplement ces trois aspects que nous retiendrons ici.

Sur d'Alembert, vous avez un article récent de Louis de Broglie, dans un recueil collectif : "L'Encyclopédie, et le progrès des sciences et des techniques", paru en 1952, où vous trouverez énormément de renseignements. Ce livre a été composé d'un certain nombre d'articles publiés dans la "Revue de l'Histoire des Sciences".

Vous connaissez de réputation d'Alembert, par son rôle dans l'Encyclopédie. Il est donc inutile que je vous donne sa biographie. Et nous allons passer tout de suite à son Traité de Dynamique, publié en 1743.

Le Traité de Dynamique de d'Alembert opère la liaison entre les découvertes de Newton en matière de mécanique et les travaux de Lagrange, qui a réellement, lui, codifié toute la mécanique nouvelle, et dont les travaux sont restés, en somme, la base de la science mécanique, jusqu'au début du XXe siècle, et jusqu'aux travaux d'Einstein.

Au moment où d'Alembert a fait son Traité, l'on était déjà assez fort en statique, puisque vous savez qu'Archimède lui-même a fait de la statique, très heureusement, en mécanique. Et la mécanique statique était appuyée sur trois principes : le principe du levier, le principe de la composition des forces, et le principe des vitesses virtuelles. - Les "vitesses virtuelles", ce sont celles que prendraient des objets immobiles, s'ils se mettaient en mouvement, dans la première seconde de leur mouvement.

Dans la mécanique, on avait un certain nombre de principes également, parmi lesquels le principe de la "quantité de mouvement", la quantité de mouvement se définissant par le produit de la masse d'un corps par sa vitesse.

Tout ceci, tout ce que l'on savait, aboutissait à des calculs extrêmement compliqués. Et le grand mérite, alors, de d'Alembert a été de réduire toutes les lois de mouvement des corps aux lois de

l'équilibre des corps. Autrement dit, il a trouvé les procédés - des procédés d'écriture, pourrait-on dire - qui permettaient de ramener la dynamique à la statique. Pour cela il s'est appuyé sur trois principes, qu'il a mis pleinement en lumière : le principe de l'inertie, le principe du mouvement composé, et le principe de l'équilibre.

°
° °

Nous avons vu que tout l'effort de d'Alembert était, dans son Traité de Dynamique, de ramener précisément la dynamique à la statique. Et voici à peu près comment raisonnait d'Alembert.

Soit un système de mobiles, A, B, C, D, qui à votre volonté se heurtent, se poussent, ou se tirent (ce qui revient exactement au même, pour ce que nous voulons en faire), et dont nous connaissons les vitesses, et les directions.

En vertu du principe de la décomposition des forces, nous avons toujours la possibilité de décomposer leur mouvement en deux mouvements : aα, bβ, c , dδ, conçus de telle façon que, si nous ne retenons que l'un d'entre eux sur les deux, par exemple a, b, c, d, ces mouvements se fassent équilibre. Du moment que nous avons affaire maintenant à un système en équilibre, nous avons ramené le problème de dynamique à un problème de statique, dont il nous suffit de trouver les équations.

Le système est particulièrement simple si nous nous sommes placés dans l'hypothèse suivant laquelle nous examinerions l'ensemble avant le choc, par exemple, parce que, dans ce cas-là, le système en équilibre que nous conservons est un système de vitesses virtuelles, qui nous ramène alors à un cas relativement simple de statique.

Voilà le principe de d'Alembert, principe qui a dominé la dynamique, et en général la mécanique, jusqu'au début du XXe siècle, et qui d'ailleurs, dans son ordre, est toujours utilisé aujourd'hui.

Voyons maintenant le principe de moindre action, et les doctrines de Maupertuis.

Le principe de moindre action a été formulé pour la première fois par Maupertuis, dans un mémoire présenté le 15 avril 1744 à l'Académie des Sciences.

Maupertuis cherchait à résoudre un problème d'optique. Il cherchait à expliquer la réfraction de la lumière. Il remarque que Descartes avait avancé que la lumière se meut le plus vite dans les milieux les plus denses. Il remarque qu'il a raison, et, dit-il, "la lumière, lorsqu'elle traverse différents milieux, ne va ni par le chemin le plus court, ni par celui du temps le plus prompt. Le rayon qui passe de l'air dans l'eau, faisant la plus grande partie de sa route dans l'air, arrive plus tard que s'il n'y faisait que

la moindre". Donc le rayon va plus vite dans les milieux le plus denses.

Il propose alors de considérer que le chemin suivi par la lumière dans la réfraction est celui par lequel la quantité d'action est la moindre. Et il s'exprime ainsi : "La quantité d'action est le produit de la masse des corps par leur vitesse, et par l'espace qu'ils parcourent". Ainsi définie, la quantité d'action est la moindre dans le mouvement des corps tel qu'il l'étudiait.

Maupertuis fait de ce principe qu'il venait de formuler la loi générale du mouvement de la lumière. Et, dans un mémoire présenté en 1746 à l'Académie de Berlin, il l'étend encore : il en fait une loi du choc des corps, et une loi des cas d'équilibre.

Voici un passage important : "Dans le choc des corps, le mouvement se distribue de manière que la quantité d'action que suppose le changement d'arrivée est la plus petite qu'il soit possible. - Dans le repos, les corps qui se tiennent en équilibre doivent être tellement situés que, s'il leur arrivait quelque petit mouvement, la quantité d'action serait la moindre". - Vous voyez qu'il fait de son principe de moindre action un principe d'explication général, valable pour tous les mouvements, dans toute la nature. Et il continue : "Les lois du mouvement et du repos, déduites de ce principe, se trouvent précisément les mêmes qui sont observées dans la nature. Nous pouvons en admirer l'application dans tous les domaines (pour lui, c'est donc quelque chose qui a une valeur absolument générale). Le mouvement des animaux, la végétation des plantes, les révolutions des astres, n'en sont que les suites. Et le spectacle de l'univers devient bien plus grand, bien plus beau, bien plus digne de son Auteur, lorsqu'on sait qu'un petit nombre de lois, les plus sagement établies, suffisent à tous ces mouvements. C'est alors qu'on peut avoir une juste idée de la puissance et de la sagesse de l'Etre suprême. Quelle satisfaction pour l'esprit humain, en contemplant ces lois qui sont le principe du mouvement et du repos de tous les corps de l'univers, d'y trouver la preuve de l'existence de Celui qui le gouverne !".

Si je vous donne ce passage tout au long, c'est pour vous montrer que, dans l'esprit de Maupertuis, il ne s'agissait pas seulement de trouver une loi qui pouvait expliquer tous les mouvements de l'univers sans exception (ce qui déjà revêtait un aspect métaphysique, ce qui faisait qu'au sens rigoureux du terme, Maupertuis sortait de la science, et qu'on pouvait l'accuser d'extrapoler très largement), mais qu'il en fait réellement, vous le voyez, une explication métaphysique et théologique de l'univers. Parce que, pour lui, son principe devient non seulement l'explication de tous les mouvements physiques, mais, en même temps, une preuve de l'existence de Dieu. Il est tout à fait dans la tradition newtonienne et cartésienne. Mais vous voyez l'abime qui le sépare de ce qui va être l'aboutissement de la science du XVIIIe siècle : l'édification du système positif d'Auguste Comte, qui est une conséquence du mouvement scientifique du XVIIIe siècle.

Néanmoins, en tant que principe de moindre action, il avait certainement fait une découverte intéressante.

Le célèbre mathématicien bâlois Euler, dans les mémoires de l'Académie de Berlin de 1751, démontra alors mathématiquement le principe de Maupertuis. Et il le formula d'une façon plus précise, et qui permettait mieux l'application des mathématiques. - Voici la formule d'Euler : "Lorsqu'il arrive quelque changement dans la nature, la quantité d'action nécessaire pour ce changement est la plus petite qu'il soit possible". - Le principe d'Euler rendait les lois de la mise en équation infiniment plus faciles, mais il n'était qu'une précision apportée à ce que Maupertuis avait dit fort bien.

A ce moment-là il s'éleva une querelle de priorité. Un Allemand, nommé König, prétendit que ce principe était déjà formulé dans une lettre de Leibniz à Hermann, datée du 16 octobre 1707, et que Maupertuis n'avait rien inventé. Maupertuis lui demanda tout simplement de produire la lettre, ou d'indiquer où on pouvait la retrouver. Or on n'a jamais réussi à mettre la main dessus.

Il n'est pas absolument impossible, d'ailleurs, que Leibniz ait entrevu l'idée de Maupertuis. Car Leibniz professe que "la nature agit toujours par les plus courtes voies". Et c'est ce que vous trouverez dans les "Nouveaux Essais sur l'entendement humain". Mais il n'est pas allé plus loin, et par conséquent il a entrevu peut-être l'idée, dans le clair-obscur, mais il n'est pas arrivé au résultat de Maupertuis. C'est ce que d'Alembert a très bien exposé, dans son article "Cosmographie" de l'Encyclopédie. Voici ce que dit d'Alembert : "Ce principe (de la moindre action) est tout différent de celui-ci que la nature agit toujours par la voie la plus simple. Car ce dernier principe est un principe vague, dont on peut faire cent applications différentes, selon la définition qu'on voudra donner de ce qu'on regarde comme la voie la plus simple de la nature, c'est-à-dire selon qu'on voudra faire consister la simplicité de la nature, et sa voie la plus courte, ou dans la direction rectiligne, c'est-à-dire dans la brièveté de la direction, ou dans la brièveté du temps, ou dans le minimum de la quantité de mouvement, ou dans le minimum de la force vive, ou dans celui de l'action, etc... - Le principe de M. de Maupertuis n'est donc pas le principe de la voie la plus simple, pris vaguement, mais un exposé précis de ce qu'il croit être la voie la plus simple de la nature".

Et en effet Maupertuis avait défini, en des termes qui rendaient applicable le calcul, ce qu'il entendait par la moindre quantité d'action. Par conséquent il donnait une définition précise, et non pas un principe vague, comme l'était celui de Leibniz.

Le principe, alors, dans la formulation un peu plus précise encore qu'Euler en avait donnée, fut appliqué, fut appliqué, par Euler lui-même, aux mouvements paraboliques des corps pesants. Et, en 1744, dans son "Traité des isopérimètres", Euler a montré que, dans les trajectoires décrites par les forces centrales, l'intégrale de la vitesse, multipliée par l'élément de la courbe, fait toujours un maximum, ou un minimum. - C'était la conséquence du principe de

Maupertuis, et c'est ce qui a permis alors à Euler d'établir sa fameuse méthode "de maximis et minimis", qu'il a appliquée aux différents mouvements : mouvements paraboliques des corps pesants, mouvements produits par une force centrale, etc...

Euler a pu considérer ainsi une masse fluide, dont toutes les particules sont attirées vers autant de centres fixes qu'on voudra, par des forces proportionnelles à des fonctions quelconques des distances à ces centres. Seulement Euler considérait encore des corps isolés, et non pas des systèmes, comme l'a fait plus tard Lagrange, dont nous aurons l'occasion de reparler.

Euler, d'ailleurs, restait dans la tradition métaphysique de Maupertuis. Il voulait encore faire du principe de la moindre action le principe unique, dans les explications et les calculs de la mécanique, ce qui était aussi l'ambition de Newton, et ce qui a été l'ambition de la plupart de ces savants, qui, jusqu'au dernier tiers du XVIIIe siècle, ont été en même temps des métaphysiciens.

Enfin, nous allons jeter un coup d'oeil rapide sur Clairaut, et sur son oeuvre de vulgarisation mathématique.

De même que j'ai utilisé, pour Maupertuis, le fameux traité de Pierre Brunet sur "Le principe de moindre action", je vais utiliser ici, comme je l'ai déjà fait dans une de nos leçons précédentes, le livre posthume de Pierre Brunet, sur "Clairaut, astronome et mathématicien", et les oeuvres de Clairaut.

Clairaut, ce grand mathématicien, avait conservé un souvenir très pénible de ses premières études géométriques, et du Livre d'Euclide. Il trouvait Euclide trop abstrait. Et, sur la géométrie, il disait par exemple : "On y débute toujours par un grand nombre de définitions, de demandes, d'axiomes et de principes préliminaires, qui semblent ne promettre rien que de sec au lecteur. Les propositions qui viennent ensuite ne fixant point l'esprit sur des objets plus intéressants, et étant d'ailleurs difficiles à concevoir, il arrive communément que les commençants se fatiguent et se rebutent, avant que d'avoir aucune idée distincte de ce qu'on voulait leur enseigner".

Il reproche alors à Euclide, de démontrer que deux cercles qui se coupent n'ont pas le même centre. Il lui reproche de démontrer qu'un triangle renfermé dans un autre a la somme de ses côtés plus petite que celle des côtés du triangle dans lequel il est renfermé. Et il lui reproche de vouloir démontrer tout cela, parce que, dit-il, cela saute aux yeux. - Mais cela prouve que l'on peut être un très grand mathématicien sans comprendre la méthode mathématique. Car il est évident qu'en géométrie, ce qui compte, ce n'est pas ce que l'on voit, c'est ce que l'on peut déduire, clairement et distinctement, de principes abstraits, et que la science mathématique ne consiste pas dans des procédés de calcul, que l'on aurait fait dériver de l'expérience. Parce que les Chaldéens, les Assyriens, les Egyptiens, ont su faire des quantités de calculs, mais ils

n'ont pas créé la science mathématique. Ce sont les Grecs qui l'ont créée, précisément le jour où ils ont renoncé à considérer comme prouvé ce qui tombe sous les sens, et où ils n'ont voulu considérer comme prouvé que ce que l'on pouvait établir d'une façon discursive, par la réflexion sur les données des sens, l'abstraction d'un certain nombre de principes de base, et la déduction à partir de ces principes. Et c'est pour cela qu'Euclide, comme tout bon mathématicien, s'acharne à prouver des choses qui ne font pas de doute pour les yeux, mais qui font un doute pour l'esprit. Car ce que l'on voit, peut être une illusion des sens, ou peut être entaché d'imprécision et d'incertitude, à cause précisément du caractère de la connaissance sensible. Clairaut avait l'air de ne rien comprendre du tout à cela.

Enfin Clairaut se fie, selon la méthode des newtoniens, à l'intuition sensible, au témoignage des yeux. Et dans ses écrits, dans les traités qu'il rédige pour les débutants, il veut s'élever de la solution des problèmes pratiques aux notions qui permettent la résolution de ces problèmes pratiques. On va commencer par les résoudre, et, ensuite, de ces solutions, on extraira les règles. Autrement dit, il préconise la méthode de redécouverte. Il veut suivre - nous dit-il dans sa préface, que je résume ici - la route qu'on peut supposer être celle des premiers inventeurs, en évitant seulement toutes leurs fausses tentatives.

Dans son Précis de Géométrie, il parle de la mesure des terrains, et des "distances accessibles, ou inaccessibles", comme le serait par exemple une tour, dont on ne peut atteindre le pied, et sur laquelle on ne peut pas monter. Et de là il passe à des recherches analogues, pour accoutumer peu à peu l'esprit à chercher, et à découvrir. - C'est là la méthode de ses "Eléments de Géométrie", publiés en 1741. Et il l'applique de la même façon dans ses "Eléments d'Algèbre", parus en 1746, où il dit que son but est de donner les règles de l'algèbre, "dans un ordre que les inventeurs eussent pu suivre". Il part donc, dans son traité d'algèbre, de problèmes utiles au commerce, en commençant par des problèmes simples, que l'on peut résoudre par les procédés de l'arithmétique, et il s'élève peu à peu à des problèmes plus compliqués, dont il tire les règles, chemin faisant.

La méthode de Clairaut a été très prisée par Auguste Comte. Je ne sais pas si elle a eu un très grand succès au XVIIIe siècle. Il semble qu'au XVIIIe siècle on se soit surtout servi des traités de Bezout, tout au moins dans le dernier tiers du siècle. C'est avec les traités de Bezout, par exemple, que Stendhal a été instruit, à l'Ecole Centrale de Grenoble. - Je dois dire que Bezout m'a paru d'une extrême clarté, infiniment plus clair que tous les traités d'algèbre et de géométrie que l'on met d'ordinaire entre les mains des lycéens, et je n'ai pas compris du tout pourquoi Stendhal avait témoigné de la sévérité à l'égard de Bezout.

Voilà ce que nous avons de plus important à signaler, dans les mathématiques, pour cette période 1740-1763.

Evidemment, elle ne s'élève pas, à la hauteur de la période précédente, et surtout à la hauteur de la fin du XVIIe siècle, avec les grandes créations de Leibniz et de Newton.

Passons maintenant à l'astronomie. -

En astronomie, la vérification de l'hypothèse de Newton se poursuit. Dans cette période, véritablement, le newtonianisme triomphe. L'affaire des "tourbillons" cartésiens est maintenant réglée (bien que l'on trouve encore, naturellement, des cartésiens, mais, en fait, pour ce qui concerne les savants, la chose est réglée). Et, d'autre part, nous constatons que, si l'astronomie n'atteint pas encore pleinement le stade positif, s'il y a encore dedans beaucoup d'esprit métaphysique - avec, comme nous allons le voir, la croyance où sont les savants que l'hypothèse Dieu est nécessaire pour expliquer finalement le système des cieux, et que d'autre part ce système astronomique est une preuve de l'existence de Dieu -, il y a tout de même, en astronomie, une marche constante vers l'esprit positif.

Tout d'abord, les moyens d'observation se sont beaucoup améliorés.

Vers 1740-1750, les quarts-de-cercle que l'on employait encore à l'époque de Picard sont dépassés. Et ils sont définitivement abandonnés. On fait de nouveaux quarts de cercle muraux, beaucoup plus grands : 7 pieds 1/2 de rayon, mesure de Paris, ou 8 pieds de rayon, mesure anglaise, au lieu de 3 pieds de rayon qu'avaient en moyenne les quarts de cercle muraux de l'époque de Picard.

Ces nouveaux quarts de cercle sont construits par Bird, en Angleterre, ou par Canivet, en France. Ils permettent de faire passer le dégré de précision dans la détermination de la position des astres de l'ordre de 6 à 10" d'arc à l'ordre de la fraction de seconde d'arc. Le progrès est considérable.

D'autre part, en 1749, Claude Passement, de l'Observatoire de Paris, a l'idée d'adapter aux lunettes un mouvement d'horlogerie. Et, grâce au système de Passement, on peut, à partir de ce moment-là, suivre très exactement les astres dans leurs déplacements, ce qui limite les chances d'erreur sur leur position.

Enfin, les astronomes Bouguer (dont nous avons déjà parlé) et Lacaille déterminent la réfraction de l'air pour toutes les hauteurs, toutes les pressions, et toutes les températures. On peut donc tenir compte maintenant de la déviation des rayons lumineux qui sont issus des astres, au cours de leur passage à travers l'atmosphère. Vous savez qu'à cause de cette réfraction, on voyait toujours les astres dans des positions différentes de celle qu'ils avaient réellement, et ceci dans des conditions très variables, suivant la température et la pression.

Il s'est posé aussi une très grave question, c'est celle des objectifs achromatiques, dans les lunettes.

Vous savez qu'on avait essayé, vers la fin du XVIIe siècle, de forcer le plus possible les verres. On avait muni les lunettes de verres de plus en plus forts. Malheureusement on s'était heurté à l'inconvénient suivant : les verres forts donnent des effets de prisme ; et les images que l'on obtient sont alors colorées et confuses. C'est ce que l'on appelle l'aberration chromatique.

C'est ce qui avait déterminé Grégory et Newton à inventer leur fameux télescope. Vous savez qu'alors qu'on regarde à travers une lunette, dans le télescope on a un miroir sphérique, qui réfléchit les rayons lumineux, et qui donne par conséquent l'image de l'objet ; on regarde alors dans le télescope par une petite lunette, placée sur le flanc, qui permet d'apercevoir le miroir placé au fond du télescope. On éliminait ainsi l'aberration chromatique (pour trouver d'ailleurs d'autres inconvénients, dont nous n'avons pas à parler ici).

Pourquoi n'avait-on pas essayé de réduire cette aberration chromatique ? Ceci en vertu d'une erreur de calcul de Newton. Newton, dans son Traité d'Optique, proposition III, expériences 7 et 8, avait précisément étudié mathématiquement la possibilité de supprimer l'aberration chromatique. Et il avait songé tout naturellement à employer un système formé de deux lentilles, à indice de réfraction différent. La réfrangibilité d'une substance annulant celle de l'autre, dans certaines conditions, la seconde lentille annulait la dispersion provoquée par la première à la sortie de l'objectif. Et par conséquent, à la sortie de l'objectif, la lumière blanche se trouvait recomposée. Voilà le principe.

Seulement, lorsque Newton a essayé de calculer les dimensions qu'il faudrait donner à l'appareil, c'est-à-dire la distance des deux lentilles, il a trouvé que la correction serait possible seulement avec des lentilles de distance focale infinie. Autrement dit, l'appareil était irréalisable. Tout le monde a ajouté foi aux calculs de Newton, et on a laissé tomber la solution du problème.

Or, en 1747, Euler, reprenant les calculs, a conclu que Newton s'était trompé, et que la chose était parfaitement possible. Il a alors fabriqué un objectif, avec deux lentilles concaves, en laissant entre ces deux lentilles concaves l'espace rempli d'eau. Et il a donné les formules de la nouvelle lunette.

Il est alors entré en controverse avec un opticien anglais, du nom de John Dollont. Euler était un assez médiocre expérimentateur, et un assez médiocre fabricant. Et, en 1752 et 1753, à la suite de sa controverse avec l'opticien, il a reconnu que les objectifs qu'il avait proposés étaient irréalisables tels qu'il les avait proposés. Ce grand mathématicien ne savait pas passer à la réalisation pratique de ses idées. Seulement il a maintenu l'exactitude de sa théorie et de ses propres calculs, et ensuite il a cité à Dollont

l'exemple de l'oeil, où précisément la dispersion des couleurs est corrigée pour nous par la juxtapisition de milieux de réfringence différente. Il n'y avait donc aucune raison pour qu'on n'arrive pas à réaliser aussi le procédé.

Enfin, en 1755, un professeur de l'Université suédoise d'Upsal, Klingenstierna, a repris à son tour le problème, au point de vue mathématique, et il a pu envoyer alors à Dollont une démonstration géométrique sur la fameuse "expérience n°8" de Newton, où il a montré que le résultat de Newton était absolument faux. La démonstration de Klingenstierna, venant après celle d'Euler, a encouragé Dollont à reprendre le problème.

Dollont a procédé par des tâtonnements. Il a associé deux sortes de verre, qui possédaient une différence d'indice de réfraction. La solution théorique avait été trouvée en Suisse et en Suède. - Ce n'était guère qu'en Angleterre que l'on pouvait trouver la solution, pratique, parce qu'il fallait des gammes de verre que l'on ne pouvait trouver qu'en Angleterre.

En effet, en Angleterre, depuis très longtemps, on avait manqué de bois, pour faire le verre. Et on se servait depuis très longtemps du charbon. Seulement, comme les vapeurs sulfureuses du charbon étaient extrêmement mauvaises pour la fabrication du verre, on avait imaginé de fondre le sable dont on se servait dans un creuset fermé de partout. Mais alors ce procédé diminuait, à l'intérieur du creuset, la température de fusion. Il avait donc fallu trouver un procédé pour rendre le composé soluble. On avait alors imaginé d'ajouter du plomb. Et c'est l'adjonction de ce plomb qui un jour, un peu par hasard, a fait trouver le "cristal blanc d'Angleterre", le fameux "flint-glass".

Selon la quantité de plomb que l'on ajoutait, on obtenait plusieurs sortes de "flint-glass", et l'on obtenait aussi d'autres sortes de verre, que l'on peut comprendre sous le nom de "crown-glass", et qui sont des verres ordinaires, légèrement verdâtres, et qui, selon la quantité de plomb qu'ils contiennent, ont aussi des réfrangibilités extrêmement différentes.

Alors, par une série de tâtonnements sur ces verres, Dollont, en associant une lentille concave de flint-glass et une lentille convexe de crown-glass, à des distances focales qui étaient dans le rapport de 2 à 3, a obtenu finalement une lunette éliminant l'aberration chromatique.

Le 8 juin 1758, il a présenté à la "Royal Society" sa première lunette achromatique, de 5 pieds de long, avec des images aussi nettes, aussi lumineuses, que celles d'une lunette de 15 pieds, ce qui donnait aux observatoires des possibilités considérables.

Les notes de Dollont sur sa fabrication étaient assez imprécises. Dollont était en effet un praticien, et non pas un savant. C'est Clairaut qui a repris la théorie de l'achromatisme. En 1761, il a donné la solution des différents problèmes que posait la construction de la lunette. Et il a poussé alors la théorie de l'optique géométri-

que assez pour que celle-ci ne progressât plus, pour un siècle.

Grâce à ces moyens nouveaux, on a pu pousser les observations. Et nous avons d'abord à parler des fameuses observations de Le Monnier. A vrai dire, il s'agit moins d'observations que d'une application excellente, très fine, de la méthode que l'on appelle le "raisonnement expérimental", et qui nous intéresse énormément, nous autres historiens, qui, n'ayant pour ainsi dire jamais la possibilité d'expérimenter, sommes obligés précisément de procéder par raisonnement expérimental.

En 1746, LE MONNIER s'est attaqué au problème suivant : Lorsque Saturne et Jupiter étaient à proximité l'un de l'autre, tous les vingt ans, on trouvait des inégalités dans le mouvement de Saturne. D'où venaient-elles ? Si la théorie de Newton était vraie, les inégalités devaient être dues à l'attraction de Jupiter, qui ralentissait d'abord, accélérait ensuite, le mouvement de Saturne, suivant la position dans laquelle les deux astres se trouvaient successivement, l'un par rapport à l'autre. Seulement comment isoler cette attraction de Jupiter de celle du soleil ? C'était là le problème, problème que l'on ne pouvait résoudre que par un raisonnement expérimental. Et Le Monnier est parvenu à la solution, au fond, exactement comme le fait un historien, qui veut isoler l'action d'un phénomène, social, ou politique, quelconque.

Il a étudié, parmi les observations anciennes, en se livrant à un véritable travail d'historien, seulement les observations où Saturne était placé au même point de son orbite, et à la même distance du soleil, et où par conséquent, s'il y avait des inégalités, elles ne pouvaient désormais plus être dues qu'à l'attraction de Jupiter. En effet, étant donné ces observations, Jupiter seul était différemment placé, et inégalement distant de Saturne, ce qui était excellent, puisque, Jupiter étant différemment placé et inégalement distant de Saturne, si l'on trouvait, suivant les cas, des variations de Saturne, et si ces variations correspondaient précisément aux différences de distance et de place de Jupiter, la démonstration était faite : c'était Jupiter qui provoquait les inégalités de Saturne. C'est ce que prouva cette étude.

Le Monnier, d'autre part, a observé lui-même, dans les mêmes conditions, Saturne se trouvant toujours à la même distance du soleil, et au même point de son orbite, et seul Jupiter étant dans des positions différentes. Et il a trouvé que, dans ce cas-là, le mouvement de Saturne se trouvait ralenti, et se trouvait toujours ralenti plus ou moins selon la distance où se trouvait Jupiter, et selon la place de Jupiter. D'autre part, inversement, le mouvement de Jupiter se trouvait accéléré, ce qui correspondait au principe de réaction de Newton : c'était l'attraction de Saturne sur Jupiter.

Au cours de ses observations, non seulement Le Monnier a trouvé cette solution, mais il s'est aperçu qu'autour de Jupiter les planètes décrivaient des ellipses, qui répondaient exactement aux lois de Kepler. Et l'ensemble, alors, de ces constatations de Le Monnier prouvait donc la réalité de l'attraction. Elles prouvaient que les

principes de Newton s'appliquaient à Jupiter, à Saturne, et aux satellites de Jupiter. C'était encore un coin de l'espace céleste qui se trouvait annexé dans le principe de l'attraction, et qui entrait dans le système de l'attraction universelle.

Ces travaux de Le Monnier sont d'une parfaite élégance, d'une certitude absolue, et ils ont beaucoup contribué à donner la victoire à Newton sur Descartes, dans cette lutte en astronomie.

D'autre part, Lacaille, au cap de Bonne-Espérance, en 1751, a déterminé les positions de toutes les étoiles qui étaient visibles entre le pôle austral et le Tropique du Capricorne. Il a fait un catalogue de 10.000 étoiles. Et, non content de cela, il a employé ses moments perdus à calculer la distance de la lune. Il a agrandi considérablement l'univers, puisqu'il a assigné à la lune une distance de 85.464 lieues.

Ainsi, par l'ensemble de ces travaux, vous voyez que l'univers s'agrandissait considérablement, en même temps qu'il apparaissait de plus en plus soumis aux principes de Newton.

Enfin, de son côté, d'Alembert a utilisé ses principes de mécanique à résoudre, en 1749, le problème de la précession des équinoxes. Il a montré que la précession des équinoxes avait pour cause la force de la gravitation sur un globe terrestre qui n'était pas rigoureusement sphérique. Il a poussé ses calculs. Il a obtenu des résultats numériques qui rendaient parfaitement compte des observations. Et il a confirmé encore, par là même, la vérité de la gravitation universelle, puisque la précession des équinoxes ne pouvait s'expliquer elle-même que par la gravitation universelle et par l'ensemble des principes de Newton.

Ainsi les observations, et le raisonnement expérimental, prouvaient la vérité de newtonianisme. Mais vous savez qu'il y a un autre moyen de prouver une théorie scientifique, c'est de bâtir un raisonnement tel que ce raisonnement retrouve, sous une forme syllogistique, sous une forme déductive, tout ce qui a été observé, et découvert. Et dans ce cas, si l'on peut construire, selon un système déductif, tout ce qui a été trouvé, c'est une preuve de plus de la vérité du système, puisqu'il apparaît complètement homogène, et expliqué dans toutes ses parties.

Dans les sciences sociales, qui, à cause du nombre fantastique de leurs variables, restent encore largement étrangères aux mathématiques, on construit de ces systèmes, mais ils restent toujours un peu douteux, même dans les meilleures conditions, parce qu'on n'est jamais sûr, dans une déduction ordinaire, de ne pas donner aux termes une compréhension différente, au fur et à mesure que l'on progresse dans le raisonnement. Au contraire, vous savez qu'en mathématiques, sciences qui ont un langage parfaitement précis, on est absolument certain de ne pas donner aux termes une compréhension différente, et que le résultat d'un calcul, s'il reprend tous les éléments découverts précédemment par la voie de l'observation et du

raisonnement, est une preuve évidente de la vérité du système.

Euler s'est donc mis à faire, par le calcul, la théorie des observations de Le Monnier. Ce qui consistait, en partant d'un principe abstrait, à reconstruire tout ce que Le Monnier avait construit, en somme sous forme déductive (mais non pas sous forme syllogistique, puisqu'il s'agissait ici de calculs).

En 1748 et 1752, il a obtenu, par deux fois, le prix de l'Académie des Sciences de Paris. Il a montré que les inégalités de Saturne et de Jupiter venaient de leur gravitation mutuelle, que ces inégalités tenaient aux positions respectives des orbites, et, chose très importante, que, dans de nombreuses années, les phénomènes seraient exactement contraires. Il n'a d'ailleurs pas tiré les conclusions de ce qu'il venait d'établir. C'est beaucoup plus tard que les conclusions ont été tirées, par un autre astronome. La conclusion, c'est la stabilité du système solaire, et par conséquent le fait que l'on n'a pas besoin de l'hypothèse "Dieu", en sciences, pour étudier ce système solaire. Mais ceci, Euler ne l'a pas déduit. Je me contente de vous le signaler. Nous le retrouverons plus tard.

Enfin il s'est posé la fameuse question des comètes, qui a été un triomphe, encore, des méthodes de calcul.

Vous savez que la nature exacte des comètes était encore discutée au XVIIIe siècle. Il y avait encore des gens qui disaient que c'étaient des feux qui s'éteignaient et qui se rallumaient de temps à autre, sans qu'on sache pourquoi. Et il y avait d'autres explications. Newton, lui, avait proposé (en vertu d'ailleurs de ses principes) de les considérer comme des astres permanents, soumis à des retours périodiques, et qui exécutaient leur révolution autour du soleil suivant des ellipses très allongées, selon le principe de la gravitation universelle.

Halley, s'inspirant de Newton, avait, dans sa "Cosmographia", de 1720, calculé l'orbite de vingt-quatre comètes. Et il y en avait une qui l'avait particulièrement intéressé, celle qui porte son nom, d'ailleurs, qui était apparue en 1682, et dont, d'après ses allures à ce moment-là, Halley avait pensé qu'elle devait avoir une période de soixante-quinze à soixante-seize ans, et qu'elle devait par conséquent revenir vers 1759, si la théorie de Newton était exacte.

Ce n'était d'ailleurs pas très facile de la chercher et de vérifier au moyen des instruments, parce qu'on ne savait pas exactement vers quelle époque et à quel point du ciel elle allait réapparaître. On ne savait pas, en effet, où elle allait réapparaître, parce que le calcul de Halley ne donnait pas de certitude, étant donné que, la comète ayant pu être dérangée deux fois au cours de sa trajectoire - une fois par Jupiter et une fois par le soleil - on ignorait où elle allait revenir au juste.

Clairaut s'est alors attaqué, avec l'aide de Lalande, alors tout jeune astronome, au problème. Il a calculé l'action de Jupiter, par l'application du "problème des trois corps", qui se formule ainsi : "Etant donné trois astres, leur position, leur masse, leur

vitesse, trouver les courbes qu'ils doivent décrire, étant donné que leurs attractions sont proportionnelles aux masses, et aux inverses des carrés des distances". - C'était évidemment un travail extrêmement complexe. Et les premiers calculs ont montré que, même lorsque la comète est plus éloignée de Jupiter, son orbite devait tout de même être troublée, parce que l'attraction de Jupiter déplace le soleil d'une toute petite quantité et qu'ainsi, un des foyers de l'ellipse de la comète se trouvant déplacé, toute l'ellipse l'est.

Enfin, malgré toutes ces difficultés, en novembre 1758, Clairaut a annoncé le passage de la comète dans son périhélie, c'est-à-dire au point de l'orbite le plus rapproché du soleil, vers le milieu d'avril 1759. Et il a indiqué le point où on la verrait réapparaître. Mais toutefois il a indiqué qu'étant donné la complexité des influences réciproques, il avait pu se tromper d'un mois dans son calcul.

Or la comète, après être apparue, à l'endroit indiqué, dès le 21 janvier, s'est trouvée à son périhélie précisément au milieu de mars. C'est-à-dire que Clairaut, comme il l'avait déterminé, s'était trompé exactement d'un mois.

Tout le monde a été frappé d'admiration par ce résultat du calcul, qui, étant fait entièrement suivant les principes de Newton, et aboutissant à une précision telle, puisqu'elle allait même jusqu'à déterminer l'erreur possible, était une confirmation, la meilleure peut-être que l'on pût donner, de la vérité de la théorie de Newton, puisque l'on pouvait prévoir, et que la prévision, dans les sciences, est la meilleure des confirmations.

En 1760, Clairaut a alors publié la théorie du mouvement des comètes. Et, cette fois-ci, son calcul, qu'il avait rectifié, lui a permis de fixer mathématiquement au 4 avril le passage au périhélie, qui s'était effectivement réalisé au 13 mars. Il n'a jamais pu faire coïncider exactement son calcul avec la réalité, parce que, étant donné les dizaines de milliers de calculs qui ont été nécessaires à Lalande et à lui-même pour aboutir à leur résultat, il leur était absolument impossible de tenir compte exactement de toutes les forces qui s'exerçaient sur les astres en déplacement.

Désormais, la théorie de Newton était prouvée. Après les résultats de Clairaut, succédant à ceux de Le Monnier, il n'y avait plus rien à dire. Et en effet tous les gens sérieux se sont inclinés.

Naturellement, Clairaut a été attaqué. On aurait dû lui élever une statue, on l'a couvert de critiques. La différence entre le résultat de son calcul et l'observation a été taxée d'erreur considérable, ce qui était ne rien comprendre à la question. Ses calculs et ceux de Lalande ont été déclarés n'apporter rien d'important à la conjecture de Halley. On a prétendu que toute la gloire revenait à Halley, etc... - Je pense que vous rectifierez aujourd'hui cette injustice commise à l'égard de Clairaut, qui, est mort soit de ce mauvais traitement, soit de surmenage en 1765.

L'astronomie, cependant, malgré ces résultats, n'était pas encore arrivée tout entière au stade positif, parce que Euler, comme Newton lui-même, doutait, en présence de ce système, que des forces si nombreuses, si variables en position, si différentes en intensité, pussent se maintenir de façon permanente en position d'équilibre. Et, malgré le calcul, qu'il avait fait lui-même, sur le retour des positions dans le système solaire, il pensait, comme Newton, qu'une main puissante devait intervenir de temps en temps, pour remettre en place les corps qui avaient été déviés de leur position, par leur attraction mutuelle. De sorte que pour lui l'attraction devenait, comme pour Newton, une confirmation de la nécessité de Dieu : Dieu existait, puisque sans lui le système solaire se serait déréglé, et que "l'éternel Horloger" était nécessaire au fonctionnement de la gigantesque horloge.

Vous voyez donc qu'il restait à l'astronomie - comme d'ailleurs encore aux mathématiques, bien que les mathématiques soient les plus avancées et les plus parfaites de toutes les sciences - à atteindre le stade pleinement positif, le stade où l'esprit humain renonce à trouver l'origine des phénomènes, la nature des êtres, leur destinée, et où il se contente de découvrir, entre les phénomènes, les lois de variation qui les unissent. C'est la marche du XVIIIe siècle, et, dans cette marche, c'est seulement durant son dernier tiers que le XVIIIe siècle a atteint ce qui était dans la ligne de son développement, avec Lalande, avec Lacaille, avec Lagrange, avec les grands mathématiciens et les grands astronomes de la fin du siècle, qui ont fourni à Auguste Comte plus de la moitié de son système de philosophie positive.

LA BALISTIQUE.-

Quelques mots, pour terminer, sur une discipline qui pourrait tout aussi bien se rattacher à la technique, et qui au fond se rattache plus à la technique qu'à la science, c'est la balistique, la science de l'artilleur, la science des projectiles qu'on envoie à l'adversaire.

Il existait au XVIIIe siècle, déjà, des tables, pour les artilleurs. Il en existait en Angleterre, et il en existait en France. En France, c'est le fameux traité de Blondel: "L'art de jeter des bombes", qui date de 1683.

Ces tables étaient extrêmement approximatives, parce qu'elles étaient fondées sur la supposition de Galilée. - Lorsque Galilée avait fait ses calculs, il avait été obligé de simplifier beaucoup, comme il arrive toujours au début d'une théorie. Il avait supposé que l'air n'offre pas de résistance aux corps qui le traversent. Et il avait alors déterminé que la courbe décrite par un projectile lancé en l'air est une courbe parabolique, ce qui est vrai pour le vide, mais n'est plus vrai si l'on tient compte de la résistance de l'air. On n'avait pas pu aller plus loin, et les tables que l'on

utilisait étaient très approximatives. Elles servaient tout de même, mais avec une multitude de tâtonnements.

Lorsque la guerre a recommencé, vers 1740, un Anglais, appelé Benjamin Robins, a repris des expériences sur l'artillerie, qu'il a publiées en 1742, dans sa "New Theory on Gunnery" - "Nouvelle Théorie de l'Artillerie".

Il a commencé par prouver - ce qui était évidemment la base de tout - que l'action de la poudre cessait au moment où le boulet sort de la pièce, et, d'autre part, que toute la poudre est convertie en un fluide élastique, avant que le boulet ait sensiblement changé de place.

Puis, ayant déterminé par l'expérience ces deux vérités, qui lui fournissaient ses principes de base, il a déterminé alors la vitesse au sortir du canon, d'abord par le calcul, mais il a aussitôt confirmé son calcul par l'expérience, par le moyen suivant : A la bouche du canon, il attachait un pendule. Lorsque le projectile sortait, il repoussait le pendule, d'un angle plus ou moins grand, suivant la vitesse qu'il avait au sortir de l'âme. Et, alors, connaissant l'angle fait par le projectile, il était facile de calculer la vitesse, en vertu de ce principe de mécanique suivant lequel, lorsqu'un corps en déplacement heurte un autre corps au repos, les deux corps continuent pendant un moment leur mouvement ensemble, animés de la même vitesse. Le déplacement du pendule permettait donc de calculer la vitesse du projectile au sortir de l'âme du canon.

Il détermina ainsi qu'un boulet de 24, poussé par une charge de 16 livre de poudre, part avec une vitesse de 1.900 à 2.000 pieds à la seconde.

Il chercha alors à calculer la résistance de l'air. Or, si la vitesse du corps est petite, l'air déplacé revient immédiatement occuper l'espace laissé libre derrière. Mais, si la vitesse du corps est grande, un fluide élastique comme l'air ne peut prendre tout à coup la place laissée libre par le mobile. Il se forme un vide. Autrement dit, à ce moment-là, le mobile doit faire effort pour pousser l'air en avant, et il doit supporter le poids d'une colonne d'air, de même base, et d'une hauteur qui est égale à la hauteur de l'atmosphère elle-même. En partant de ce principe, il a déterminé que le boulet éprouvait une résistance égale à vingt fois son poids, c'est-à-dire une résistance de 484 livres.

Combinant alors ses raisonnements, ses calculs, et de nombreuses expériences, il est arrivé à déterminer aussi que la trajectoire du boulet n'est pas une parabole. Car, sous un angle de 45°, le boulet va à la distance de 2.456 toises, et, si la courbe était une parabole, il irait à une distance cinq fois plus grande. Autrement dit toutes les tables étaient à refaire. Et l'on a commencé à les refaire, pour l'usage des artilleurs.

L'ouvrage de Robins a été réédité dans ses "Essais de

mathématiques", à Londres, en 1761, et les deux ouvrages ont été traduits en français, dans une autre guerre, la guerre de l'Indépendance américaine, en 1781, par Dupuis à Grenoble, et en 1783 par Lombard, à Auxonne. Mais vous voyez qu'ici on arrive plutôt dans la technique au lieu de rester dans la science proprement dite.

— 1956 —