

PROSPECTIVE

2

CONSÉQUENCES GÉNÉRALES DES GRANDES TECHNIQUES NOUVELLES

ANDRÉ GROS
R. P. DUBARLE
A. LALLEMAND
JEAN DAR CET

BIBLIOTHÈQUE
IRFED
N°



**PRESSES UNIVERSITAIRES
DE FRANCE**

CENTRE INTERNATIONAL DE PROSPECTIVE

(Association déclarée conformément à la loi du 1^{er} juillet 1901)

« Groupe constitué pour l'étude des causes techniques, scientifiques, économiques et sociales qui accélèrent l'évolution du monde moderne et pour la prévision des situations qui pourraient découler de leurs influences conjuguées. »

CONSEIL D'ADMINISTRATION

PRÉSIDENT :

M. Gaston BERGER, *Membre de l'Institut,
Directeur général de l'Enseignement Supérieur*

VICE-PRÉSIDENTS :

MM.

Louis ARMAND, *Président honoraire du Conseil d'Administration de la Société Nationale des Chemins de Fer français, Président de la Commission de l'Euratom*

François BLOCH-LAINÉ, *Inspecteur des Finances, Directeur général de la Caisse des Dépôts et Consignations*

Pierre CHOUARD, *Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris (Physiologie végétale), Membre de l'Académie d'Agriculture*

MM.

Jacques PARISOT, *Professeur d'Hygiène et de Médecine sociale, Doyen honoraire de la Faculté de Médecine de Nancy, ancien Président de l'Assemblée Mondiale de la Santé*

Georges VILLIERS, *Président du Conseil National du Patronat Français*

Arnaud DE VOGUÉ, *Président des Manufactures de Glaces et Produits chimiques de Saint-Gobain, Chauny et Ciry*

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL :

D^r André GROS, *Président de la Société Internationale des Conseillers de Synthèse, ancien Vice-Régent de la Fondation française pour l'Étude des Problèmes humains*

TRÉSORIER :

M. Marcel DEMONQUE, *Président Directeur général de la société « Ciments Lafarge »*

TRÉSORIER-ADJOINT :

M. Pierre RACINE, *Conseiller d'État, ancien Directeur des Stages à l'École Nationale d'Administration*

me
F. BOORSE

III a
PRC



PROSPECTIVE

Nº 2

Chacun de nous a sa propre vue, différente et limitée, de ce monde immense et unique où s'écoulent nos existences. Être prospectif c'est réunir ces visions hétérogènes, les projeter ensemble vers l'avenir, en faire ce que les mathématiciens appelleriaient « une restitution » mais en élevant au plan humain les problèmes abordés, en refusant la rigidité d'une attitude purement intellectuelle qui serait dépourvue d'accents sensibles.

M. Louis ARMAND,
au Conseil d'Administration
du Centre International de Prospective.
(11 décembre 1957.)

PROSPECTIVE

PUBLICATION DU
CENTRE INTERNATIONAL DE PROSPECTIVE

NUMÉRO

2

(JANVIER 1959)

CONSÉQUENCES GÉNÉRALES
DES GRANDES TECHNIQUES NOUVELLES



PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE
108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, PARIS

1959

DÉPOT LÉGAL

1^{re} édition 1^{er} trimestre 1959

TOUS DROITS

**de traduction, de reproduction et d'adaptation
réservés pour tous pays**

© 1959, *Presses Universitaires de France*

Sommaire

	PAGES
AVANT-PROPOS par le D ^r ANDRÉ GROS	I
● ÉNERGIE ATOMIQUE	
Observations à propos de la seconde Conférence internationale des Nations Unies sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques	13
Vue d'ensemble de la Conférence (Extraits du résumé des travaux présenté par Sir John COCKROFT, <i>Prix Nobel, membre de la « Research United Kingdom Atomic Energy Authority »</i>).....	23
Le « Mouvement de Pugwash » par le R. P. D. DUBARLE, <i>o. p.</i>	41
Communiqué de la III ^e Conférence du Groupe de Pugwash, tenue à Kitzbühel du 14 au 19 septembre	47
● CYBERNÉTIQUE	
Observations à propos du II ^e Congrès international de Cybernétique de Namur	59
Science, Technique et Cybernétique (Extraits d'une communication du P ^r Louis COUFFIGNAL, <i>Inspecteur général de l'Enseignement, directeur du Laboratoire des Machines mathématiques à l'Institut Blaise-Pascal</i>)	65
L'Automation, une solution inadéquate (The irrelevance of automation, Extraits d'une communication de M. Stafford BEER, <i>Chef du Département de Recherche opérationnelle et de Cybernétique de United Steel Companies Ltd</i>).....	81
● ASTRONAUTIQUE	
Les débuts d'une grande aventure humaine : l'astronautique est née par le P ^r A. LALLEMAND. <i>Professeur à l'Observatoire de Paris-Meudon</i> et Mr M. GARNIER <i>Directeur technique adjoint de la S.N.E.C.M.A.</i>	101
● ÉCONOMIE	
Investissements et Techniques nouvelles par M. JEAN DARCET <i>Secrétaire général adjoint de la Société Internationale des Conseillers de Synthèse.</i>	117

AVANT-PROPOS

L'activité du Centre International de Prospective s'étend progressivement et les Cahiers, dont nous présentons ici le second aux lecteurs, constituent l'un de ses moyens de liaison. Liaison qui n'est pas à sens unique puisqu'elle s'est établie, dès la première parution, grâce au volumineux courrier qui nous apportait, de France et de nombreux pays étrangers, encouragements, suggestions et, surtout, réactions sensibles d'hommes de tous milieux, de toutes professions, de toutes origines. Parmi eux, la proportion est forte de ceux qui occupent des postes de responsabilité, comme aussi de jeunes qui se préoccupent déjà des conditions dans lesquelles ils y accéderont un jour. Tous semblaient particulièrement frappés par cette proposition apparemment simple et cependant fondamentale d'adopter une attitude prospective.

La présente publication est consacrée aux Conséquences générales des Grandes Techniques nouvelles, expression sous laquelle nous rangeons essentiellement l'Énergie atomique, l'Énergie solaire, la Cybernétique, l'Électronique, l'Astronautique. Elle tient compte de certaines suggestions reçues. Il en sera de même du troisième Cahier, en préparation, consacré aux problèmes de l'Assistance technique, évidemment envisagés dans une optique prospective. Ainsi, notre Association a le sentiment de toujours mieux travailler au contact d'une élite dynamique et volontiers enthousiaste.

Dans le premier Cahier nous avons présenté, en juin 1958, des articles correspondant à une recherche d'expression pros-

pective effectuée par certains administrateurs du Centre. Ils évoquaient des questions où leur notoriété et leur autorité personnelles sont indiscutables. La préface de notre président, M. Gaston Berger, coordonnait ces différentes études, en dégagait une philosophie de notre attitude.

Nous employons pour cette seconde publication une méthode différente. Les Grandes Techniques nouvelles symbolisent l'un des motifs prospectifs les plus importants de notre époque. Notre intention n'est pas tellement d'informer mais bien plutôt de proposer des éléments de réflexion à une élite. Pour qu'elle pense ses problèmes, elle doit orienter de plus en plus son action et sa méditation vers le futur, et n'agir dans l'immédiat qu'en fonction d'un devenir à court, à moyen ou à long terme.

Nous avons choisi à titre symbolique de vous entretenir de certaines manifestations :

- la II^e Conférence Internationale des Nations Unies sur l'Utilisation de l'Énergie atomique à des fins pacifiques, qui s'est tenue à Genève en septembre 1958 ;
- le II^e Congrès International de Cybernétique, qui a eu lieu à Namur à la même époque.

De courtes notes d'observateurs envoyés par le Centre International de Prospective pour assister à ces deux manifestations sont suivies de larges extraits de communications ou de documents rigoureusement sélectionnés parce qu'ils nous paraissent promouvoir une réflexion générale dans le sens de l'avenir et qu'ils correspondent aux modes de pensée de nos administrateurs et des membres de notre Association sur des sujets de même ordre. Ces textes permettent de retrouver l'homme sous les innombrables questions que le spécialiste a trop souvent la tentation de ne considérer et traiter que pour elles-mêmes. Ils permettent également d'établir, en fonction de l'homme, une véritable échelle des valeurs pour situer chaque problème en ses différents aspects.

Nous aurions pu également évoquer par exemple la X^e Assemblée Générale de l'Union Astronomique Internationale

qui s'est réunie à Moscou en août 1958, ou le Congrès de la Fédération Internationale d'Astronautique qui s'est déroulé à Amsterdam du 25 au 30 août 1958. Mais si nous avons choisi, comme l'une des bases de ce Cahier, le II^e Congrès International de Cybernétique de Namur et le II^e Congrès International des Nations Unies sur l'Utilisation de l'Énergie atomique à des fins pacifiques tenu à Genève, c'était surtout parce que leurs prolongements nous semblaient importants.

A Namur, la variété des sujets abordés, la démarche de pensée de cette discipline nouvelle qui mêle les mathématiques abstraites à l'observation clinique de vérifications d'hypothèses de travail nous semblaient prometteuses. Nous avons été frappés par la dynamique présidence de M. le Pr Boulanger, animateur de l'Association Internationale de Cybernétique et nous avons retenu l'extraordinaire richesse prospective d'un exposé de M. le Pr Couffignal : *Science, technique et cybernétique*, ainsi que le développement équilibré et profondément humain de M. Stafford Beer : *L'automation, une solution inadéquate*.

A la Conférence de Genève, très brillamment présidée par M. le Pr Francis Perrin, nous avons voulu suivre le puissant mécanisme administratif, scientifique et industriel mis en jeu par une réunion avec juste raison très orchestrée et qui, sans cesse, faisait pénétrer vers le futur. Nous avons choisi pour ce Cahier, parmi les innombrables communications et exposés, de larges extraits de la communication de Sir John Cockroft, véritable synthèse panoramique de l'immense question évoquée. A Genève, nous avons voulu également percevoir ce qui distinguait cette Conférence de la troisième réunion du « groupe de Pugwash ». Celui-ci, comportant environ cent fois moins de participants, a réuni également d'éminents physiciens, chimistes et biologistes de tous pays d'Est et d'Ouest que préoccupent, au delà de la recherche fondamentale, les conséquences générales de l'énergie atomique et aussi le rôle et la responsabilité des savants. Ceux-ci, dans un monde où la puissance relative des États se fonde sur leur avance scientifique ou technique, se trouvent

engagés — bon gré, mal gré — dans une compétition aux prodigieuses conséquences humaines et politiques. Ils veulent, conformément à l'appel lancé par Einstein et Sir B. Russel, il y a quelques années, évoquer entre eux et, s'il se peut, dominer cette situation nouvelle. Après deux réunions privées tenues au Canada, ils étaient dans la semaine qui suivait la Conférence de Genève, les invités — pour la première fois — d'un Gouvernement (celui de l'Autriche) et la déclaration commune qui explicite les points où ils sont tombés d'accord à Kitzbühel, nous paraît extrêmement importante. Nous avons cru devoir publier le texte de ce communiqué si profondément émouvant. Réaction sensible sans laquelle il n'est pas d'attitude prospective et qui sera placée à son plan véritable dans cette publication par le court texte tellement profond du R. P. Dubarle, l'une des autorités morales les plus écoutées par de nombreux responsables et notamment par de nombreux physiciens atomistes.

Nous aurions pu, dans ce Cahier, publier également un article traduisant notre inquiétude concernant la future santé globale de l'homme, question qui, en liaison avec de nombreux organismes, est actuellement à l'étude dans notre Association. Mais nous avons préféré présenter deux articles qui provoquent une certaine forme de réflexion recherchée par nous :

M. le Pr A. Lallemand, professeur à l'Observatoire de Paris et M. Michel Garnier, directeur technique adjoint de la S.N.E.C.M.A., évoquent pour nous, avec sobriété, certains aspects de l'Astronautique, cette technique nouvelle récemment inscrite dans nos vies quotidiennes, aux conséquences futures incalculables.

Enfin, après une observation directe des faits et un long travail en équipe, M. Jean Darcet, conseiller de synthèse, aborde un problème, actuel et futur, capital : la manière de penser les investissements en fonction des techniques nouvelles. Ce qu'il en propose résulte de sa collaboration avec M. Denizet, administrateur civil à la Direction du Trésor, ainsi qu'avec certains administrateurs du Centre International de Prospective, notamment MM. François Bloch-Lainé et Marcel Demonge. Il

nous prouve à quel point il faut renouveler conception et mode de pensée pour se maintenir dans un ordre de grandeur inhabituel.

Ainsi ce Cahier n° II qui, répétons-le, ne veut pas être seulement un outil d'information, comporte un ensemble de textes complémentaires qui s'attachent surtout à solliciter la réflexion et la sensibilité orientées vers l'avenir. Il désire être l'expression d'une attitude prospective. Celle-ci nous conduit progressivement à des rapports solides avec de nombreux organismes, parfois spécialisés au contraire du nôtre, et où se retrouvent, concernant le motif général abordé aujourd'hui, les chercheurs et techniciens valables de l'Énergie atomique, de l'Électronique, de l'Astronautique et même de la Biologie et de la Sociologie ainsi que de toutes les disciplines et applications qui y contribuent.

Nous rencontrons ainsi beaucoup d'hommes qui « faisaient de la prospective sans le savoir ». Ils nous expriment une double satisfaction : d'abord celle de trouver une réponse à l'une de leurs préoccupations essentielles dans le terme de « prospective » proposé par notre président, M. Gaston Berger, et ensuite celle de connaître la création de notre Association. De la sorte, une nouvelle méthode de travail, une nouvelle démarche de pensée permettent d'associer librement et profondément des savants et des techniciens à certains médecins, industriels, agriculteurs, fonctionnaires, économistes, sociologues, éducateurs ou prêtres puisque l'homme doit être, pour les uns comme pour les autres, l'objet constant de toute étude et de toute action. Des dialogues qui s'engagent avec ces spécialistes, à partir de sujets parfois spécialisés, se dégage ce que nous cherchons, c'est-à-dire l'essentiel, ouvrant la voie des profondes résonances et provoquant les véritables compréhensions et les décisions valables dans le temps.

Pour le Centre International de Prospective comme pour beaucoup d'hommes, la conclusion de notre recherche incessante réside dans la certitude de grands changements prochains auxquels l'humanité doit se préparer. Sans pessimisme négatif ni optimisme excessif, mais avec l'objectivité, l'honnêteté et

l'humilité nécessaires en face d'un tel objectif, nous voudrions contribuer à donner une vue plus claire des perspectives ouvertes pour les décades à venir. Nous voudrions que les articles inédits réunis, dans cette publication, à des extraits sélectionnés parmi de très nombreux textes récents en raison de leur signification générale, contribuent à communiquer le goût d'une attitude active, tonique et attentive à l'égard du futur. Il s'agit parfois d'essais de prévision... jamais de prophétie. Plus ou moins lentement, parfois brusquement, il faut penser que nous allons voir se modifier certaines structures de notre monde. Les structures industrielles et agricoles, sociales, économiques et politiques vont subir les transformations exigées par le passage à d'autres ordres de grandeur, par le mouvement que nous percevons déjà de « planétarisation » des problèmes. L'enseignement et l'éducation devront s'adapter aux exigences démographiques et à des conditions nouvelles de vie comme à des formes de relations profondément différentes entre l'Occident et le reste du monde.

Commandées tout particulièrement par le développement des Grandes Techniques nouvelles, ces transformations, qui paraissent inéluctables, exigeront surtout, pour être des progrès et non des catastrophes, une adaptation des hommes à de nouvelles formes de pensée et de vie. Et cette adaptation n'est pas inscrite dans les faits. Il faut, dans la mesure des possibilités humaines, la préparer et la vouloir. Il faut penser aux véritables aspirations et besoins des hommes. Il faut penser aux valeurs essentielles de civilisations dans un monde dont l'évolution est en constante accélération.

En écrivant ces lignes, nous évoquons le Pr R. Oppenheimer qui fut l'un des invités éminents du Centre International de Prospective en avril 1958 et qui déclarait au cours de son passage à Paris : « Chacun de nous doit maintenant s'accrocher à ce qui l'entoure, à ce qu'il sait, à ce qu'il peut faire, à ses amis, à son amour, en insistant sur le fait que la vie ne sera pas facile, qu'il faudra lutter pour apprendre à participer à la vie de notre village sans nous désintéresser de celle du monde. »

Peut-être verra-t-on mieux ainsi ce que recouvre pour nous le sujet Conséquences générales des « Grandes Techniques nouvelles », expression s'opposant en quelque sorte à « Nouveautés Techniques » aussi bien qu'à « Avance technique ». Il nous semble en effet que le mouvement irrégulier mais constant que symbolise le mot « progrès » s'applique à ces dernières et correspond à un processus auquel les hommes se sont accoutumés. Il correspond aussi à cette période où « l'événement » sous ses apparences divines, naturelles ou sociales était inéluctable en même temps qu'imprévisible, échappait, par nature, à ceux qui le subissaient et s'efforçaient de s'en accommoder. Avec les Grandes Techniques nouvelles, nous entrons au contraire dans une période où l'événement, sans dépendre de l'homme, lui paraît, et effectivement lui devient, dans une certaine mesure, accessible. C'est dans cette mesure que le monde change pour nous, que nos façons de penser et nos manières d'être sont appelées à se renouveler. Ainsi les conséquences générales des Grandes Techniques nouvelles concernent la position des hommes placés — pour la première fois — dans un environnement où ils interviennent de plus en plus, sans le dominer jamais complètement. Dans un tel cas, de nombreuses perspectives traditionnelles sont modifiées. L'équilibre entre les libertés et les contraintes, les notions de temps et d'espace, l'espérance moyenne de vie, la douleur physique, la conduite de la vie qui exige une formation permanente au lieu de se baser uniquement sur celle reçue dans l'adolescence, sont autant d'exemples des reconsidérations auxquelles il faut procéder, auxquelles il faut courageusement procéder — sans hâte mais sans non plus perte de temps.

Allons-nous, dès ce Cahier ou à bref délai, dire comment ? Ce serait présomption ou erreur. Nous croyons que notre rôle est, autour de ces notions simples et générales, de participer à poser correctement les problèmes. Qu'il est de réunir ceux des spécialistes conduits par leurs travaux et leurs réflexions à l'attitude prospective. Qu'il est de développer cette attitude chez tous ceux qui y aspirent. Qu'il est, dans ce but, d'approfondir les trois axes centraux d'étude de notre Association : les Pro-

blèmes humains, l'Occident et les autres Grandes Civilisations, les Conséquences générales des Grandes Techniques nouvelles.

« Être prospectif », c'est faire un effort persévérant pour créer en soi le réflexe grâce auquel l'homme évolue sans cesse des faits observables de la vie aux idées générales symbolisées par ces trois grands sujets comme réciproquement, des idées générales aux faits quotidiens. C'est savoir reconnaître les accents qui, sans cesse, autour de nous, expriment la nature profonde de l'homme — sa recherche — l'alternance de ses craintes et de ses espoirs, à propos de ses actions et de ses besoins, de ses pensées et de ses sentiments. C'est affirmer le respect de l'homme et, dans la mystérieuse évolution du monde, vouloir qu'il joue pleinement le rôle auquel il semble appelé.

Pour moi comme pour beaucoup d'autres, « faire de la prospective » consiste à épuiser tous les moyens dont la société moderne dispose pour connaître et prévoir, pour organiser et décider. Mais la destinée n'est pas pour autant entre les mains de l'homme. « Faire de la prospective » admet une certaine forme de transcendance. Et nous nous taisons alors pour laisser parler le R. P. Daniélou (1) :

... J'en viens à l'angoisse de l'homme devant sa propre puissance. Je pense ici à Oppenheimer, quand il se rend compte qu'il incarne une puissance de mort dont les conséquences peuvent être tragiques. L'homme de la technique a peur. Il a peur parce qu'il dispose en effet aujourd'hui de moyens de puissance tels que ceux-ci lui donnent des pouvoirs sans aucune comparaison avec ceux dont disposait l'homme du passé, et que l'existence de catastrophes cosmiques dont il pourrait être l'instrument devient parfaitement vraisemblable. Le progrès de la technique ne suffit pas à résoudre le drame de l'homme, il ne s'agit pas simplement d'inventer des instruments, il s'agit de savoir ce qu'on va en faire. Aussi, il y a aujourd'hui un problème de la responsabilité morale du savant. Ce problème d'ailleurs n'est pas d'aujourd'hui. Léonard de Vinci, qui était ingénieur, avait refusé de publier les dessins du sous-marin qu'il avait déjà inventé parce

(1) Extrait d'une conférence du R. P. DANIELOU, La Mission chrétienne dans un monde technique, lors des Journées annuelles 1958, du Cercle Saint-Jean-Baptiste (publiée dans le *Bulletin du Cercle Saint-Jean-Baptiste*, de juin-juillet 1958, p. 201 à 206).

qu'il estimait essentiellement déloyal d'attaquer un ennemi qui ne vous voyait pas et sans l'avertir ! Ceci suppose que les moyens de la technique sont référés à un ordre de valeur qui ne peut être que celui d'un certain absolu du bien et du mal, un ordre moral, humain, en fonction de quoi seule la technique peut ainsi prendre son sens.

En dernier lieu, une manière exclusivement technique d'envisager le monde matériel lui-même le prive de sa dimension sacrale. Car le cosmos n'est pas seulement un ensemble de forces que nous pouvons chercher à mettre à notre service. C'est aussi un monde qui nous révèle quelque chose qui est au delà de lui-même. Un univers qui serait celui de la pure technique serait comme un temple désaffecté, vidé d'une certaine présence. Or le sacré, la dimension religieuse du monde est quelque chose dont l'homme moderne recommence à avoir une espèce de soif vitale.

Ainsi voit-on, une fois encore, que la même attitude s'impose dans des domaines apparemment différents, mais cependant reliés entre eux dès que s'y applique une réflexion attentive, basée sur les faits concrets, dirigée vers les idées générales et centrée sur l'homme et le respect de l'homme.

Le mot même de prospective s'est ainsi révélé porteur d'un message, d'une « intégration » de certaines valeurs et de certaines préoccupations, rendant plus significative leurs expressions habituelles.

D'autre part, l'opportunité de cette attitude est soulignée par la spontanéité avec laquelle toutes les personnalités auxquelles nous désirions demander une collaboration ou l'autorisation de publier ici des textes qui nous avaient frappé, nous ont donné leur accord. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre gratitude, non seulement pour cette aide matérielle, mais pour l'engagement évident qui les porte vers le comportement que nous voulons progressivement définir.

ÉNERGIE ATOMIQUE

*OBSERVATIONS A PROPOS DE
LA SECONDE CONFÉRENCE INTERNATIONALE
DES NATIONS UNIES
SUR L'UTILISATION DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE
A DES FINS PACIFIQUES (1).*

Vivre quelques journées à Genève pendant la « II^e Conférence internationale des Nations Unies sur l'Utilisation de l'Énergie atomique à des fins pacifiques » était un excellent stimulant pour la réflexion en même temps qu'une occasion exceptionnelle d'information générale.

Certes, on n'y retrouvait pas le ton de la première réunion, celle de 1955, où le climat politique d'atténuation de la guerre froide, la levée d'une partie des secrets, les contacts officiels prolongés enfin établis entre savants et techniciens de l'Est et de l'Ouest, la révélation d'une similitude de résultats dans des domaines encore douteux, avaient soulevé un enthousiasme aujourd'hui retombé.

En 1958, au contraire, les préoccupations techniques courantes semblaient surtout occuper l'esprit des participants. La retenue perçue à propos de certains sujets pouvait être attribuée aussi souvent à la vivacité de compétition entre chercheurs qu'à des directives gouvernementales de silence. La part faite aux tactiques politiques paraissait limitée aux échelons les plus élevés des délégations.

D'autre part, le temps merveilleusement beau, le site du lac et des montagnes, la tradition de Genève, lieu de rencontre pour la paix, auraient donné un caractère presque normal à cette manifestation, n'eût été l'échelle à laquelle elle se situait ! Car les limites de la puissante organisation administrative des

(1) Cette note a été rédigée par M. Georges Guéron, conseiller de synthèse, secrétaire général du Centre de Synthèse Politique des Techniques nouvelles, assistant permanent auprès du Conseil d'Administration du Centre International de Prospective.

Nations Unies semblaient atteintes pour satisfaire les besoins de quelque 5 000 congressistes et 1 000 journalistes. Les deux expositions installées pour la durée de la conférence auraient certainement mérité de devenir permanentes. Et le président Francis Perrin, retenant le taux du doublement tous les 3 ans de l'activité mondiale en matière atomique, paraissait hésiter à envisager une telle prochaine conférence d'ensemble en 1961.

Ce gigantisme et cette rapidité du rythme d'évolution fournissaient un premier sujet de réflexion. Les lecteurs qui voudront examiner les larges extraits que nous donnons plus loin du texte où Sir John Cockroft a magistralement résumé les communications faites et les plans envisagés, verront bien que cet exposé confirme la première impression d'un observateur non technicien, à savoir que les U.S.A. et l'U.R.S.S. sont seuls à la dimension des problèmes matériels posés par le développement de l'énergie atomique au rythme prévu. Encore l'une et l'autre de ces deux puissances comptent-elles utiliser l'attraction qu'elles exercent sur l'élite des techniciens et des savants du monde entier.

On ne saurait assez insister sur deux exemples qui se dégagent des expositions et des communications et se rapportent à l'influence de l'énergie atomique sur l'évolution des nations :

— Le premier concerne l'Angleterre qui, se limitant courageusement à des recherches et des installations essentiellement axées sur la satisfaction de ses besoins énergétiques urgents, atteint cependant visiblement la limite de ses efforts.

Il existe quelque chose de poignant dans le spectacle donné par ce pays pour forger les instruments d'une grandeur politique adaptée au monde moderne et l'évidente impossibilité d'y parvenir totalement pour 50 000 000 d'hommes obligés d'importer une si large part de leurs aliments, de leurs matières premières et du charbon ou du pétrole nécessaires à leur mise en œuvre. Ni la qualité des hommes, ni l'effort financier (10 fois supérieur à celui de la France), ni l'orientation réfléchie des programmes atomiques, ni l'acceptation de certains risques audacieusement pris ne semblent permettre, à terme, au

Royaume-Uni une compétition efficace avec ses deux grands partenaires.

— Le second concerne les communications faites sur la formation des chercheurs et des techniciens. Il en résulte que des chiffres de même ordre de grandeur sont annoncés par d'aussi petits pays qu'Israël et d'aussi grands que l'Inde, chiffres qui d'ailleurs — et dans la mesure où ils sont comparables — s'élèvent à la moitié ou au tiers de ceux indiqués par la France. Ainsi voit-on qu'avec des niveaux de vie, de population, et de ressources aussi différents que ceux de ces trois pays, chacun, isolément, est, en somme, au début de l'effort constructif nécessaire.

La nécessité de former de grands ensembles et la possibilité actuelle de le faire avant que des structurations différentes et indépendantes n'y ajoutent des obstacles supplémentaires, semblent alors s'imposer à l'esprit. Dans le même sens s'inscrivent les communications faisant ressortir, à propos de l'Europe, les imbrications internationales inévitables dues par exemple aux fleuves européens (Rhin, Danube) s'ils doivent servir d'effluents aux déchets faiblement radio-actifs, ainsi qu'aux dangers courus par les pays voisins de ceux où se produirait un accident augmentant la quantité de radio-activité locale. De tels accidents survenant sur la côte Sud-Est de l'Angleterre, en Belgique, en Suisse ou en Autriche par exemple, pourraient impliquer la mise en œuvre immédiate de mesures de sauvegarde dans 4 ou 5 pays européens. Et certes, les auditeurs des communications évoquant les circonstances de l'accident de Windscale étaient particulièrement attentifs. Il se confirme alors que les organisations internationales et d'abord l'europpéenne, se trouveront à bref délai saisies de problèmes administratifs ou politiques au delà de leurs activités scientifiques et techniques.

Un second sujet de réflexion est apporté par le sort même des hommes engagés dans la recherche pure et appliquée.

— Matériellement d'une part, car une des mesures révélatrices de leur condition est, par exemple, celle instaurée par le Centre de Saclay. Il ne délivre en effet que des diplômes de

validité précaire, renouvelée tous les 5 ans, à condition qu'un stage ait prouvé, au bout de ce délai, que le titulaire d'un titre d'ingénieur nucléaire s'est « tenu à jour » dans sa spécialité.

— Socialement d'autre part, car chaque pays « capitalise » dans la formation d'un spécialiste et l'outillage qui lui est confié, des investissements considérables sans que jusqu'ici sa « mission sociale » ait été définie. Cela se trouvait symbolisé par l'emploi fréquent de l'adverbe « malheureusement » dans des cas inattendus. Nous avons par exemple entendu dire que « malheureusement », les taux de radio-activité des refroidisseurs étaient restés bas, ce qui n'avait pas permis de juger de l'efficacité de certains systèmes préventifs ou encore que « malheureusement » on n'a pas, sur terre, de température de 20 millions de degrés permettant l'étude facile des plasmas à « une chaleur commode ».

— Moralement enfin, car leurs travaux sont programmés en fonction d'une volonté étatique de puissance qui, les impliquant, directement ou indirectement, dans un rôle déterminant d'efficacité politique, insinue dans leur situation une profonde ambiguïté.

On ne peut, en effet, parcourir les expositions et se mêler aux congressistes sans se dire qu'on y rencontre les hommes et les procédés sur lesquels reposera, dans un avenir prochain, la maîtrise d'un secteur déterminant des organisations économiques et sociales, stratégiques et politiques. Et sans se demander quelle éthique les inspire ou se construit en eux et autour d'eux. Il faut reconnaître qu'à Genève on ne sentait pas fréquemment, en un tel domaine, un effort ou un souci qui fut à la taille des réalisations techniques et du problème général que pose leur développement. Dominante technique ? Pudeur d'expression ? Manque de temps ? Certes, la conférence des Nations Unies était suivie d'une autre réunion, totalement indépendante, organisée à Kitzbühel par le « groupe de Pugwash » qui réunit un petit nombre de savants éminents de nombreux pays d'Est et d'Ouest et qui s'est donné pour tâche d'aborder ces questions. Le manifeste publié à l'issue de leurs travaux et dont on trouvera la traduction dans ce volume, montre chez ces hommes de haute

réputation et de grand savoir, une volonté d'éclairer, pour tous les responsables, une conséquence essentielle du développement de leurs recherches. Mais si le problème qu'ils étudient surtout, celui du danger couru par l'humanité du fait des armements nucléaires est, en effet, le plus grave et le plus pressant, il n'est qu'un aspect d'un problème bien plus général, que l'on pourrait formuler ainsi : arrivée au degré de puissance et de conscience qu'elle vient d'atteindre, l'humanité doit-elle continuer à s'efforcer de s'adapter tant bien que mal aux circonstances, ou peut-elle, au contraire, et veut-elle en ce cas, commencer à construire un monde fait pour l'homme. Il nous semble que les savants atomistes sont en effet aux prises avec un sujet qui invite à refuser « le problème en soi », celui de la bombe, du coût de l'énergie ou de la recherche pure, pour aborder le « problème global », celui de la remise en cause de tous les anciens facteurs d'équilibre entre la puissance des hommes qu'ils envisagent de multiplier des millions de fois et leur prudence qu'il faut envisager de porter à une échelle correspondante.

Un troisième ordre de réflexion était imposé par la séparation et l'éloignement des deux expositions, la scientifique installée au Palais des Nations, et l'industrielle, située à quelques kilomètres de celle-là. Cette coupure, qu'elle fut voulue ou nécessitée par des considérations d'ordre matériel, frappait inévitablement les visiteurs. Elle semblait correspondre d'ailleurs à un effort du secteur privé pour solliciter une clientèle encore presque inexistante en dehors des organismes d'État qui sont aujourd'hui, pratiquement, les seuls maîtres d'œuvre des programmes de développement atomique.

L'importance et le nombre des stands qui, à l'exposition industrielle, offraient des appareillages annexes aux réacteurs proprement dits, montraient d'une part combien l'électronique, l'industrie chimique, la métallurgie, l'industrie électrique, progressent à la demande directe des installations de réacteurs et, d'autre part, quels usages les isotopes radio-actifs ont déjà trouvés au service de la médecine, de l'agriculture et des méthodes de contrôle industriel. L'observateur était frappé aussi de voir

certaines firmes privées américaines et, avec moins d'audace et peut-être même d'agressivité, les organismes d'État anglais et français, prendre une position de « vendeurs de réacteurs » ou, tout au moins, de projets complets. Une firme allemande adoptait également cette seconde position.

Le total avancé à la fin de la conférence, d'un chiffre d'affaires de l'ordre de 20 milliards de francs, réalisé par les exposants pendant les deux semaines d'ouverture, reste à vérifier, mais fournit un ordre de grandeur si on le compare aux 100 milliards de crédits alloués en France sur cinq ans au C.E.A. pour ses investissements.

Mais il montre bien, même s'il atteint ce niveau, qu'on est encore au tout début d'une utilisation aisée des nouveaux moyens offerts par les techniques de l'énergie nucléaire. Il fallait d'ailleurs se défendre pour en être persuadé car tout était fait, surtout dans les stands américains, pour donner l'impression que chacun pouvait se faire livrer, à bref délai, un réacteur. Cet optimisme était confirmé par la présentation à l'exposition scientifique américaine d'un réacteur « Argonaute » de 10 kW thermique dont la construction fut commencée le jour de l'ouverture de l'exposition, en présence des visiteurs, le fonctionnement assuré, au bout de quatre jours, pendant une semaine et le démontage réalisé, toujours devant les congressistes, pendant les trois derniers jours de la conférence. Dès qu'on examinait, même en non-technicien, les présentations des maquettes d'installations en fonctionnement, en construction ou en projet, on sentait au contraire l'immense effort exigé par de telles réalisations. On mesurait aussi l'avance technique des grandes sociétés américaines et des groupements formés entre elles et leurs différences d'échelles avec les associations analogues de firmes anglaises ou françaises, quelle que soit la puissance de celles-ci au plan national. Les stands de pays comme la Belgique, la Suisse, l'Argentine, l'Italie... confirmaient la notion d'une industrie et d'un marché qu'on ne peut envisager dans l'optique classique d'entreprises spécialisées, ni dans le cadre de petites nations. Par contre, la controverse entre les présidents de la première conférence

(le Dr Bhabha, délégué de l'Inde) et de la seconde (M. Perrin, France), sur l'utilisation de l'Énergie par les pays sous-développés, était révélatrice. Pour le second, chez qui dominent sans doute les soucis de réalisation du programme français, il fallait d'abord constituer une infrastructure industrielle puissante. Pour le premier, savant et technicien averti, mais aussi membre d'une communauté confrontée à des nécessités vitales immédiates, il faut passer sans délai de l'espoir théorique à la preuve tangible, fournie par des réalisations concrètes, que ces espoirs sont fondés. Cette pression d'une immense clientèle, aussi impatiente que dépourvue des moyens financiers et techniques d'action, correspondait, en fait, à l'existence de deux expositions séparées. La recherche semble, dans une large mesure, indifférente à de nombreux utilisateurs dont les problèmes sont, avant tout, économiques et matériels.

Nous ne dirons ici qu'un mot des aspects de la conférence révélés par les communications et l'exposition scientifiques. Non qu'ils paraissent négligeables ! Mais parce que, sans doute, beaucoup d'informations paraîtront à ce sujet. La part dominante était attribuée aux recherches sur l'énergie de fusion et les réactions thermo-nucléaires, et nous y reviendrons. Celle accordée aux applications biologiques, médicales, agricoles et industrielles de l'utilisation des isotopes radio-actifs, égalait celle qui concernait la technique des piles et la physique théorique. L'extension de ces applications appelait l'accroissement des communications concernant les précautions d'emploi, mais elle semblait développer surtout la familiarité que prennent des techniciens et des chercheurs de toute discipline avec le langage « atomique » et la manipulation des produits et des rayonnements. Il se crée toute une catégorie d'hommes habitués à manier et à mesurer des « choses invisibles », à se comporter en fonction de leur présence, voulue bénéfique là où on l'applique, mais dangereuse pour l'opérateur ou les sujets d'expérience, et insidieusement dangereuse. Un certain malaise en résulte, plus sensible sans doute à l'observateur extérieur qu'aux intéressés, mais qui vient bien de leur propre attitude.

Ce qu'on montrait par ailleurs des recherches en cours sur les réactions thermo-nucléaires avait deux aspects passionnants :

— Le premier était le contraste entre d'une part le « matériel des découvertes », comme par exemple celui utilisé par MM. Yang et Lee pour leurs travaux sur le principe de parité et dont l'apparente simplicité gardait l'aspect familier d'un appareillage bricolé, et d'autre part l'extrême complication et le luxe de carénage ou de protection adopté pour les machines expérimentales qui exploitent immédiatement les données de l'expérience-mère.

— Le second était la conviction imposée par les explications des démonstrateurs que, aux températures auxquelles ils travaillent, tantôt très basses, tantôt très hautes, ils se trouvent devant des « états de la matière » tout à fait nouveaux, si bien qu'une sorte de palier s'impose aux recherches orientées d'abord vers la construction d'appareils producteurs d'énergie, mais qui sans doute devront d'abord améliorer la connaissance théorique de phénomènes physiques encore inconnus. Le lien entre l'astronomie, l'aéronautique et les recherches physiques en cours, paraît donc devoir se renforcer beaucoup dans les années à venir accroissant encore le nombre des disciplines complémentaires nécessaires aux équipes atomistes.

Quelle conclusion tirer de ces quelques remarques, sinon que nous assistons à la naissance d'un mouvement de pensées, de recherches et d'applications qui, pour la première fois, implique des conséquences générales directes ou indirectes pour tous les hommes de cette génération et leur postérité. On ne peut admettre que les problèmes posés par le développement de ce mouvement restent du domaine de la science, de la technique et de la stratégie. Non seulement il faut les aborder sous d'autres aspects comme ceux de la santé ou de l'organisation administrative ou politique de grands ensembles, mais il faut soutenir ou provoquer une recherche plus large et véritablement humaine. Que devient l'homme ? Quelles exigences subira-t-il ? Que recevra-t-il en compensation de ces exigences ? Comment faire pour que chaque recherche particulière soit intégrée à cette

recherche globale ? Comment construire des hommes qui ne deviennent pas seulement de bons spécialistes, mais sentent toujours l'importance attachée à la façon dont ils contribuent à aborder une ère nouvelle ? Problème, certes, qu'il n'était pas besoin d'aller à Genève pour redécouvrir. Mais qu'on sentait mieux là, en septembre 1958, posé, urgent, et pourtant encore en partie méconnu.

VUE D'ENSEMBLE DE LA CONFÉRENCE

Extraits de la communication faite par
Sir JOHN COCKROFT O.M., F.R.S.
le vendredi 12 septembre 1958 (1).

J'ai reçu la tâche difficile de fournir une vue à vol d'oiseau des travaux de cette conférence, et, en utilisant les richesses des récentes informations, d'interroger une fois de plus la boule de cristal pour essayer de prédire le cours du développement pacifique de l'énergie atomique dans le monde. Si nous songeons au rapide progrès de ces trois dernières années, je suis certain que vous ne me demanderez pas d'avoir une vision claire au delà des cinq prochaines.

Les trois années écoulées depuis la première conférence ont été importantes du fait de l'installation des premières centrales nucléaires mondiales à grande puissance à Calder Hall, Shippingport et, récemment, en Sibérie. Nous avons, de ce fait, commencé à acquérir une expérience pratique de l'utilisation de l'énergie nucléaire qui nous a également renseignés sur les caractéristiques de fonctionnement de ces centrales. De nouvelles informations techniques complètent les précédentes expériences à petite échelle faites sur les réacteurs de recherche.

Notre première impression est que ces centrales d'énergie nucléaire ont été dociles et se sont bien comportées. Elles peuvent fournir de l'électricité pendant des mois et des mois jusqu'à ce que se produise quelque incident secondaire. Les défaillances les plus courantes ont été celles concernant des éléments conventionnels comportant leurs habituelles exigences d'entretien. Il y a eu un nombre étonnamment petit d'éléments de combustibles défectueux. Les éléments combustibles exigent

(1) Le texte définitif et complet de cette communication se trouve aux *Actes de la 11^e Conférence Internationale sur l'Utilisation de l'Énergie Atomique à des fins pacifiques*, édités par l'Organisation des Nations Unies.

des gaines pour protéger le matériel fissile de la corrosion par les refroidisseurs. Cette corrosion peut entraîner des fuites des produits de fission radio-actifs dans le circuit de refroidissement. De ce fait, il faut exiger un très haut degré de sûreté des éléments de combustibles.

.
Les centrales d'énergie nucléaire construites jusqu'à présent dans le monde ont été à la fois des centrales d'énergie et des centres expérimentaux, et ne sont pas économiques comme le seraient des centrales purement commerciales. Néanmoins, l'expérience acquise par leur fonctionnement a été inestimable pour ouvrir la voie aux prochaines réalisations qui, dans la plupart des cas, comprendront exclusivement des centrales nucléaires commerciales où les prix de revient seront basés sur la valeur réelle du plutonium à des fins pacifiques.

Trois futurs types principaux de centrales à grande échelle nous ont été décrits ; premièrement, les réacteurs modérés au graphite, refroidis au gaz ; deuxièmement, les réacteurs à eau pressurisée ou à eau bouillante ; et enfin les réacteurs modérés à l'eau lourde. Le prix total de construction par kilowatt des premières centrales nucléaires commerciales a été sensiblement réduit par rapport à ceux de Calder Hall et Shippingport, mais il est toujours double de ceux des centrales à charbon ou à mazout. Les documents présentés à la Conférence montrent toutefois que les prix d'ensemble continueront vraisemblablement à décroître de façon appréciable au cours de la prochaine décade. Le coût global des centrales nucléaires du Royaume-Uni diminuera encore de 20 % en 1962 lorsque la puissance s'élèvera de 300 MW à 500 MW. Enfin, une dernière baisse d'au moins 10 %, grâce à des progrès de génie civil et à un accroissement de puissance, est prévue dans une communication du Royaume-Uni.

Les centrales constituées par des réacteurs à eau bouillante semblent avoir la préférence en raison des résultats satisfaisants des essais de réacteurs. Leur système à basse pression, leur petite dimension et leur relative simplicité leur permettront, dans les

cinq années à venir, d'obtenir des prix d'ensemble très bas.

Le prix du combustible est le second élément important du prix total et varie de 20 à 40 % du prix unitaire, selon qu'on emploie de l'uranium naturel ou de l'uranium presque naturel. Les réacteurs modérés au graphite ou à l'eau lourde auront les prix de combustible les plus bas. Le coût des combustibles nucléaires pour les réacteurs refroidis au gaz et modérés au graphite est d'environ 2 mils. Les Canadiens pensent que ce prix peut être abaissé à 1 mil pour les réacteurs à eau lourde. Le coût de combustible des réacteurs modérés à l'eau naturelle est d'environ 3 mils. Ces prix doivent être comparés à ceux des combustibles conventionnels variant de 3,3 mils dans les régions des U.S.A. où les combustibles sont bon marché, à 8 mils dans certains pays européens qui importent leur charbon. Ainsi les coûts des combustibles nucléaires devraient toujours être inférieurs à ceux des combustibles classiques.

L'économie d'ensemble des centrales d'énergie nucléaire dépend beaucoup des charges de capital, des facteurs de charge et du prix du combustible dans chaque pays. De hauts facteurs de charge sont essentiels pour réduire les prix d'ensemble actuellement trop élevés. Un représentant de l'Electricity Authority du Royaume-Uni nous a dit que le premier groupe de centrales atomiques était prêt à fonctionner en continu s'il n'y avait pas d'incident technique. Les prévisions économiques ont été cependant faites sur une base de 75 % du facteur de charge. Dans cette hypothèse, le prix de la production de la centrale de 500 MW prévue pour 1962 ne devrait pas dépasser celui des centrales fonctionnant au charbon dans des régions de Grande-Bretagne éloignées des mines. En nous basant sur notre actuelle expérience, nous pouvons penser que ces centrales auront un facteur de charge nettement supérieur tandis que les prix du combustible tendront à baisser avec l'accroissement des taux de combustion résultant du progrès technique et de la baisse du prix de l'uranium. Ainsi les prévisions semblent prudentes.

Vers la fin de la décade 1960-1970 au plus tard, quand s'accroîtra la capacité des centrales nucléaires installées, le facteur

de charge disponible diminuera, mais au même moment, il semble que de nouvelles réductions du coût de construction, de l'ordre de 20 à 30 %, feront compensation. Elles résulteront de l'obtention de plus hautes températures d'emploi et de meilleurs rendements, dûs à l'utilisation de combustibles céramiques. On peut donc prévoir que le coût de l'énergie nucléaire en Grande-Bretagne passera au-dessous du prix de production conventionnelle, au plus tard à la fin des années 60.

La période où ces prix trouveront la parité avec les fournitures classiques sera plus tardive dans un pays comme les États-Unis où l'énergie hydraulique et les usines thermiques utilisant du gaz naturel ou du charbon permettent de produire du courant à 4 mils. On nous a dit cependant que vers 1970 les États-Unis arriveront à la parité.

En Italie, les études de la Banque mondiale ont montré qu'avec des charges financières de 14 %, l'énergie nucléaire sera d'environ 10 % plus chère que celle de centrales à mazout et qu'il y aura peu de différence de rentabilité entre ces différents types. L'Inde a signalé que la première centrale de 150 MW atteindra d'emblée la parité ; si bien que nous voyons que cette parité sera générale à une date située entre 1963 et 1973, suivant les pays. C'est alors qu'on pourra déterminer le rythme d'installation des grandes centrales nucléaires industrielles. L'O.E.C.E. prévoit que l'Europe occidentale aura une capacité nucléaire de 10 000 MW en 1965 ; les États-Unis envisagent 1 300 MW pour 1963 et l'U.R.S.S. 2 000 MW pour 1960. Tout ceci conduit à une mise en service de 15 000 MW entre 1965 et 1970.

On convient généralement qu'autour de 1975, la plupart des centrales électriques en construction seront nucléaires.

Le Dr Bhabha se préoccupe du besoin en énergie atomique des pays sous-développés, les définissant comme des pays où le revenu par habitant est bas. Puisque l'Inde vient très bas dans la table des revenus par habitant, elle entre dans cette catégorie. Les besoins en énergie de l'Inde doublent tous les 6 ou 7 ans. Le Dr Bhabha considère que les centrales nucléaires seraient déjà compétitives et qu'en 1965, 500 MW seraient en service. Le

Japon semble être dans une situation similaire et annonce une production de 750 MW pour 1965. Le développement de l'énergie atomique dans les autres pays sous-développés dépendra des ressources locales en combustible, aussi bien que des crédits disponibles et de leur état de développement technique. Il sera difficile à l'énergie nucléaire de concurrencer les moteurs diesel là où les puissances requises sont inférieures à 30 MW et les facteurs de charge faibles. Il faut bien comprendre que les techniciens sont encore plus rares que les diplômés dans de nombreux pays et que cela représente un défaut crucial pour leur développement industriel. Je suis donc d'accord avec votre président sur le fait que l'énergie nucléaire ne pourra pas faire des miracles au profit des pays sous-développés.

Avant 1970, de nouveaux types de centrales d'une troisième sorte pourront être mis en service. Nous avons été informés des expériences faites sur leurs précurseurs, les réacteurs expérimentaux. Celles faites sur le réacteur modéré par un liquide organique ont révélé qu'il est d'un maniement commode grâce à son système de basse pression et à son refroidisseur qui n'est ni corrosif, ni radio-actif. Le coût de remplacement du modérateur exigé par la chute des radiations était jusqu'ici ignoré, mais semble s'établir autour de 1 mil par kilowatt-heure. Les expériences d'Oakridge sur le réacteur homogène à solution aqueuse montrent de réels progrès réalisés pour surmonter les problèmes difficiles de compatibilité, mais la stabilité des combustibles liquides reste un point crucial. Le réacteur expérimental sodium-graphite fournira d'utiles informations sur la technologie du sodium et les éléments combustibles métalliques à hautes températures. Les projets de réacteurs à hautes températures refroidis au gaz, utilisant des combustibles céramiques, pourront se révéler importants pour la propulsion navale ainsi que pour les usages terrestres vers la fin des années 1960. Un réacteur expérimental à haute température, refroidi au gaz, semble devoir être construit en Grande-Bretagne dans le cadre d'un projet européen.

Cycles de combustible

Nous avons entendu un nombre de communications intéressantes sur les cycles de combustible; il semble clair qu'avec la tendance générale à utiliser les oxydes d'uranium comme combustible, beaucoup de réacteurs construits après 1965 exigeront des combustibles enrichis à l'exception peut-être des réacteurs à l'eau lourde. Les réacteurs modérés au graphite ne demanderont qu'un faible enrichissement de l'ordre de 1 % d' U_{235} , ceux modérés à l'eau ordinaire utiliseront probablement environ 3 % d' U_{235} .

L'enrichissement peut venir aussi bien de U_{235} des usines de séparation, que du plutonium produit dans des réacteurs déjà en fonctionnement. De ce fait, on pourra employer l'uranium naturel ou légèrement enrichi par recyclage de plutonium, utilisant celui-ci sous forme d'oxyde mêlé à l'oxyde d'uranium. On nous a parlé de travaux technologiques prometteurs sur le recyclage et sur les limitations imposées par l'accumulation d'isotopes plus lourds comme le Pu_{242} . L'un des conférenciers a prédit qu'au moment où l'énergie nucléaire produira 20 % de l'énergie mondiale, nous aurons à investir environ 5 % des crédits prévus par les programmes nucléaires dans des usines de séparation isotopique pour fournir les charges initiales d'uranium faiblement enrichi.

Mais il existe un autre cycle, celui qui permet d'alimenter en plutonium les réacteurs surgénérateurs à neutrons rapides qui présenteront un facteur de gain positif en ce qui concerne le plutonium. Son avantage serait, à long terme, de nous permettre d'obtenir une meilleure utilisation des ressources mondiales d'uranium. La surabondance d'uranium envisagée pour les deux prochaines décades a montré qu'il n'y avait pas là un problème urgent. Nous pouvons donc prendre le temps nécessaire à développer complètement la technologie difficile des réacteurs à neutrons rapides. Nous avons eu à cette conférence des rapports sur les résultats déjà obtenus avec ce type de réacteur expérimental et nous avons reçu une grande quantité d'infor-

mations sur la physique, la cinétique et la stabilité de ces réacteurs...

Il ne faut pas s'attendre à ce que des réacteurs à neutrons rapides contribuent beaucoup à la production de l'énergie mondiale avant 1970.

Le thorium présente des avantages considérables comme combustible pour les réacteurs thermiques, mais la mise en train du cycle du thorium nécessitera de larges investissements en U 235 ou en plutonium. On nous a décrit la centrale d'Indian Point de 275 MW qui sera le premier réacteur à grande échelle à utiliser le cycle du thorium. Le thorium pourra être mis en usage avant 1970, surtout si de grosses quantités sont fournies par les sous-produits de l'extraction d'uranium.

Fourniture d'uranium et de thorium

M. Jesse Johnson nous a dit que les prévisions de la production d'uranium et de thorium pour 1955 avaient été dépassées. Il nous a révélé que, sur la base du coût actuel de production, nous pourrions obtenir des ressources d'au moins 40 000 t par an d'oxyde d'uranium à des prix variant entre 8 et 10 dollars par livre. Les réserves de minerai d'Afrique du Sud, du Canada, des États-Unis et de la France, contiennent au minimum 2 millions de tonnes d'uranium, et, sur la base des connaissances géologiques et de l'expérience des 10 dernières années, on peut envisager l'existence de 2 millions de tonnes de réserves supplémentaires. Ces chiffres sont de 2 à 4 fois plus élevés que ceux avancés en 1955, et, si nous supposons que les réserves de l'U.R.S.S., de la Chine et d'autres pays sont du même ordre, les réserves mondiales de minerai à teneur élevée peuvent s'évaluer autour de 10 millions de tonnes d'uranium.

Les ressources d'uranium en faible teneur dans les schistes et les phosphorites, semblent illimitées. Nous avons aussi appris qu'en dehors des gisements de thorium de l'Inde, d'autres ressources importantes ont été découvertes au Canada, à Blind River où le minerai renferme une part de thorium pour deux

d'oxyde d'uranium. Les réserves mondiales de thorium paraissent donc être, au minimum, de l'ordre de 500 000 t.

Au taux de 30 % d'utilisation, auquel nous arriverons par régénération, 10 millions de tonnes d'uranium équivalent à 10^{18} t de charbon, soit trois fois le montant des estimations des réserves mondiales de charbon. Nous pourrions avoir mis au point l'énergie de fusion longtemps avant de manquer d'uranium.

Propulsion nucléaire des bateaux

Les voyages du sous-marin américain *Nautilus*, couronnés par la remarquable traversée sous-marine des glaces polaires, ont abondamment démontré les capacités techniques de la propulsion nucléaire des navires. Le réacteur à eau pressurisée, employé pour produire la vapeur nécessaire à cette propulsion, a prouvé qu'on pouvait lui accorder toute confiance. On nous a parlé des premières approches pour la propulsion nucléaire commerciale. Le paquebot américain *Savannah*, navire mixte pour passagers et marchandises, entrera en service en 1960 et utilisera un réacteur à eau pressurisée développant 22 000 ch à l'hélice. Le coût de la propulsion par réacteur à eau pressurisée semble rejoindre celui des combustibles classiques, calculés à partir de ceux pratiqués aux U.S.A. et presque égaux à ceux des combustibles pétroliers. Le coût de construction cependant est jusqu'à présent 3 ou 4 fois plus élevé que celui du type classique et il faudra une réduction massive de ces prix avant d'arriver à la parité avec les moteurs de la propulsion classique. L'U.R.S.S. annonce, pour 1962, la construction d'un pétrolier nucléaire utilisant un réacteur à eau bouillante. Puisque ce type de réacteur semble avoir un coût de construction plus bas que celui à eau pressurisée, cela facilitera la soudure, bien que les frais de fonctionnement restent très au-dessus de ceux du type conventionnel. Il semble bien que nous aurons à attendre 5 ans ou plus avant de savoir si la propulsion nucléaire est rentable au point de vue commercial. Cependant, il y a des applications immédiates qui ne peuvent être possibles qu'avec l'énergie nucléaire. L'ouverture de la route maritime de 6 000 miles au

nord de la Russie a dû attendre l'endurance pratiquement illimitée des engins à propulsion nucléaire, et nous avons entendu de nombreux détails sur le brise-glace *Lénine* qui doit être mis en service en 1959. Trois réacteurs à eau pressurisée lui fourniront 44 000 ch à l'hélice pour sa propulsion.

En contraste avec les perspectives pleines d'espoir des applications maritimes, les applications commerciales de la propulsion nucléaire à l'aviation semblent beaucoup plus lointaines.

Réacteurs à fusion

Dans son discours présidentiel à la précédente conférence, le Dr Bhabha prédisait une mise au point d'une méthode pour obtenir une énergie de fusion contrôlée dans les 20 années à venir. Les communications présentées à cette conférence sur les recherches concernant la fusion ont montré que des progrès remarquables sont faits dans ce domaine sur un très large front. De nombreux chercheurs ont pris pour objectif à long terme d'atteindre des « températures » de 50 à 100 000 000 de degrés dans un mélange gazeux de deutérium et de tritium. Cela semble représenter le point « critique » à atteindre pour que l'énergie dégagée des réactions de fusion dans le mélange gazeux de deutérium et de tritium soit égale à l'énergie consommée. Le but lointain est d'aller bien au delà de 100 millions de degrés pour employer la réaction deutéron-deutéron et éliminer la dépendance actuelle envers le lithium comme matière première du tritium.

Bien que nous ayons employé le mot « température » comme une mesure de nos progrès, nous devons nous rappeler qu'il n'est pas rigoureusement applicable à ces plasmas très chauds et très complexes. Nous devons aussi nous rappeler que les températures des électrons sont souvent très différentes de celles des deutérons et que ces dernières sont celles qui importent à notre objectif.

Des rapports provenant de plusieurs laboratoires indiquaient que des « températures » de plusieurs millions de degrés ont été obtenues dans du deutérium gazeux et qu'on ira proba-

blement très largement au delà dans l'avenir. Il est nécessaire, naturellement, de pouvoir tenir ces très hautes températures pendant un temps assez long pour brûler une proportion appréciable de deutérium. Ainsi à une température de 50 millions de degrés, dans un mélange deutérium-tritium et avec une densité de gaz d'environ 1/1 000 d'atmosphère, il y a seulement 1 % de tritium en fusion en 1/10 de seconde.

Le confinement de ce gaz à très haute température résulte dans tous les cas de l'impulsion du champ magnétique de ce qu'on appelle « la bouteille magnétique ». Le confinement dépend aussi de la possibilité de maintenir ce plasma, très chaud et très ténu, rayonnant de l'énergie à un taux élevé, dans une configuration stable, exempte d'oscillations violentes ou de manifestations éruptives qui aboutissent à une perte d'énergie.

On nous a décrit deux voies principales d'approche pour les réacteurs de fusion. La première est la méthode de décharges de haute intensité sous striction utilisée dans Zéta et d'autres tores comme dans le Stellarator et dans les tubes à décharge linéaire. La stabilité du plasma dépend étroitement des rapports entre les champs magnétiques produits par la circulation du courant et ceux qui y sont ajoutés pour produire le confinement et la stabilité. Dans Zéta, le confinement n'est pas bien compris et nous ne savons pas encore à quel point nous serons capables de le maintenir si nous augmentons l'apport d'énergie. Nous avons entendu dire que d'autres modèles de tores peuvent perdre de grandes quantités d'énergie par évaporation d'électrons vers la paroi du tube. Ainsi la production d'un plasma stable est le problème fondamental.

Dans les modèles de tores, le plasma est chauffé de différentes façons : par effet Joule, par impulsion de choc, par emploi de radio-fréquence. Les « températures » ont été mesurées par l'effet Doppler sur les atomes d'impureté hautement ionisés ou par d'autres méthodes indirectes. Il semble que des températures de deutérons de plusieurs millions de degrés aient pu être obtenues, mais que les températures d'électrons soient beaucoup plus faibles.

La seconde série de méthodes de fusion est connue sous le nom de « machine-miroir » et s'efforce aussi de maintenir le plasma dans une « bouteille magnétique » mais où le plasma est chauffé d'une manière différente. Dans le « Pyrotron », la première des machines-miroir, le plasma a été chauffé en utilisant la pulsation de champs magnétiques agissant comme des pistons magnétiques pour comprimer le plasma, et des températures d'environ 10 millions de degrés ont été enregistrées. Dans la machine D.C.X. d'Oakridge, le plasma est formé en faisant passer des faisceaux intenses d'ions moléculaires très rapides dans une chambre où les molécules passent à travers un puissant arc à charbons et sont divisées en atomes d'hydrogène, dont les uns restent neutres et les autres sont chargés. Les atomes neutres quittent le plasma et les atomes chargés sont pris dans la bouteille magnétique et forment un plasma très chaud. Le progrès de cette méthode dépendra étroitement de la possibilité de produire plusieurs ampères d'ions moléculaires et de se préserver au maximum des pertes d'énergie du plasma. La méthode mérite d'être suivie avec un grand intérêt. La machine russe « OGRA », qui vient d'être terminée, travaillera sur un principe similaire, mais les ions moléculaires y seront brisés par la rencontre avec les atomes contraints à cheminer dans une longue spirale située entre les miroirs magnétiques. Pour ces machines-miroirs également, le succès dépendra de leur capacité à maintenir le plasma stable.

Les réacteurs de fusion devront finalement développer plusieurs centaines de MW par mètre cube de plasma, si bien qu'ils ne seront pas d'une taille très différente des réacteurs de fission.

.....

La question importante est de savoir si nous pouvons maintenir la stabilité de nos plasmas tout en consommant plus d'énergie, et si nous pouvons, de cette façon, atteindre le point critique où l'énergie produite par la fusion sera égale à l'énergie consommée. Le Dr Thonemann pense que cela peut prendre 10 ans et que même si nous réussissons, il faudra au moins encore 10 ans avant

de savoir si nous pouvons construire une centrale de fusion compétitive. Je suis d'accord avec lui et l'échelle de temps du Dr Teller est même plus longue.

Aspects biologiques de la radio-activité

On ne s'attendait à aucun progrès révolutionnaire dans les applications des isotopes radio-actifs en médecine et en biologie. Les principes de l'emploi des traceurs sont maintenant bien établis, si bien que nous notons seulement un accroissement des applications.

La biochimie a été révolutionnée par la mise à sa disposition de composés marqués et, à chaque Congrès, de nombreux travaux sont exposés sur l'usage qu'on en fait pour étudier la dynamique des réactions chimiques. A cette Conférence, on a pu constater la façon dont les traceurs radio-actifs ont étendu notre savoir dans des domaines importants, tels que la synthèse des protéines.

Une grosse partie du travail maintenant classique de la biochimie a été réalisée grâce au Carbone 14. Au cours de la première conférence, Glascock avait fait remarquer cependant la valeur potentielle supérieure du tritium. Cela a été mis en évidence à cette Conférence puisque le tritium ayant été incorporé dans la thymidine, une marque spécifique a pu être imposée dans les nucléoprotéines des noyaux des cellules. Le tritium, grâce à la très basse énergie de son émission bêta, permet des localisations très précises par les techniques d'auto-radiographie. Ainsi, met-on directement en évidence des processus qui se déroulent au sein des noyaux cellulaires, processus qu'on déduisait jusqu'alors de considérations indirectes.

La médecine clinique bénéficie de la même manière de l'application des traceurs radio-actifs pour ses problèmes de diagnostic et la mesure des fonctions spécifiques des organismes. Le médecin n'est plus limité à la seule identification de ce qui est absorbé ou excrété; il peut suivre les métabolismes intermédiaires *in vivo* par des comptages directs ou par des prélèvements de tissus ou de sécrétions. Une contribution notable de cette

Conférence est d'avoir signalé l'emploi toujours plus grand d'isotopes radio-actifs de courte période qui permettent de réduire les doses radiologiques infligées au sujet. Une application de l'Oxygène 15, produit au cyclotron, pour les recherches de déficiences pulmonaires, s'est aussi révélée très ingénieuse. Enfin, on a pu voir, à l'exposition, les pilules isotopiques employées pour le diagnostic, telles que les avait annoncées le Dr Libby.

Les applications biologiques de l'énergie nucléaire vont cependant bien au delà de la médecine. L'emploi de radiations ionisantes est en train de devenir l'une des caractéristiques de nombreuses professions. Leurs effets sur les individus qui y sont professionnellement exposés, comme sur les populations en général, ont conduit à de très nombreux travaux expérimentaux comme à bien des spéculations. Les effets biologiques peuvent se manifester au cours de la vie de ceux qui les subissent ou seulement sous forme d'effets génétiques sur leur postérité. Le récent rapport de la Commission des Nations Unies sur les Radiations atomiques et les travaux de l'International Committee for Radiation Protection (I.C.R.P.) nous ont maintenant fourni des règles pour permettre de protéger la santé du travailleur individuel et celle des populations en général. Il est réconfortant de pouvoir dire à cette conférence que nous avons reçu la preuve que les doses de radiations provenant du fonctionnement des installations faites sous responsabilité gouvernementale sont, à très peu d'exceptions, extrêmement basses. Mais aussi nous avons eu pour la première fois, la preuve que l'industrie privée peut mener à bien des opérations commerciales avec d'aussi bons résultats en ce qui concerne la protection du personnel.

.

Néanmoins, les données expérimentales montrent qu'un raccourcissement de la vie des animaux peut résulter de l'absorption de doses substantielles. On commence à mieux comprendre les effets des radiations sur l'extension de la leucémie et d'autres maladies malignes.

C'est sur l'aspect génétique des effets biologiques des radiations que cette Conférence a ouvert de nouvelles perspectives. En fait, la mutation des gènes en proportion directe avec les doses des radiations était acceptée comme une loi qui, quelle que soit l'intensité d'irradiation, était valable jusqu'aux plus faibles doses possibles accumulées. Or W. et L. B. Russel ont montré une discontinuité de la fonction linéaire dans les relations entre le taux de mutation et la dose absorbée pour des mutations ponctuelles dans les spermatogonies de souris mâle. D'autre part, ils ont montré que l'ovule mûr de souris femelle est notablement moins sensible aux mutations provoquées que la spermatogonie du mâle. Des résultats semblables viennent d'être obtenus à Harwell par P. Carter. Ces deux faits nécessiteront sans doute une reconsidération complète des prévisions quantitatives des dangers génétiques.

Un autre point remarquable des communications sur les questions génétiques se rapporte à l'effort croissant fait pour étudier les populations contaminées. Tandis que les caractères déterminés par les gènes isolés restent l'objet d'études théoriques de laboratoires. La plupart des caractères essentiels des mammifères — ce qui représente leur conformité avec le type normal — sont la somme des effets de nombreux gènes. Les études portant sur le maintien des caractères normaux des populations ont ainsi une extrême importance, mais elles sont difficiles à promouvoir. Il faut féliciter les chercheurs d'avoir abordé et mené à bien un travail aussi important.

Santé et sécurité

Un grand nombre de communications ont été consacrées aux problèmes de la sécurité des réacteurs. Nous avons eu de nombreux exposés concernant l'important travail expérimental fait sur la cinétique et la stabilité des réacteurs. Nous avons été informés des effets que l'accumulation de radio-xénon et de la production de plutonium au sein du combustible ont sur la cinétique des réacteurs. On peut parer à ces difficultés d'emploi avec des appareils-contrôle bien établis.

Nous avons aussi beaucoup appris des trois accidents de réacteurs qui ont amené la fusion partielle d'éléments combustibles de réacteurs.

Bien que deux des réacteurs aient été mis hors de service pour un an, et que le troisième ait été abandonné, personne n'a été blessé au cours de ces accidents ou n'a reçu de doses excessives de radiations. Les conséquences de ces accidents concordent de façon remarquable avec l'une des communications expérimentales montrant qu'une très petite partie seulement d'isotopes capables de pénétrer le système osseux, s'échappe du combustible fondu. Les désagréments dus à ces accidents sont en somme moins importants que ce qui avait été envisagé dans les études de 1955. Les réacteurs construits après ces premiers modèles sont beaucoup mieux protégés, aussi bien par leur enceinte que par les appareils de sécurité; plusieurs rapports ont montré que des progrès considérables sont faits dans les projets de parois isolantes et on peut penser maintenant être à l'abri des plus graves accidents prévisibles. Cela nous donne une grande confiance dans la sécurité d'emploi future et nous pourrons, par conséquent, envisager l'édification d'usines dans des sites plus peuplés.

Nous avons aussi été informés de l'amélioration des services nationaux d'inspection et de sécurité des réacteurs, inspirés de ceux qui sont en usage dans les industries aéronautiques. Ils étudient les projets et prescrivent des modes opératoires pour contribuer à garantir la sécurité. Nous avons aussi besoin d'un Corps International de Sécurité des Réacteurs pour aider les petits pays qui n'ont pas d'experts qualifiés en matière de sécurité.

Dans nos sessions juridiques, nous avons entendu parler de nouvelles conventions internationales que nécessiteront les problèmes soulevés par les réacteurs mobiles, l'enfouissement des déchets radio-actifs dans les océans ainsi que la réparation des dommages éventuellement causés par des accidents de réacteurs au delà des frontières nationales.

Emploi des isotopes pour l'industrie et la recherche

Les emplois de radio-isotopes, déjà très nombreux, continuent à augmenter rapidement. Le Dr Libby a estimé que leur utilisation en matière de contrôle dans l'industrie pétrolière et quelques autres domaines de la production, épargnent déjà à l'industrie des États-Unis 400 millions de dollars par an et que les économies ne tarderont pas à atteindre plusieurs milliards. L'Académicien Topchiev a exposé que l'économie annuelle de l'industrie soviétique, grâce aux radio-isotopes, est de l'ordre du milliard de roubles. Plusieurs millions de mètres cubes de gisements pétroliers ont été localisés par des sources de neutrons.

Des sources de radio-cobalt et de radio-cæsium, d'une puissance de l'ordre de 100 000 curies, vont être bientôt disponibles pour des applications industrielles. Ces sources puissantes seront employées à la stérilisation du linge dans les hôpitaux, à celle des produits pharmaceutiques et des matières pour lesquelles la stérilisation chimique est plus difficile. On pourra aussi les employer pour produire des greffes de polymères dans lesquelles les propriétés des composants originaux seront améliorées. Ainsi le Dr Libby nous a parlé d'un film de Styrène-polyéthylène utilisé comme membrane d'échange d'ions avec d'excellents résultats pour l'épuration des eaux saumâtres. Le Dr Topchiev nous a annoncé qu'on avait réalisé des lingots polymères de polyéthylène et de polystyrène qui présentent une très grande résistance et une très grande stabilité à des températures supérieures à 250° C...

.
Le mouvement du sable dans les estuaires des rivières et dans les ports est maintenant étudié avec le concours de traceurs radio-actifs dans de nombreuses parties du monde après les études d'avant-garde conduites dans l'estuaire de la Tamise. De l'eau marquée à l'or et au tritium permet de déterminer les courants dans les rivières, les égouts et les infiltrations souterraines. Cette technique pourra recevoir des applications importantes dans la prospection des ressources hydrauliques des

contrées sous-développées, aussi bien que pour la conduite des systèmes d'irrigation dans les aires arides. La chambre photographique à particule alpha de polonium est un exemple d'un nouvel outil de recherche qui rend possible la mesure de différences de masse de l'ordre de 10^{-13} et peut-être de 10^{-15} g dans les coupes microtomiques des tissus biologiques. Ces exemples d'emploi des isotopes dans l'industrie et la recherche, pris presque au hasard dans une énorme quantité, ne font qu'illustrer leur déjà grande et toujours croissante importance.

Recherche fondamentale

Nous avons été à la fois intéressés et instruits par les questions consacrées à la recherche fondamentale. De nouveaux accélérateurs géants nous ont été décrits, et on nous a parlé de spécialistes de rayons cosmiques faisant voler de grandes quantités d'émulsions photographiques dans les « Comet » en vol d'essai pour obtenir une énorme moisson de matériaux nouveaux sur les collisions de protons animés d'une énergie 10 000 fois plus grande que celle obtenue dans les plus grands accélérateurs prévus. Grâce aux satellites artificiels, nous avons aussi appris l'existence, sous certaines latitudes, et à 1 000 km ou plus de la terre, de véritables ceintures de protons à 40 millions de volts d'énergie. L'importante question de savoir pourquoi les pions, les mésons π et les nucléons existent avec leurs masses et leurs interactions spécifiques reste totalement sans réponse malgré la richesse des connaissances apportées par les accélérateurs. Les particules étranges s'accumulent et on en dénombre maintenant 31. Les théoriciens ont une nouvelle occupation constante, à inventer de nouvelles règles et à attendre de voir si la dernière particule étrange leur obéit. Le Dr Feynman a prédit que d'ici 20 ans, nos successeurs pourront tenir une Conférence sur les Usages pacifiques des Particules étranges!

Dans le domaine des faits nucléaires, on nous a dit que la situation actuelle ne laisse pas de place aux relâchements car la technique des réacteurs exige beaucoup d'informations plus précises et nous avons à travailler fort pour les obtenir. Nous y

serons aidés par les nouveaux appareillages qui vont devenir disponibles et nous fourniront des flux de neutrons d'une énorme puissance.

.

Nous avons été à un riche festin, peut-être trop riche, à cette Conférence, non seulement grâce aux communications, mais aussi grâce aux expositions qui nous ont permis de voir en peu de jours d'une façon stimulante, l'ensemble du travail qui se réalise de par le monde. Nous avons tenu d'innombrables discussions en groupes restreints pour compléter les connaissances acquises dans nos séances officielles. C'est la méthode classique de coopération dans le monde scientifique. Nous allons partir avec beaucoup à penser, et cette Conférence, comme celle de 1955, aura sans doute un effet profond sur le développement, dans l'avenir, de l'énergie atomique.

LE « MOUVEMENT DE PUGWASH »

par le R. P. D. DUBARLE, O. P.

Au cours du mois de juillet 1957, vingt-deux savants appartenant à dix nations différentes, se réunissaient dans un petit village de la Nouvelle-Écosse, au Canada, dans la propriété qu'un homme d'affaires américain, M. Cyrus Eaton, mettait à leur disposition pour leur rencontre. Il ne s'agissait pas pour eux de traiter d'un sujet spécifiquement scientifique, mais d'un certain nombre de problèmes humains soulevés par le développement actuel des sciences et son retentissement sur les affaires du monde. Cette réunion allait permettre à des savants des deux côtés du « rideau de fer » de travailler ensemble dans un domaine débordant celui de la science strictement entendue.

Elle était elle-même un point d'aboutissement. Elle n'aurait pu avoir lieu sans les efforts faits depuis la fin de la guerre par les hommes de science impliqués dans les questions atomiques, efforts auxquels le *Bulletin of Atomic Scientists*, publié à Chicago depuis 1946 et dirigé par le Pr E. Rabinovitch, a fourni un moyen d'expression public. Elle faisait suite, d'autre part, à l'initiative prise par Lord Bertrand Russel en 1955, à la veille de la I^{re} Conférence mondiale pour l'Utilisation pacifique de l'Énergie nucléaire, de faire se rencontrer quelques signataires de l'appel rédigé par Einstein et Lord Russel en faveur de l'abolition de la guerre avec deux savants russes, les Prs Topchiev et Kusin, désignés par l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S. Cette fois, à Pugwash, trois savants russes et un représentant de la Chine allaient prendre part aux discussions. Sept Américains prenaient part aux débats. La France était représentée par le Pr A. Lacassagne, l'un des premiers pionniers de la radio-biologie.

Trois questions principales furent traitées à Pugwash. La première fut celle des dommages, sous l'angle principalement biologique, occasionnés par l'usage de l'énergie atomique en

temps de guerre et en temps de paix, en particulier du fait des retombées radio-actives dues aux explosions expérimentales. La seconde fut celle des contrôles possibles de l'armement atomique. La troisième, celle des responsabilités sociales qui incombent aux hommes de science.

Les discussions furent jugées si fructueuses et si fécondes en conclusions positives que l'on décida de poursuivre. Moins d'un an après, la seconde réunion de ce qu'on appelait déjà le « Mouvement de Pugwash » se tint, de nouveau au Canada et grâce encore au généreux appui matériel de M. Cyrus Eaton, à Lac-Beauport dans la province de Québec. Il s'agissait de faire un inventaire plus étendu des problèmes et de développer la discussion de ceux qui avaient été déjà abordés neuf mois plus tôt. De nouveau les conversations furent si concluantes que l'on décida de préparer pour le mois de septembre, immédiatement après la Seconde Conférence mondiale pour l'Utilisation pacifique de l'Énergie nucléaire, une réunion à une échelle plus importante, accompagnée de manifestations quasi officielles. Environ quatre-vingts personnalités scientifiques ou directement intéressées aux questions de la science se réunirent ainsi du 14 au 21 septembre, d'abord à Kitzbühel, puis à Vienne, avec l'aide matérielle et le patronage officiel du gouvernement autrichien, à qui revient l'honneur d'avoir le premier compris la haute importance de cette forme nouvelle de collaboration entre savants des différentes parties du monde. Il y avait cette fois à Kitzbühel vingt Américains, onze Russes, sept Anglais, quatre Français, et vingt-deux nations s'y trouvaient représentées. Les conclusions des travaux furent officialisées par une séance solennelle à l'Académie des Sciences d'Autriche et par une grande réunion d'information, en présence de dix mille participants, au Stadthalle de Vienne. On lira ci-après la traduction française de la déclaration commune des participants de la réunion de Kitzbühel.

Il y aurait infiniment à dire sur tout le détail des travaux qui se poursuivirent à Kitzbühel, qui firent progresser substantiellement les différents aspects de questions aussi complexes que

celles de l'emploi militaire des armes atomiques, de l'arrêt contrôlé des explosions nucléaires expérimentales, ou de la participation des hommes de science à l'effort de détente entre nations. Il semble préférable d'insister ici sur d'autres aspects de cette réunion et de tout le « mouvement de Pugwash », en insistant sur sa signification humaine, capitale pour notre époque.

Voilà plus de dix ans que les événements ont averti tous les hommes, mais plus particulièrement les savants, du rôle tout nouveau que la science, à travers l'écheveau complexe de ses conséquences pratiques, allait jouer dans l'ensemble des affaires du monde. Voilà plus de dix ans que les hommes de science, ceux en particulier qui jouèrent un rôle actif dans le développement de la conquête de l'atome, ont senti peser sur eux de nouvelles responsabilités, plus graves que celles dont il pouvait être question par le passé. Voilà plus de dix ans qu'Einstein disait que l'humanité, pour survivre, allait être acculée à une façon toute nouvelle de penser. Au cours de cette période, des essais ont déjà été faits pour reconnaître la situation nouvelle, pour se définir plus clairement ces responsabilités. Mais, à part la courageuse continuité du *Bulletin of Atomic Scientists*, il faut reconnaître que, pour utiles qu'ils aient été à quelques-uns et sur le moment, ces essais n'ont pas eu de suite. L'effort fait, les choses sont retombées à l'inertie, sans créer de mouvement, ne faisant qu'une première — et d'ailleurs utile — préparation du terrain. Cette fois un véritable mouvement paraît né. De plus, pour la première fois, avec des participations de forme un peu différentes de part et d'autre, il associe des savants de l'Ouest et des savants de l'Est. Il prend, de ce fait même, une signification mondiale. Ces deux caractères sont absolument essentiels.

Car il s'agit en effet d'un éveil nouveau de la conscience des hommes de science tentant, autant que possible à l'échelle mondiale, d'affronter en commun les problèmes désormais mondiaux de la communauté humaine. En la personne d'un certain nombre de ses représentants, la science prend conscience

de la portée désormais mondiale de ses retentissements sur l'existence de l'espèce humaine, de la nature globale des problèmes impliqués dans le fait de ces retentissements et du caractère universel des responsabilités dont les promoteurs de la recherche se trouvent chargés à ce titre. Elle prend en même temps conscience de l'impossibilité qu'il y a pour l'homme de science de porter à lui seul ces responsabilités. Pour être assumées avec assez de lucidité et assez d'efficacité, il faut que ces responsabilités soient assumées en commun par les scientifiques de tous les pays participant dans un même esprit à cette charge et à l'autorité morale qu'elle confère à ceux qui en prennent dignement sur eux le souci. En ce sens, le « mouvement de Pugwash » atteste un premier cheminement qui se fait au sein du milieu scientifique d'à présent en direction de la communauté mondiale des hommes de science.

La constitution consciente de cette communauté, sanctionnée par quelque forme d'institution à déterminer dans l'avenir, et revêtue d'une haute autorité de portée mondiale, est chose nécessaire. Car elle ne fait que faire entrer dans la vérité de notre existence le caractère d'authentique universalité humaine de la science, non seulement comme moyen de connaissance de la vérité, ce qu'elle a certes toujours été et toujours voulu être d'abord, mais encore comme moyen de conquête de la nature et de transformation du monde, ce qu'elle est de plus en plus et qu'elle n'a point à se refuser d'être. Le savant est, sur le plan de la connaissance et de la recherche, l'homme d'une vérité qui transcende les patries et qui ignore les frontières. Il est de même, sur le plan de l'humanité en travail, l'homme d'une communauté universelle, qu'il doit aider à s'épanouir mieux par l'usage même qu'elle fera de la connaissance dont elle dispose. Certes, il n'a pas pour autant à méconnaître ni à mépriser sa patrie. Mais il est forcé de percevoir, par-delà cette communauté encore particulière, la grande communauté des hommes dont le destin collectif, sous l'influence de facteurs qui ne sont nullement étrangers à son activité propre, est en train de se nouer de plus en plus. C'est à l'égard de cette communauté

qu'il exerce une responsabilité de choix, à laquelle il lui faut se préparer, non seulement en en comprenant plus profondément les attributions, mais encore en conquérant plus fermement l'autorité naturellement liée à l'exercice de cette responsabilité et les droits à l'intervention écoutée.

Les choses ne sont qu'en chemin parmi nous. Il n'y a pas encore, au sens auquel nous venons de songer, de communauté mondiale des hommes de science. Quelques rencontres utiles, plus qu'utiles, déjà fraternelles en dépit des appartenances humaines si différentes, idéologiques, naturelles, religieuses... Un mouvement encore peu étoffé, fragile, mal certain de lui-même, dira-t-on peut-être : quelques hommes qui entrevoient l'urgence et qui se mobilisent avec cœur ne suffisent sans doute pas encore. Qui plus est l'idée même dont « le mouvement de Pugwash » se trouve animé, en partie encore comme à son insu, ne laisse pas que de poser à l'individu scientifique d'à présent des problèmes souvent spirituellement difficiles et pratiquement fort épineux. L'instance mondiale n'est pas encore quelque chose de bien solidement humain parmi nous. L'instance nationale prévaut encore presque partout dans la vie des membres d'une société qui tend cependant, par la force des choses, à devenir mondiale. Les États nationaux sont des réalités puissantes et qui se sont habitués depuis un demi-siècle à compter plus encore qu'auparavant dans le concret de la vie des hommes de science, à travers une prise en charge matérielle de la recherche et de l'enseignement, un appel constant aux services de la science, un contrôle politique des individualités et des activités mises au service des objectifs nationaux. Les États nationaux sont le présent. La société mondiale cohérente et raisonnablement équilibrée en face des particularismes nationaux qu'elle ne supprimera pas, mais situera comme à nouveau, n'est qu'un avenir marqué de bien des aléas.

Cela met le savant qui prend conscience de ce vers quoi il tend au nom de ce qu'il porte en lui, dans une situation intime difficile, distendu qu'il est entre son appartenance nationale, qu'il ne saurait renier comme si elle ne comptait pas, et cette appar-

tenance au genre humain tout entier qu'il tient de son élection scientifique. C'est pourquoi d'ailleurs un des thèmes de discussion, et non des moins féconds, du « mouvement de Pugwash » est celui, non seulement des responsabilités sociales de l'homme de science, mais encore de son inévitable débat avec le pouvoir politique dès qu'il veut sérieusement faire face à de telles responsabilités. Le thème est, entre tous, l'un des plus délicats. Le courage avec lequel on s'est résolu à l'aborder — sans encore vouloir pousser les choses plus qu'il n'est possible pour le moment — fait bien augurer de la suite. Il faut souhaiter longue vie au « Mouvement de Pugwash » et l'extension de son ampleur jusqu'au jour où il débouchera pour de bon en vue de la communauté mondiale des hommes de science.

Ces quelques pages atteindraient leur but si, au delà de la présentation faite au public d'un événement assez caractéristique de ce qui fermente en milieu scientifique, elles provoquaient dans notre propre pays, une étude plus attentive des problèmes humains de la science, tels qu'ils se posent à présent. Rien, aujourd'hui, n'est plus nécessaire que l'action, à tout le moins de quelques-uns, pour favoriser la communion plus étendue et plus intense entre chercheurs soucieux, non seulement des résultats immédiats de leur recherche, mais du bien général de l'homme. Nous avons nous-mêmes, Français, quelque effort à faire pour entrer dans les voies mondiales de l'humanité qui se cherche à présent. Que des scientifiques de notre pays donnent une impulsion non négligeable à cet effort serait, en somme, parfaitement conforme à la nature des choses d'à présent et des grandes traditions humaines dont nous nous réclamons.

COMMUNIQUÉ DE LA III^e CONFÉRENCE
DU GROUPE « DE PUGWASH »
TENUE A KITZBÜHEL (AUTRICHE)
DU 14 AU 19 SEPTEMBRE 1958

I. — *Nécessité de mettre fin aux guerres*

Nous nous rencontrons à Kitzbühel et à Vienne, à une époque où il est devenu évident que l'extension des armes nucléaires rend l'homme capable d'anéantir la civilisation et, aussi, de se détruire lui-même. Les moyens de destruction deviennent de plus en plus efficaces. Les savants qui prennent part à nos conférences se sont depuis longtemps inquiétés de ce développement et sont unanimes à penser qu'une guerre atomique totale serait une catastrophe mondiale d'une envergure sans précédent.

A notre avis, on peut difficilement se défendre contre une attaque atomique. Une foi aveugle en des mesures défensives peut même contribuer au déclenchement d'une guerre.

Malgré un accord possible des Nations pour éliminer des arsenaux mondiaux les armes atomiques et les autres armes de destruction massive, on ne pourra jamais détruire la science de la fabrication de ces armes. Elles demeurent, pour toujours, une menace suspendue au-dessus de l'humanité. Dans n'importe quelle grande guerre future, chaque belligérant se sentira non seulement libre, mais contraint à entreprendre immédiatement la construction d'armes atomiques. Car aucune nation en guerre ne peut être sûre qu'une telle initiative ne sera pas prise par l'ennemi.

Nous pensons que, dans de telles conditions, une grande puissance industrielle pourrait commencer à accumuler des armes atomiques en moins d'un an. A partir de là, le seul obstacle à leur emploi dans la guerre serait un accord pour ne pas les utiliser qui aurait été conclu en temps de paix. Cependant, la puissance décisive que confèrent les armes atomiques,

rendrait presque irrésistible la tentation de s'en servir, surtout pour les chefs qui entreverraient la défaite. Il semble donc que les armes atomiques seront utilisées dans une éventuelle guerre généralisée avec toutes leurs terribles conséquences.

On avance parfois qu'on pourrait faire des guerres localisées, avec un objectif limité, sans conséquences catastrophiques. L'Histoire montre, cependant, que le risque de conflits locaux s'étendant en une guerre généralisée est trop grand pour être acceptable à l'âge des armes de destruction massive. L'humanité, par conséquent, se doit de travailler à abolir les guerres, y compris les conflits locaux.

II. — *Conditions pour mettre un terme à la course aux armements*

La course aux armements résulte de la méfiance entre États ; elle contribue à entretenir cette méfiance. Toute étape pour freiner cette course et conduire à une réduction même faible des armements, sur une base équitable et soumise au contrôle nécessaire, est donc désirable. Nous nous félicitons de tous les progrès effectués dans ce sens, et en particulier du récent accord de Genève entre les représentants de l'Est et de l'Ouest sur la possibilité de détecter les explosions expérimentales. Comme savants, nous notons avec un plaisir particulier le fait que cet accord unanime, le premier après une longue série d'infructueuses négociations, a été possible grâce à une compréhension mutuelle et à la recherche d'un même objectif par les savants de différents pays. Nous remarquons avec satisfaction que les Gouvernements des U.S.A. et de la Grande-Bretagne ont approuvé les déclarations et les conclusions du rapport des experts. C'est un succès significatif. Nous espérons très sérieusement que cet accord sera bientôt suivi d'un accord international menant à la cessation de tous les essais atomiques et à un contrôle effectif. Ce serait le premier pas vers la détente internationale et la fin de la course aux armements.

On admet généralement que tout accord sur le désarmement, et en particulier sur le désarmement atomique, exige des mesures de contrôle pour protéger chacune des parties d'une dérobade

possible. Les savants, grâce à leur compétence technique, savent qu'un contrôle effectif sera relativement facile dans certains cas, et très difficile dans d'autres cas. Par exemple, à la Conférence de Genève, les experts ont admis que l'arrêt des expériences pourrait être contrôlé par une répartition convenable des postes de détection. D'un autre côté, ce sera un problème technique très difficile de faire l'inventaire des stocks existants d'armes atomiques et autres moyens de destruction massive. Un accord pour cesser la production d'armes atomiques présente des difficultés techniques intermédiaires entre ces deux exemples extrêmes.

Nous reconnaissons que l'accumulation massive d'armes nucléaires a rendu extrêmement difficile, voire impossible, un contrôle absolument sûr de désarmement nucléaire important. Pour permettre ce désarmement, les nations devront compter non seulement sur une vérification technique de portée pratique, mais aussi sur un mélange d'ententes politiques, d'accords de sécurité internationale et de l'expérience d'heureuse coopération dans des domaines variés. Tout ceci peut créer le climat de confiance mutuelle inexistant actuellement, et une assurance que les nations reconnaissent les avantages politiques réciproques de diminution des soupçons.

Tout en reconnaissant les difficultés techniques de la situation, les savants se sentent dans l'obligation de convaincre leurs pays et leurs gouvernements du besoin d'une politique encourageant la confiance internationale et atténuant l'appréhension mutuelle. Celle-ci ne peut être éliminée par des affirmations de bonne volonté ; il faudra adopter une politique et établir une active coopération.

III. — *Ce que signifierait une guerre*

Nos conclusions sur les conséquences possibles d'une guerre sont étayées sur les rapports et les communications de notre Conférence. Ces documents montrent que si, dans une guerre future, une importante proportion des armes atomiques déjà existantes était lâchée sur des objectifs urbains, la plupart des



centres de civilisation des belligérants seraient complètement détruits et la plus grande partie de leur population anéantie. Ceci serait vrai, que les bombes employées soient des bombes de fusion (dites propres) ou de fissions (dites sales). En sus de la destruction des principaux centres industriels et urbains, de telles bombes, détruisant les moyens de distribution et de communications, anéantiraient l'économie du pays attaqué.

Les principaux États ont déjà accumulé de larges réserves de bombes « sales » ; il semble qu'ils continuent à en fabriquer. D'un point de vue uniquement militaire, les bombes sales présentent des avantages, ce qui rend leur usage probable dans une guerre généralisée. Les retombées locales résultant d'un usage intensif de bombes sales provoqueraient la mort d'une grande partie de la population du pays attaqué. A la suite d'explosions en grand nombre (chaque explosion correspondant à celle de millions de tonnes d'explosif ordinaire), les retombées radioactives se répartiraient, non seulement sur le territoire bombardé, mais, à des degrés divers, sur le reste de la surface de la Terre. Cela provoquerait, du fait des radiations, plusieurs millions de morts non seulement chez les belligérants mais aussi chez les non-belligérants.

Il y aurait, ensuite, de notables conséquences à long terme des radiations, pour les hommes et les organismes vivants : des effets somatiques tels que la leucémie, le cancer des os et la diminution de durée de la vie moyenne, et des effets génétiques affectant les caractères héréditaires.

La connaissance de la génétique humaine est encore insuffisante pour prévoir avec précision les conséquences probables d'un accroissement considérable des mutations qu'entraînerait une guerre atomique totale. Les généticiens pensent cependant qu'elles pourraient être sérieuses pour l'avenir de la population survivante mondiale.

On avance quelquefois que, dans une guerre future, l'emploi des armes atomiques pourrait être limité à des objectifs tels que les bases militaires, les concentrations de troupes, les aérodromes ou autres nœuds de communications, et qu'ainsi on éviterait

les attaques sur de larges concentrations de populations.

Même les armes tactiques ont désormais un grand rayon d'action, les cités et les villes se confondent fréquemment avec les centres d'approvisionnements ou de communications. Nous pensons, par conséquent, que même une guerre réglementée entraînerait, malgré les tentatives de limitations des objectifs, une large dévastation du territoire attaqué et la destruction de la plus grande partie de sa population. De plus, un accord pour ne pas se servir des villes à des fins militaires, admis pour justifier leur immunité, ne saurait être respecté vers la fin d'une guerre, spécialement par la partie perdante. Celle-ci serait, par ailleurs, fortement tentée d'employer ses bombes atomiques contre les centres ennemis dans l'espoir de briser son désir de poursuivre la guerre.

IV. — *Risques des essais atomiques*

Lors de notre I^{re} Conférence, il avait été reconnu que si les risques biologiques des essais étaient faibles en comparaison de risques similaires, provenant d'autres sources auxquels l'homme est exposé, ces risques existent et doivent être étudiés de près et sans relâche.

Depuis, de vastes recherches ont été entreprises par la Commission de l'O.N.U. pour l'étude des effets des radiations atomiques et ses conclusions pertinentes ont été publiées. Là aussi, les savants de différents pays ont été capables de parvenir à un accord unanime. Leurs conclusions confirment que les explosions expérimentales entraînent un risque déterminé et qu'elles seront responsables d'un nombre appréciable de victimes parmi les générations présentes et futures. Selon la Commission de l'O.N.U., bien que l'ampleur des dommages génétiques semble relativement faible par rapport à ceux que provoquent les causes naturelles, le nombre des leucémies et des cancers des os résultant de la radio-activité produite par les essais atomiques peut augmenter considérablement le nombre de cas normalement constatés de ces maladies. Cette conclusion repose sur l'hypothèse (qui n'est pas admise par toutes les auto-

rités en la matière) que ces effets peuvent être provoqués par un taux infime de radiations. Cette incertitude demande une étude plus approfondie et, en même temps, une prudente acceptation des affirmations les plus pessimistes. Elle conduit à accorder de l'importance à la conclusion généralement admise que toute exposition inutile de l'humanité aux radiations est indésirable et doit être évitée.

Il va sans dire que les dangers biologiques d'une guerre où de nombreuses bombes atomiques seraient utilisées, seraient incomparablement plus grands que ceux provenant des essais; le principal problème, et le plus immédiat pour l'humanité, est ainsi d'établir les conditions qui aboliraient la guerre.

V. — *La science et la coopération internationale*

Nous pensons, comme savants, avoir un rôle important dans l'établissement de la confiance et de la coopération entre les nations. La Science est, selon une longue tradition, une entreprise internationale. Les savants de nationalités différentes trouvent facilement de communes bases de compréhension; ils emploient les mêmes concepts et les mêmes méthodes; malgré des différences de vue philosophiques, économiques, ou politiques, ils visent aux mêmes buts intellectuels. L'importance rapidement croissante que prend la science dans les affaires de l'humanité, augmente l'importance de cette communauté de compréhension.

La faculté qu'ont les savants de tous les pays de se comprendre et de travailler ensemble est un excellent instrument pour jeter un pont entre les nations et les unir autour de buts communs. Nous pensons que travailler ensemble dans tous les domaines où la coopération internationale s'avère possible représente une importante contribution pour établir la communauté des nations. Cela peut contribuer à créer un climat de confiance mutuelle, nécessaire pour résoudre les conflits politiques entre nations, et aussi un arrière-plan indispensable à un désarmement effectif. Nous espérons que, partout, les savants

prendront conscience de leur responsabilité envers l'humanité et envers leur propre pays, pour donner leur part de temps, de pensée et d'énergie à l'accomplissement d'une coopération internationale.

Plusieurs initiatives scientifiques internationales ont déjà été couronnées de succès considérables. Mentionnons seulement la coopération mondiale météorologique, vieille d'un siècle, les deux années polaires internationales qui ont précédé (respectivement de 75 et 25 ans) l'actuelle année géophysique internationale, et les Conférences d' « Atomes pour la Paix ». Nous espérons vivement que des efforts seront faits pour promouvoir des collaborations analogues dans d'autres domaines. Elles auront, à coup sûr, l'adhésion enthousiaste des savants du monde entier.

Nous demandons que se développent sans contrainte l'échange d'informations scientifiques entre nations, et l'échange de savants. Nous pensons que les nations qui basent leur sécurité nationale sur le secret de leurs découvertes scientifiques sacrifient, à des avantages temporaires, les intérêts de la paix et du progrès scientifique.

Nous sommes convaincus que la science peut servir l'humanité au mieux si elle est libérée de toute interférence de dogme imposé de l'extérieur et si elle exerce son droit de s'interroger à propos de tous les postulats, y compris les siens propres.

VI. — *Technologie au service de la Paix*

De nos jours, la Science et la Technique sont devenues de plus en plus interdépendantes. Les résultats acquis par la recherche fondamentale, l'expérimentation et la théorie sont de plus en plus rapidement soumis à des applications technologiques. Cette tendance accélérée est manifeste, aussi bien dans la création d'armes de plus en plus destructives, que dans l'accroissement des moyens pour une richesse accrue et le bien-être de l'humanité. Nous pensons que la tradition de compréhension mutuelle et de coopération internationale qui existe depuis

longtemps dans les Sciences fondamentales, peut et doit être étendue à de nombreux domaines technologiques. L'Agence internationale pour l'Énergie atomique, par exemple, ne cherche pas seulement à coopérer à l'établissement de faits concernant l'Énergie atomique, mais aussi à aider les nations du monde entier à développer une nouvelle source d'énergie, base du progrès pour leur bien-être matériel. Nous pensons qu'une coopération internationale dans ce domaine — et dans d'autres comme le progrès économique et l'amélioration de la santé — prendrait une force considérable.

Le niveau de vie extrêmement bas des pays industriellement sous-développés est et demeure la source de tensions internationales. Nous voyons là un besoin urgent pour activer les études et les programmes d'industrialisation effective de ces pays. Cela n'améliorerait pas seulement le niveau de vie de la majeure partie de la population mondiale, cela permettrait de réduire les causes de conflits entre puissances franchement industrialisées. De telles recherches fourniraient un fructueux champ d'action à des efforts de coopération des savants de tous les pays.

Les grands progrès dans la facilité et la rapidité des communications et notre connaissance croissante de la façon dont les forces de la nature influencent les conditions de vie dans les différentes parties du monde nous montrent, d'une façon que nous pensions impossible autrefois, à quel point la perspective des nations prises individuellement est liée à celle de l'humanité tout entière et en dépend directement ; et à quel point, grâce à un effort commun et international, on pourrait augmenter cette prospérité. Nous croyons que, grâce à un tel effort commun, la coexistence de nations de structures sociales et économiques différentes, peut devenir non seulement pacifique et compétitive mais grâce à une coopération toujours croissante, beaucoup plus stable.

Comme savants, nous sommes profondément conscients des grands changements que le progrès et les applications de la science ont apportés à l'humanité. Si on lui donne la paix, l'hu-

manité se trouve à l'aube d'une grande ère scientifique. La science peut apporter à l'humanité une compréhension toujours plus grande des forces de la nature et les moyens de les maîtriser. Cela entraînera plus de bien-être, de santé et de prospérité pour tous les hommes.

VII. — *La responsabilité des savants*

Nous pensons qu'il relève de la responsabilité des savants de tous les pays, de contribuer à l'éducation des peuples en leur faisant largement prendre conscience des dangers et des possibilités qu'offrent ces progrès scientifiques sans précédent. Nous faisons appel partout à nos collègues pour qu'ils contribuent à cet effort en éclairant les populations adultes et en participant à l'éducation des générations futures. En particulier l'éducation devrait insister sur les progrès de toutes les formes de relations humaines et abolir toute glorification de la guerre et de la violence.

Les savants, du fait de leurs connaissances particulières, sont bien armés pour prévoir les dangers et les promesses des découvertes scientifiques. Ils ont, par conséquent, une compétence particulière, et une responsabilité spéciale en ce qui concerne les problèmes les plus pressants de notre époque.

Dans les conditions actuelles de méfiance entre nations, et de la course vers une supériorité militaire qui en découle, toutes les branches de la science — Chimie, Physique, Biologie, Psychologie — se sont de plus en plus imbriquées aux progrès militaires. Aux yeux des gens de bien des pays, la science est devenue étroitement liée à l'accroissement des armes. Les savants sont admirés pour leur contribution à la sécurité nationale ou bien honnis pour avoir mis l'humanité en danger en imaginant des armes de destruction massive. Le soutien matériel croissant dont jouit la science actuellement, dans de nombreux pays, est surtout dû à son importance directe ou indirecte pour la force militaire de la nation et à ses succès dans la course aux armements. Cela écarte la science de son véritable objectif qui est de développer la connaissance humaine et de promouvoir

la puissance de l'homme sur les forces de la nature au profit de tous.

Nous déplorons les conditions qui ont mené à cette situation et faisons appel à tous les peuples et à leurs gouvernements pour établir des conditions de paix stable et durable.

CYBERNÉTIQUE

*OBSERVATIONS A PROPOS DU
II^e CONGRÈS INTERNATIONAL
DE CYBERNÉTIQUE
TENU A NAMUR, DU 3 AU 10 SEPTEMBRE 1958 (1)*

« Le mot nouveau de Prospective qualifie parfaitement l'attitude du cybernéticien », déclarait le Pr Boulanger, président du II^e Congrès International de Cybernétique, en ouvrant ses travaux en présence du ministre de l'Instruction publique de Belgique, et il traçait de l'intervention récente du cybernéticien dans les disciplines techniques, scientifiques, sociales et philosophiques, une image le montrant préoccupé d'une forme de pensée nouvelle qui cherche encore son expression, mais soucieux aussi de réaliser pour l'avenir une synthèse « du vivant et de l'inerte » fondée sur les ressources les plus profondes de la culture et les données les plus modernes de la technique.

Un conseiller de synthèse, envoyé du Centre International de Prospective, ne pouvait que se trouver en sympathie avec une réunion placée, d'emblée, à ce niveau, même si toutes les communications présentées (une centaine) ne répondaient pas toujours à une si haute ambition.

Nous ne voulons ici ni retracer les travaux, dont rendront compte d'ailleurs les Actes de la Conférence que doit publier l'Association internationale de Cybernétique (2), ni même situer cette manifestation parmi les autres manifestations de la vie internationale.

Il nous semble plus important d'essayer de montrer à quel point contribue, pour situer l'homme dans le monde moderne, la formation d'une pensée cybernétique qu'on croyait voir naître ou se développer à Namur autour d'études techniques sur

(1) Note rédigée par M. Georges Guéron, conseiller de synthèse, secrétaire général du Centre de Synthèse Politique des Techniques nouvelles, assistant permanent auprès du Conseil d'Administration du Centre International de Prospective.

(2) 13, rue Basse-Marcelle à Namur.

l'automatisme, les modèles analogiques et les simulateurs de comportements biologiques, comme autour de travaux expérimentaux et de réflexions philosophiques sur la logique, la psychologie et la sociologie.

Cette impression d'une naissance, d'un bouillonnement, d'un effort de recherche, un peu désordonné mais réellement créateur, venait surtout de deux caractéristiques de cette réunion :

— L'une, consciemment voulue par les organisateurs et apparemment d'ordre matériel, était la présentation à égalité, dans les réunions de section, tenues l'après-midi, des communications de personnalités éminentes, jouissant d'une haute notoriété, et de celles d'autres congressistes, dont beaucoup font figure « d'amateurs », mais qui trouvaient dans les observations des premiers et l'enseignement général du Congrès, d'excellents éléments d'amélioration personnelle en même temps qu'ils fournissaient des apports souvent positifs par le choix, parfois inattendu mais extrêmement divers, des sujets abordés, par l'abondance des suggestions, par une imagination peut-être quelque peu débridée, par un enthousiasme en tout cas attachant.

C'est ainsi qu'on allait sans cesse de sujets aussi particuliers que *Méthode nouvelle pour obtenir les spectres instantanés des vibrations non stationnaires*, *Tours à consignes numériques commandés par bandes perforées*, *Schéma cybernétique pour une lutte antirhumatisme en fonction sociale*, à d'autres aussi généraux que *L'information dans le monde vivant et non vivant*, *Quelques réflexions sur l'aspect physique de la vie*, *La méthode réflexive et la cybernétique*, en passant par la présentation de machines très étonnantes comme la « machine à calculer électronique » de M. Couffignal, le « simulateur de comportement instinctif » du Dr J. Sauvan ou la « machine à enseigner » de M. Andrew G. Pask, ou encore par des aperçus très stimulants comme *Éléments d'une théorie cybernétique de l'administration*, *La cybernétique et le droit. Essai au sujet de la théorie de la responsabilité*.

— L'autre caractéristique, venue peut-être d'un besoin ressenti de compenser ce foisonnement un peu excessif, mais,

répétons-le, consciemment désiré par le Comité directeur, était l'intensité d'une recherche portant sur la définition de la cybernétique, sa méthode, et les modes de la connaissance. Il s'agit en effet pour la cybernétique d'établir une forme de pensée et un langage qui s'appliquent aussi bien à l'observation et à l'interprétation des phénomènes sociaux, biologiques et physiques qu'au développement des diverses branches de la science et de la philosophie, avec, comme but final, une science du comportement des mécanismes finalisés, une méthode d'efficacité de l'action, une connaissance des systèmes complexes.

A cette recherche ambitieuse contribuaient particulièrement les exposés faits le matin, en séance plénière, exposés de très haute qualité dont nous donnons, à titre d'exemple, de larges extraits de ceux de M. Couffignal, inspecteur général de l'Instruction publique, directeur du Laboratoire de Calcul mécanique de l'Institut Blaise-Pascal à Paris, sur *Science, Technique, Cybernétique* et de M. Stafford Beer, chef du Service de Recherche opérationnelle et de Cybernétique de United Steel Companies Ltd à Sheffield, sur *The irrelevance of automation (L'automatisation, une solution inadéquate)*. Il faut bien saisir, pour comprendre l'intérêt du congrès, qu'il ne s'agissait pas là « d'enseignements magistraux » mais de communications affirmant les positions personnelles de leurs auteurs à la limite de la polémique scientifique, et ouvrant un large domaine à la controverse.

Un autre témoignage notable de cette recherche était l'assentiment recueilli par le Dr Sauvan lorsqu'il fit la demande, à l'Assemblée générale de l'Association internationale de Cybernétique, d'avoir au prochain Congrès, dans chaque commission, un « philosophe de service » chargé de faire, à propos de chaque communication, une critique rapide, la remplaçant ou la situant dans une perspective générale. Allait dans le même sens le désir des organisateurs de mêler dans chaque section des communications mettant en jeu des disciplines différentes et de symboliser ainsi une volonté de garder à la cybernétique son caractère de « science-carrefour ».

Un autre trait frappant de ce Congrès était sa « jeunesse » et

son style. Jeunesse physique, car beaucoup des participants avaient moins de 40 ans, surtout dans les délégations des pays de l'Est; jeunesse d'esprit tenant à la passion qui prolongeait tard, le soir, d'interminables discussions; jeunesse de comportement, du fait d'une remise en question incessante de toutes les positions classiques, et désir d'aller jusqu'au bout des conséquences de chaque affirmation; jeunesse de la cybernétique elle-même puisque pour cette discipline, comme le rappelait le Pr Boulanger, « plonger dans le passé, c'est remonter aux années 1930 ». Peut-être n'est-ce pas forcer les choses que d'aller jusqu'à dire que la manière dont les cybernéticiens considèrent l'analogie, en fait un symbole de la vie. Certaines idées essentielles paraissent être les suivantes :

— Si un système est trop complexe pour être analysé et compris (au sens plein du terme) ou pour supporter l'expérimentation (êtres vivants, corps sociaux), on peut l'envisager en première approximation comme une « boîte noire », c'est-à-dire un ensemble clos dont on ignore les mécanismes internes, mais dont on peut d'abord analyser, mesurer ou comprendre ce qui y entre (input) et ce qui en sort (output), puis reproduire, en construisant une machine relativement simple, un groupe où des relations analogues existent entre input et output; expérimenter alors sur ce dernier système dans deux directions : les relations et les interactions entre les éléments d'entrée et de sortie d'une part et d'autre part les états internes de la machine analogique; enfin aboutir à des hypothèses vérifiables sur le premier système complexe.

— La notion classique de cause évolue ainsi vers celle, assez différente, de « pattern », c'est-à-dire d'un groupement ou d'un échantillonnage de modifications suffisant pour provoquer une réaction de la « boîte noire » qui en modifie les éléments de sortie de manière significative.

N'est-ce pas là une assez bonne image de la formation des êtres vivants, ignorants ou inconscients d'eux-mêmes, mais sensibles aux chocs qui leur viennent de l'environnement et progressant rapidement dans la manière de s'y adapter de façon

satisfaisante, comme dans la connaissance qu'ils prennent d'eux-mêmes ?

Cette manière d'envisager les phénomènes constitue un passage incessant des faits observés et des manipulations effectuées à l'idée systématique. Elle exige en outre un grand effort d'imagination. Elle impose une constante référence aux démarches de la logique classique, mais s'exerce dans un domaine différent parce que le lien entre l'observateur et l'objet de sa réflexion n'y est jamais aboli. De ce fait, elle évoque sans cesse l'action, le sens de l'action, la méditation de l'action. En outre, elle contraint, faute de connaître le détail des mécanismes, à envisager la « machine globale », à supposer sans cesse que les phénomènes en jeu ne sont pas chimiques, physiques, électriques, biologiques ou mécaniques, mais les uns et les autres, les uns ou les autres. Enfin, elle étend de façon très générale l'emploi des concepts de finalité et de liberté qui, en dehors de toute métaphysique, deviennent, pour le cybernéticien, des « états » de ses machines où il reconnaît, quand il ne les simule pas, des retours inévitables à certains équilibres ou des degrés d'indépendance par lesquels la machine annule l'effet de certaines sollicitations extérieures.

Ainsi, voyait-on à Namur, des hommes qui se consacrent à ce que nous pensons être la véritable formation pour le monde complexe d'aujourd'hui, où nous sommes si loin de savoir en détail le comment et le pourquoi des choses et si près de pouvoir, sinon de vouloir, les conduire cependant, ou du moins y intervenir au lieu de les subir.

C'est dans ce sens que la jeunesse et le style dynamique, sensibles dans cette réunion, paraissaient correspondre à la jeunesse et à l'évolution d'un monde où la puissance et la responsabilité de l'homme seraient si augmentées qu'on pourrait, parfois, les croire renouvelées.

Tous ces éléments contribuaient enfin à donner à ce congrès un aspect original. On voit bien, en effet, que les communications étaient descriptives ou interrogatives et ne pouvaient être conclusives. Elles exposaient des faits reliés entre eux de manière

inhabituelle, donnaient des schémas de machines comparables à des schémas de structure, sollicitaient une reconsidération des interprétations classiques, interrogeaient à propos du lien qu'on peut établir entre les démarches et les concepts de la pensée logique et ceux qui résultent d'une attitude où l'expérimentateur non seulement reste en jeu dans l'expérience mais manipule, d'autre part, des « machines » dont le comportement interne lui est inconnu.

Cela rendait possible la participation de nombreuses personnes désireuses de poser des questions à d'autres parfois plus compétentes mais surtout préoccupées de traiter, dans le même esprit, d'autres problèmes. Et la gaieté générale soulevée, le premier jour, par le journaliste venu « voir les robots » était peut-être le meilleur signe de la vigueur et de la jeune maturité de la cybernétique et des congressistes, plus soucieux de poser de vrais problèmes que de « montrer » de fausses solutions.

SCIENCE, TECHNIQUE, CYBERNÉTIQUE

Extraits de la Conférence faite au

II^e Congrès International de Cybernétique à Namur (1958)

par LOUIS COUFFIGNAL (1)

On se propose d'étudier les caractères différentiels des méthodes de la science, de la technique et de la cybernétique.

A l'occasion du I^{er} Congrès International de Cybernétique où nous réunissait, il y a deux ans déjà, l'hospitalité généreuse de cette ville et du Gouvernement provincial de Namur, j'ai proposé pour la cybernétique la définition que voici (2) :

« *La cybernétique est l'art de rendre efficace l'action* »

Les raisons qui conféraient à la cybernétique son individualité, en dehors des catégories en lesquelles on répartit traditionnellement l'activité humaine, lettres, sciences et techniques, étaient surtout d'ordre logique. L'idée de Norbert Wiener, de constituer une théorie des communications et de la commande commune aux machines et aux êtres vivants, exigeait d'abord de dire ce que l'on entendait par machine et par être vivant. Et l'extension d'une telle théorie, supposée faite, aux sociétés humaines, demandait que l'on dise ce qu'il y a de commun, par exemple, à une machine à coudre et à un syndicat de défense des pêcheurs à la ligne.

Or, ce commun terme existe. La commande des organes d'une machine ou le commandement des membres d'une société humaine se rapportent aux actions que doivent exécuter ces organes d'une machine ou ces membres d'une société, et ils ne peuvent se rapporter qu'à des actions. Considérant ensuite qu'une action n'est jamais engagée que pour atteindre un but

(1) M. Louis Couffignal a été nommé membre actif du Centre International de Prospective au cours du Conseil d'Administration de septembre 1958.

(2) LOUIS COUFFIGNAL, *Actes du 1^{er} Congrès International de Cybernétique*, Namur, 1956.

déterminé, du moins s'il s'agit d'action humaine, on arrive par une extension de sens, au reste légère, à la définition de la cybernétique que nous avons proposée... Et comme le syndicat de défense des pêcheurs à la ligne a un but, aussi clairement défini que celui d'une machine à coudre, son action est, elle aussi, justiciable de la cybernétique.

Ainsi, la cybernétique se présente comme une méthodologie de l'action.

Notre objet, aujourd'hui, est d'essayer de situer la cybernétique par rapport à la science et à la technique, en en marquant plus particulièrement les caractères différentiels.

Raisonnement analogique et modèles

La méthode de raisonnement de la cybernétique est principalement l'analogie. Déjà, Wiener en a fait, en cybernéticien, un usage abondant, mais, hélas ! point toujours... efficace. L'analogie était cependant d'usage courant avant la cybernétique. L'exemple du calcul rhéostatique en mettra en évidence les divers aspects.

On se propose, par exemple, de déterminer le profil optimum d'une aile d'avion dans des conditions de vitesse et d'inclinaison déterminées. On peut placer dans un tunnel aérodynamique un modèle réduit de l'aile et, en modifiant sa forme, arriver par tâtonnements à la forme optimum. On peut aussi considérer que l'écoulement d'un fluide et l'écoulement d'un courant électrique sont représentables par la même équation, l'équation de Laplace. On remplace alors les essais au tunnel par des essais, dits rhéostatiques, où l'on met un modèle réduit de l'aile d'avion dans une cuve électrolytique traversée par un courant. La manipulation est plus aisée et le matériel beaucoup moins coûteux.

Entre les deux appareils, le tunnel aérodynamique et la cuve rhéostatique, l'analogie est claire au sens courant du mot. Mais le terme prend toute sa force, qu'il tire de son étymologie grecque, *ana* marquant la répétition, et *logos* désignant le discours, si l'on se reporte à l'équation de Laplace, expression commune,

en langage mathématique, des phénomènes qui se passent dans le tunnel et de ceux qui se passent dans la cuve. Il y a analogie entre les deux phénomènes parce qu'ils peuvent être décrits par les mêmes mots.

A vrai dire, ce n'est qu'une partie des phénomènes qui se prête à une même description : l'analogie, dans l'exemple cité, n'atteint pas les tourbillons qui se produisent dans le tunnel au point où les filets d'air heurtent normalement le modèle. On dira donc de façon plus précise que : *Deux mécanismes sont analogues lorsque certaines de leurs fonctions sont identiques*. Ces fonctions identiques constituent l'*analogie* des deux mécanismes. Et l'on appellera *modèle* d'un mécanisme donné, un *mécanisme analogue par construction à un mécanisme donné et destiné à suggérer de nouvelles analogies* entre le modèle et l'original.

La maquette d'aile dans le tunnel et la maquette dans la cuve sont des modèles de l'aile réelle volant dans l'air, qui en est l'original (et qui, au reste, n'existe pas encore quand on en étudie les modèles). Mais l'équation de Laplace, qui décrit les fonctions communes aux deux modèles considérés et à l'original en décrivant le comportement aérodynamique de ce dernier, pourquoi ne pas la considérer, elle aussi, comme un modèle ? On appellera donc *modèle dialectique la description d'un ensemble de fonctions d'un mécanisme dans un langage déterminé*.

On a fait valoir, pour préférer l'essai à la cuve rhéostatique à l'essai au tunnel, la simplicité plus grande du matériel et de la manipulation. Le modèle dialectique constitué par l'équation de Laplace est, matériellement, plus simple encore : ... une ligne d'écriture et quelques chiffres donnés. Mais la « manipulation », qui consiste ici dans la résolution numérique de l'équation, se révèle tellement compliquée qu'elle n'est pas possible dans la pratique, sauf à mettre en œuvre des machines à calculer très puissantes, qui, en réalité, sont d'autres modèles physiques du phénomène étudié.

Sans insister, pour l'instant, sur la différence des jugements selon qu'ils concernent la structure ou la fonction, on notera toutefois que, dans les activités intellectuelles qui concernent

la science et la technique, c'est toujours dans les cas d'impossibilité de traiter complètement un problème par une action seulement intellectuelle que l'on a recours au raisonnement analogique, généralement à regret.

La cybernétique, par contre, accorde une égale valeur rationnelle à toutes les représentations que l'on peut faire d'un système, tant conceptuel que matériel, et donne la préférence à celle, abstraite ou concrète, modèle dialectique ou modèle physique, qui est la plus efficace pour l'action.

*Patterns de connaissance immédiate
et modèles dialectiques élémentaires*

Les notions liées d'analogie et de modèle, cette dernière se particularisant en modèles physiques et modèles dialectiques, seront les éléments fondamentaux d'une méthodologie de l'action.

Mais une action s'exerce toujours sur le milieu extérieur à l'être qui agit. Et, prenant encore pour premier objet d'étude l'action humaine, elle exige, dès sa préparation, la connaissance du milieu extérieur. De même, le guidage de l'action et les modifications du programme d'action initial qu'il peut entraîner sont impossibles si l'on n'a pas connaissance des réactions du milieu extérieur. En bref, on ne peut agir que si l'on est informé, et même bien informé. Le moyen par lequel un être s'informe est sa mise en communication, de manière ou d'autre, avec l'objet sur lequel il veut recueillir des informations. On retrouve ici la pensée de Norbert Wiener, qui donne fort justement aux communications une importance égale à celle de la commande.

Il est bien clair, toutefois, que, si des moyens de communication suffisants sont indispensables, ainsi que leur bon fonctionnement, l'essentiel est l'information, les renseignements, que ces moyens de communication apportent. Le problème qui se pose est donc, au sommet, le problème de la connaissance.

Les informations sont généralement apportées à l'homme par le milieu extérieur sous la forme d'actions physiques exercées à la périphérie du corps. Les organes des sens les transforment

en un effet psychologique, qui est un *pattern* de l'état spatio-temporel, physico-chimique et psychique du milieu extérieur.

Ce *pattern* entre, pour un temps plus ou moins long, dans la mémoire.

Or, on est incapable de donner d'un tel *pattern de connaissance immédiate* la moindre description au moyen des termes d'un langage. L'apprentissage de gestes professionnels ou sportifs par les adolescents ou l'apprentissage de quelques gestes humains par des animaux montrent même qu'il n'est pas nécessaire qu'un *pattern* soit exprimé dans un langage pour agir efficacement. Lorsqu'un *pattern*, formé au profond de la conscience, donne naissance à une information transmise d'homme à homme au moyen d'un langage, il est remplacé, en fait, par un concept conventionnel défini, pour tous les humains qui comprennent ce langage, par les termes qui convoient l'information correspondante. Mais nul ne peut dire si cette information est identique au *pattern* de connaissance immédiate né des excitations reçues de l'extérieur.

Précisons par un exemple. Les sensations de chaud et de froid se différencient pour chaque être humain en sensations individualisées, mais de même espèce parce que transmises par les mêmes nerfs sensoriels.

Ces *patterns* de chaud et de froid que la psychobiologie catalogue selon des degrés quand elle les décrit en relation avec les réactions de l'individu aux excitations thermiques, il n'est aucunement certain qu'ils se rattachent à une notion consciente de degré dans l'esprit d'un individu. Cette notion de degré, par contre, est toujours présente dans les informations de chaud et de froid que la terminologie la plus simple permet d'échanger pour certains usages. C'est ainsi que deux cuisiniers se comprennent suffisamment avec les mots : glacé, froid, tiède, chaud, bouillant, et les termes de comparaison qui les accompagnent usuellement. De même deux forgerons se comprennent avec les termes exprimant quelques couleurs du fer dans le foyer de forge. Le caractère conventionnel de la signification de ces mots et de la notion de degré qui leur est attachée est évident

à la réflexion, mais il reste inconscient pour ceux qui en usent, parce que dû à un apprentissage banal. Par contre, dans la définition d'une température, qui remplace les mots du langage ordinaire par ceux du langage mathématique, après avoir remplacé au moyen du thermomètre la sensation immédiate de chaud et de froid par une sensation visuelle, le jeu des conventions est explicitement décrit dès l'origine.

Ce concept conventionnel qui remplace un pattern de connaissance immédiate dans une information transmise par un langage est un modèle dialectique. On dira que c'est un *modèle dialectique élémentaire*.

Bien entendu les langages peuvent être divers : une langue écrite ou parlée est le plus courant, mais le physicien use volontiers du langage mathématique, l'ingénieur ou le géographe de dessins codés; et l'on peut multiplier ces exemples.

Toute information relative au milieu dans lequel va se développer une action est une combinaison de modèles dialectiques élémentaires.

Or de telles combinaisons peuvent se faire de bien des manières, qui se caractérisent par les règles d'opérations imposées à l'agent de ces combinaisons.

Structuration scientifique des connaissances

Une première façon consiste à grouper les modèles élémentaires en classes définies par les attributs communs aux modèles qui les constituent, ces attributs communs étant en outre des conséquences d'axiomes posés *a priori*. Un tel édifice de modèles dialectiques élémentaires est une *science*.

Un exemple simple, à nouveau, éclairera une telle structure. Parmi les objets matériels dont on sait reconnaître l'individualité, trois classes sont usuellement faites, selon des propriétés liées à des notions spatiales; ce sont les solides, les liquides et les gaz. On convient d'une définition de la température, T , en un point quelconque d'un corps, solide, liquide ou gazeux, de la pression, P , en un point quelconque d'un liquide ou d'un gaz, et l'on retient que le volume d'un gaz, V , est variable; on

constate alors que, pour les gaz, l'expression PV/T a, peu ou prou, une valeur constante, et l'on convient d'appeler « gaz parfait » une classe d'êtres physiques définie par la condition que l'expression PV/T ait la même valeur pour tous ces êtres physiques. Il est bien évident qu'un « gaz parfait », n'a d'existence que pour une dialectique, qui est de faire apparaître l'un ou l'autre des nombres P , V , T comme conséquence des deux autres.

La technique

On oppose généralement à la science la *technique*, qui consiste dans une suite d'actes accomplissant une action. La description de cette suite d'actes est un modèle dialectique de l'action, c'est le *programme* de cette action.

Il faut, évidemment, que le programme décrive l'action dans un langage approprié capable de représenter dans le détail le milieu sur lequel s'exerce l'action. Que ce langage ne soit pas celui par lequel s'exprime l'activité intellectuelle esthétique ou scientifique, j'en prendrai seulement pour preuve la nécessité de compléter la formation des hommes de technique par un enseignement sur l'*expression des connaissances techniques*, enseignement qui fait actuellement l'objet d'une chaire magistrale au Conservatoire National des Arts et Métiers, à Paris.

Structuration cybernétique des connaissances

La *cybernétique* trouve, à côté de la science et en liaison avec la technique, sa place naturelle : elle édifie les modèles dialectiques que sont les programmes d'action. Mais ces modèles sont soumis à une condition sévère, celle de l'*efficacité*.

Ici doit se placer une observation fondamentale, et qui à elle seule assurerait à la cybernétique son individualité, à savoir que les modèles dialectiques que construit la science, sous le critère de valeur de la déductibilité à partir d'axiomes, ne contiennent pas, en général, ni comme cas particuliers, ni en puissance, tous ceux qu'il faut faire entrer dans un programme efficace d'action. En d'autres termes la cybernétique, et consé-

quemment la technique, ne sont pas de la science appliquée. Ou encore, ce n'est pas sur la base de théories générales que l'on peut organiser avec de réelles chances de succès une action qui atteigne le but.

De combien la théorie cinétique des gaz a-t-elle accru le rendement des machines thermiques ? Quel progrès la théorie mathématique de l'élasticité a-t-elle fait faire à la résistance des matériaux ? Et quelle simplification dans les calculs résulte-t-il de représenter par un tenseur l'état de contrainte d'un solide déformable en un point ? En quoi le projet d'un moteur électrique a-t-il été facilité lorsque s'est établi l'usage de représenter le fonctionnement du moteur au moyen du vecteur de Poynting ?

En tous ces exemples se marque le souci majeur de la science de faire entrer les connaissances dans des systèmes axiomatiques, ou seulement dans des modes d'expression à la vogue du jour. L'exemple suivant le marque plus fortement encore.

On sait comment, au début du XIX^e siècle, on s'aperçut que les phénomènes lumineux pouvaient être représentés par des équations identiques à celles des phénomènes vibratoires des corps matériels. Mais, dans ces équations, figuraient des termes qui, lorsqu'il s'agissait de vibrations des corps matériels, représentaient le corps matériel lui-même, « la chose qui vibre »-et qui, lorsqu'il s'agissait de phénomènes lumineux, ne représentaient plus aucun corps connu. On imagina alors « l'éther », substance qui baignait tous les corps matériels et les pénétrait, et qui était, lorsqu'il s'agissait de vibrations lumineuses, « la chose qui vibre ». Or, selon le phénomène lumineux considéré, il fallait donner à cet éther des propriétés différentes, et quelquefois contradictoires. L'éther, cependant, subsistait encore il y a une trentaine d'années dans nombre de manuels. Une seule explication de ce point de l'histoire des sciences est admissible : au milieu du XIX^e siècle, les résultats extraordinaires obtenus par la mécanique laissaient espérer une explication mécaniste de l'Univers entier, à tel point que tous les savants, dans toutes les disciplines, cherchaient à expliquer par les lois de la mécanique

les faits nouvellement observés; avoir dans les équations des vibrations lumineuses un terme qui ne représente aucun élément mécanique était une discordance tellement insupportable que l'on imagina l'éther; et la foi en la mécanique était même si profonde que l'incohérence des propriétés de cet être fictif ne paraissait plus guère anormale dès l'instant que ces propriétés incohérentes s'exprimaient en forces ou en frottement.

Or, dans le même temps, les appareils d'optique, en un développement rapide, permettaient de voir des objets plus petits, de voir ou d'éclairer plus loin. Ce sont là actions de l'homme sur la nature, qui font des inventeurs de ces appareils des cybernéticiens avant la lettre. Dans aucune des explications de leurs inventions qu'ils ont données — et qui se groupent dans la « théorie » des instruments d'optique — la notion d'éther ne figure ou n'est utile. Il leur a suffi des équations des phénomènes lumineux, c'est-à-dire, dans la terminologie d'aujourd'hui, d'un modèle dialectique représentant assez bien les phénomènes pour guider efficacement l'invention.

Le critère d'efficacité fait donc ressortir cette première différence entre la cybernétique et la science, que *la cybernétique n'a pas besoin de tous les modèles dialectiques nécessaires à la science pour la cohérence de ses édifices déductifs*. Une plus grande efficacité cybernétique est liée à une plus grande simplicité de la pensée et du discours.

On trouve, dans une description de la géométrie dans le langage de la logique mathématique, la suite de symboles ci-après, où chaque signe convoie un concept distinct :

$$\forall xy = (\exists z) (\exists u) [Rzx \cdot Rux \cdot Cz u \cdot Oz y \cdot (v) (Eux \cdot \supset \cdot Evz \vee Evu)]$$

Si l'on y ajoute, par exemple :

x = la tour Eiffel

y = la basilique Saint-Pierre de Rome

cet ensemble de signes se traduit en langage ordinaire par :
« La tour Eiffel est deux fois plus haute que Saint-Pierre de Rome. »

On veut bien croire, au nombre de concepts mis en jeu, que le premier modèle dialectique fournit une explication plus riche. Mais, pour l'action cybernétique de transmettre l'information contenue dans l'un ou l'autre modèle, le second est incontestablement plus efficace.

Il n'est pas à dire, cependant, que la cybernétique n'ait jamais à entrer dans le domaine des symbolisations abstraites ou compliquées. Le modèle dialectique de l'optique proposé par Denis Gabor suffirait à montrer qu'il en est autrement.

Gabor définit des modèles dialectiques des êtres physiques que sont « un objet », une « image », des « milieux optiques », puis il écrit que de l'information est transmise de l'objet à l'image et qu'elle subit à la traversée des milieux optiques certaines transformations. Les modèles utilisés sont des matrices et des équations difficiles.

La cybernétique considère cependant ce modèle de l'optique comme sien parce qu'il fait intervenir l'information. L'optique, en effet, trouve sa raison d'être dans le sens de la vue, au moyen duquel l'homme recueille des informations sur le milieu extérieur. Le phénomène initial, dans l'optique, c'est l'action physique du milieu extérieur sur l'être humain par laquelle se crée un pattern de connaissance immédiate que l'on identifie couramment au modèle dialectique élémentaire appelé l'« image visuelle » du milieu extérieur. Cette action physique est porteuse d'information; c'est donc l'information apportée à l'être humain par les phénomènes physiques agissant sur les organes de la vue qui doit constituer l'objet premier d'un modèle cybernétique de l'optique.

Le modèle de l'optique de Gabor met en relief une fois encore la différence entre le raisonnement scientifique et le raisonnement cybernétique. Dans les équations de Gabor, il n'y a rien pour représenter la substance physique appelée « lumière »; on peut dire encore que la notion de lumière n'est pas nécessaire à la représentation dialectique des phénomènes étudiés par l'optique. Quelque légitime surprise que l'on en ait, il faut reconnaître la chose. L'être appelé « lumière » est un

modèle dialectique issu d'une convention sociale, comme la température, déjà prise en exemple. Le concept de lumière se rattache vraisemblablement à certaine conception causaliste ou matérialiste de l'univers, comme l'éther se rattachait à une conception mécaniste. L'une et l'autre de ces conceptions sont des *a priori* que la science s'impose, et dont la cybernétique n'a pas besoin.

La surprise apaisée d'une théorie de l'optique d'où est supprimée la lumière, le caractère du raisonnement cybernétique sur lequel il faut insister est cette sorte de retour aux sources du savoir, qui a consisté, pour l'exemple précédent, dans la substitution de l'information, être psycho-physique perçu par l'homme, à la lumière, être logique imaginé par l'homme par besoin d'une « cause » dont l'existence était posée *a priori*. Dans la préparation d'une action particulière, c'est sous la forme de modèles dialectiques élémentaires que se présentent les informations issues du milieu extérieur. C'est donc dans l'universalité des cas que les raisonnements cybernétiques ont pour données des informations immédiates issues du milieu extérieur.

Et nous voici en mesure d'énoncer ces caractères différentiels de la connaissance scientifique et de la connaissance cybernétique, qui paraissent les plus importants. *La science décrit la plus vaste partie possible de l'univers en forme de déductions à partir d'axiomes*, qui sont les propositions les plus abstraites de l'ensemble. *La cybernétique décrit la partie du milieu extérieur où doit se développer une action par analogies à partir de concepts de base*, qui sont les modèles dialectiques élémentaires les plus voisins possibles des patterns de connaissance immédiate.

La science et la loi, bornes de l'imagination cybernétique

Mais, dira-t-on justement, les propositions établies par le raisonnement scientifique, quel que soit le système de modèles dialectiques, quel que soit le langage dans lequel elles s'expriment, n'en restent pas moins des lois de la nature. La cybernétique, en admettant même qu'elle trouve avantage à les exprimer dans un autre langage, ne saurait les ignorer.

Aussi bien ne les ignore-t-elle pas.

Si la construction des machines thermiques n'use guère de la notion de gaz parfait, et n'a que faire de la théorie cinétique des gaz, par contre les relations entre pression, volume et température propres au gaz employé dans la machine, air, vapeur d'eau, ammoniac ou carburant, constituent une notion de base. On l'exprime sous forme de formules d'origine expérimentale et, plus souvent, de graphiques. Le rendement est une autre notion de base, qui se diversifie en rendements propres aux éléments de l'installation; et la notion de rendement est entrée dans la technique par les principes de Carnot. Or, loi des gaz parfaits et principes de Carnot définissent des rendements maxima qu'aucune machine réelle ne saurait atteindre. L'ingénieur, agissant en cybernéticien, qui imagine une machine nouvelle doit savoir qu'elle n'atteindra pas le rendement théorique que les lois de la physique permettent de définir. C'est dire que *les lois de la nature définissent des régions interdites où l'imagination inventive du cybernéticien doit s'abstenir d'entrer, sous peine d'efficacité nulle.*

Mais en est-il autrement des lois édictées par les sociétés humaines ? Elles interdisent certaines actions; mais elles laissent à chacun la liberté d'organiser toutes autres actions à son gré.

Ainsi, donc, au regard de l'action, non seulement les lois naturelles, dont on a noté le caractère de conventions sociales, mais aussi les conventions sociales que fixent la législation, les coutumes et les contrats particuliers jouent le même rôle, exactement : elles définissent un domaine d'inefficacité totale de l'action. Ainsi s'achève l'extension à l'action sociale du domaine de la cybernétique, par l'annexion à ce domaine du Droit lui-même.

Et sans doute aussi voit-on clairement pourquoi une méthodologie de l'action ne peut pas être la théorie espérée par Wiener.

D'une telle théorie, l'élément essentiel est la théorie de l'information de Shannon. Son caractère scientifique, c'est-à-dire seulement descriptif, est déjà marqué par le fait qu'elle ne retient de l'information que la forme matérielle, le système de signaux

qui la convoie. Le résultat capital est l'évaluation d'une limite du débit moyen de messages que l'on peut transmettre dans un canal déterminé. Le caractère limitatif d'une loi naturelle ne saurait être plus évident. C'est d'ailleurs sous cette forme même qu'elle a été utile : elle a conduit, dans la cybernétique des appareils de télécommunications, à remplacer la recherche d'un plus grand débit brut de signaux par celle d'une meilleure structure des messages. Dans la cybernétique de la recherche scientifique, elle a permis à Mac Culloch et Abraham Moles, l'un par des mesures directes, l'autre par le détour de la psychologie, de montrer que le débit d'information que peut assimiler l'esprit humain est très inférieur à celui du système nerveux sensoriel, ou, en termes de la langue courante, que la physique du corps humain ne peut, pour le moment, être une gêne à l'activité de l'esprit. C'est dire aussi que l'information — au sens total du mot — est autre chose que le transport de signaux par le système nerveux, et doit être étudiée par d'autres méthodes.

L'extension en cours du domaine de signification de la fonction H de Shannon à des systèmes informationnels ou physiques divers conduit même à une notion nouvelle, celle de la *complexité* d'un système. Un exemple précis de telles extensions sera donné par M. Moles lui-même au cours de ces journées de Congrès.

La limitation de l'action par les lois naturelles porte souvent sur des points inattendus.

On connaît l'aventure du démon de Maxwell. Placé dans une enceinte close, il doit noter le sens dans lequel se déplacent les molécules, et agir en conséquence. Or une enceinte close est un corps noir, dans lequel on ne peut rien voir; en termes plus savants, on ne connaît, dans la situation actuelle, aucun moyen de transmettre une information à l'intérieur d'un corps noir. Le « démon » ne peut donc reconnaître le sens du mouvement des molécules. L'expérience imaginée par Maxwell se heurte, même sur le plan purement fonctionnel, à une limitation imposée par les lois naturelles à laquelle n'avait point pensé le savant.

Dans le domaine de la vie sociale, une multitude d'actions

ou de projets peuvent être cités dont l'échec effectif ou prévisible tient à l'inobservation ou à l'ignorance des lois de la psychologie ou de la sociologie. Ainsi voit-on se développer une propagande pour l'enseignement des mathématiques sous forme axiomatique dans les Établissements moyens, lycées, gymnases, athénées, qui ne tient pas compte — ou ignore — que 5 % seulement des humains de moins de 18 ans sont capables d'assimiler un raisonnement ne portant que sur des symboles. Ce résultat ressort des travaux de Flesch, de Johandot et de Mialaret, notamment.

Dans les exemples précédents, l'inobservance des lois de la nature était flagrante et totale. Presque toujours, la généralité de ces lois ou le langage dans lequel elles sont énoncées laissent aux conditions de leur validité une imprécision redoutable, ou bien, la loi transgressée, faut-il réparer le dommage.

S'il s'agit de projet ou de programme d'action, la progression sera prudente. C'est pourquoi l'on voit la puissance des machines ou la dimension des édifices s'accroître lentement au cours des siècles alors que l'on se demande, à juste titre, pourquoi ces constructions qui, dit-on, sont « calculées » par des ingénieurs savants en « application » de hautes théories scientifiques n'ont pas été, dès l'abord, les plus puissantes et les plus compliquées.

Et il faut lire ces lignes émouvantes où Nevil Shute décrit l'inquiétude des ingénieurs chargés de construire le dirigeable R 101 n'ayant pour garde et pour soutien que des calculs de résistance, jusqu'au moment où il se vérifiait que les charpentes supportaient les efforts prévus : « Notre émotion, dit-il, atteignait alors l'intensité d'une expérience religieuse. »

En réalité, c'est par analogie avec un alternateur qui « marche » que l'on conçoit un alternateur plus puissant, avec un pont qui « tient » que l'on en dessine un autre pour un fleuve plus large. Et, l'imagination ayant œuvré d'abord par raisonnement analogique, on s'assure *ensuite* par des raisonnements déductifs, que l'on n'a pas transgressé les lois de l'électrotechnique ou de l'élasticité.

On édifie une description du monde et on la prouve, peut-

être, par Aristote ou Bourbaki; mais, certainement, *on n'invente que par raisonnement analogique.*

Et s'il s'agit de loi transgressée, le problème qui se pose est, en toute généralité, le problème de la responsabilité. Quand une machine casse, on cherche la pièce « responsable », et par-delà, peut-être, le dessinateur ou l'ingénieur qui l'a conçue. Quand une loi des hommes a été transgressée par une action dommageable à quelqu'un, on cherche l'être, matériel ou humain, immédiatement « responsable » et par-delà la personne juridique qui en a la garde. La notion de responsabilité est inséparable de celle d'une action inefficace, les juristes diraient, je crois, une action délictuelle. La cybernétique, conçue comme doctrine des méthodes d'action, a nécessairement parmi ses notions de base une analyse de l'action. Cette analyse est le cadre normal de la recherche de la responsabilité. Nous en avons fait, conjointement avec le contrôleur général de la Marine Jacquet, une application avant l'heure — car il y a plus de 20 ans — à la détermination des organes défaillants d'une machine à calculer d'après la nature des erreurs de calcul commises. M^e Simone Lévy présentera à ce Congrès la première étude, à notre connaissance, sur la contribution de la cybernétique à la détermination de la responsabilité juridique, se rencontrant en partie avec le Pr Wetzell, de l'Université de Munich.

Conclusion

Je voudrais, pour conclure, avoir montré jusqu'à convaincre, que l'action, et notamment l'action humaine, se prépare, se décide, et s'accomplit par des opérations particulières, qui ne sont ni l'abstraction de la science, ni la conduite ordonnée d'actes successifs qui constitue la technique. Élargissant jusqu'aux limites la pensée de Wiener, cette méthode d'organiser et de conduire l'action s'appellera encore la cybernétique.

L'analogie et l'élaboration de modèles en sont les moyens de raisonnement essentiels; modèles physiques, comme ceux qu'exige la psychobiologie, et dont le Dr Sauvan, disciple de Gray Walter et de Ross Ashby, présentera ici même le dernier-né,

modèles dialectiques qui, à partir des notions de base immédiatement issues des faits observés, construiront un édifice des connaissances humaines et une expression des lois de la nature et de la société bien adaptés à l'action.

La cybernétique, sûre, désormais, de ses méthodes, peut apporter dans tous les problèmes d'action une contribution efficace. Elle ne demande qu'à servir.

THE IRREVELANCE OF AUTOMATION
(L'AUTOMATION, UNE SOLUTION INADÉQUATE)

Extraits d'un exposé de M. Stafford Beer
au dernier Congrès International de Cybernétique
à Namur (1958) (1)

La seconde révolution industrielle

Nous pouvons tous imaginer comment se présentaient les usines vers la fin du XVIII^e siècle. Dans tous les pays alors industrialisés, des hommes, des femmes et des enfants travaillaient dans d'effroyables conditions à une production dont dépendait leur société. Sur cette scène de misère un événement surgit.

L'avènement de la machine fut suffisamment brusque et ses implications assez dramatiques pour que les historiens la qualifient de révolutionnaire. Les quelques années qui ont suffi pour que les premières manifestations de la production mécanique concordent avec un bouleversement social sont maintenant connues comme l'époque de la Révolution industrielle.

Nous croyons, aujourd'hui, être en présence d'un phénomène comparable. Cent cinquante ans de mécanisation sans cesse croissante nous ont menés à une ère que beaucoup refusent de considérer comme une simple extension des premiers progrès. Ils pensent qu'une nouvelle étape a été franchie. L'automation est venue, et, avec elle, une nouvelle expression à la mode : « La seconde révolution industrielle. » Or il est très difficile aux contemporains de reconnaître une révolution, plus difficile encore de définir sa portée. Pourquoi parlons-nous d'une deuxième révolution ? Je pense que ce n'est pas tant pour la nouveauté de l'automation que pour la nouvelle secousse sociale qu'elle a provoquée. Une menace de chômage a été amorcée,

(1) Le texte intégral et définitif de cette communication se trouvera aux *Actes du II^e Congrès International de Cybernétique*, Namur, 1958.

perceptible à tous ceux qui cherchent à imaginer un avenir dominé par l'automatisme. Que cette menace soit ou non illusoire est un problème intéressant mais qui s'éloigne de notre propos. Le fait demeure qu'une crainte qui pourrait bien se réaliser dans l'avenir, a concentré l'attention du monde industriel sur sa propre sécurité. Et je pense que cette idée s'applique aussi bien aux dirigeants qu'aux travailleurs.

Cette impression d'insécurité que ressent la société industrielle agit profondément et largement sur le développement de l'automation. Les gens ont un motif profond et probablement inconscient pour refuser que certains procédés de travail soient automatisés, que certaines routines bureaucratiques soient confiées aux calculatrices, ou encore pour qu'aucun effort soit entrepris pour augmenter les possibilités d'appréciations du chef par des machines capables de prendre une décision. Examinons un argument que l'on a souvent avancé : « On ne peut attendre des machines automatiques qu'elles prennent en considération la totalité des facteurs qui entrent en jeu pour tel procédé, telle routine, telle appréciation. On doit tenir compte de trop de variables. » Ceci est théoriquement admissible; nous aimons nous flatter en pensant que notre cerveau est capable de jongler avec des douzaines de variables. Et pourtant il est difficile de trouver des arguments plus absurdes que celui-ci pour contester l'automation. Car notre cerveau qui est capable d'accomplir magnifiquement quantités d'opérations est évidemment incapable de manipuler plus qu'un très petit nombre de variables. Si nous considérons par exemple une équation du modèle suivant :

$$2 x + 5 y - 3 z = 7$$

$$8 x - 6 y + 2 z = 6$$

$$7 x + 9 y - 8 z = 9$$

Nous trouvons là 3 inconnues et assez d'informations pour les calculer. Aucun des nombres ne comporte plus d'un chiffre. Pouvons-nous résoudre mentalement cette simple suite d'équations linéaires sans le secours d'un crayon et d'une feuille de papier ?

La machine à calculer, base de l'automatisme, peut, au contraire, manipuler des matrices d'un niveau infiniment plus complexe : elle peut résoudre des problèmes impliquant des centaines de variables. Qu'advient-il alors de cet argument plausible et de quel malaise est-il un symptôme ?

J'ai essayé jusqu'ici de faire un croquis facile du progrès industriel. Ce tableau ne s'attarde pas à décrire les colossales performances techniques, les machines-transfert, les grands complexes électroniques. Peut-être nous sommes-nous déjà suffisamment félicités de ces progrès. Mon tableau se situe à un niveau plus profond. C'est l'image d'une société industrielle qui aborde une deuxième révolution industrielle, d'une société dont l'attention s'est concentrée sur une vision étroite et particulière de sa capacité inventive, en essayant de croire que l'automatisme est en elle-même une révolution. C'est une société qui éprouve un sentiment de malaise, voire de culpabilité pour son propre avenir. Parce qu'elle est en train de se forger des problèmes qu'elle ne peut honnêtement prétendre résoudre ; problèmes dont la portée dépasse la science de l'ingénieur ou de l'économiste.

J'en viens à mon point essentiel sur lequel il ne faut aucun malentendu.

Je n'attaque pas l'automatisme. Je m'en prends à l'apothéose de l'automatisme. Il me semble que pour nous, qui vivons cette deuxième révolution, nous avons pris un faux départ. Une vision se crée, qui est fautive, et la voie que nous cherchons à suivre, nous sentons instinctivement qu'elle est basée sur des valeurs fautes. Je veux dire que ce dont je vous parle se rapporte non pas aux conquêtes réalisées dans les problèmes de production qui ont commencé avec Sargrove et sont entrés dans le domaine de l'histoire avec J. Diebold, mais à un concept plus fondamental de l'automatisme, enfoui dans nos rêves, à demi entrevu et à peine compris.

Considérons l'usine automatique comme un archétype de la nouvelle industrie. Si elle doit être rentable en termes d'investissements, elle doit nécessairement s'accompagner d'un marché

automatisé, parce qu'elle est trop rigide pour suivre les fluctuations et ne peut se permettre de ralentir sa marche. Elle implique un apport de capital automatique, pour assurer, quoi qu'il arrive, ses stockages, son entretien, sa bonne marche. Elle implique aussi la soumission de son personnel. Parce que les chefs doivent, au départ, prendre des décisions irrévocables et se soumettre à leurs conséquences. Et les ouvriers doivent accepter une disqualification régulière, les hommes étant transférés vers des tâches trop élémentaires pour être exécutées par les machines. Par-dessus tout — et conduisant jusqu'où ? — cette merveille technologique implique l'abandon des critères admis pour l'existence d'une société industrielle, car son capital, ses marchés, ses stocks, ses réserves, ses chefs et ses hommes, sont contraints, dès qu'elle existe, à une politique irréversible. Qu'il soit possible de construire cette usine automatique est l'argument obsessionnel de sa conception : « Le monde lui doit d'exister ». C'est pourquoi j'ose faire appel à la Morale. Le vieux principe moral (que l'on retrouve chez Kant) que l'obligation implique la possibilité, a été retourné. Au lieu de « devoir » implique « pouvoir », nous avons « pouvoir » implique « devoir ».

Évidemment, il ne peut pas en être ainsi, et je crois que cette vue est venue faussement soutenir l'idée de la deuxième révolution industrielle, et que ceux qui n'ont pas réellement réfléchi à ses conséquences ont néanmoins le sentiment que cette optique ne sera pas valable. Ils se rebellent contre ce *deus ex machina* qui se cache dans les brumes de l'avenir; cela leur donne ce sentiment de malaise, de culpabilité dont j'ai parlé. Et, ainsi, il arrive que des procédés qui devraient être automatisés, des routines qui devraient être confiées aux calculatrices, des décisions qui seraient mieux prises par des machines, toutes ces choses que l'on devrait faire, bien au contraire, on leur résiste. Et, par un processus familier aux psychologues, puisque la résistance est inconsciente, on doit la « motiver ». C'est pourquoi, dans notre effort de pionnier, nous rencontrons tant d'arguments qui se veulent rationnels, comme celui cité plus haut,

à propos du traitement des variables mais que l'examen révèle logiquement absurde.

En bref, pour notre nouvelle révolution industrielle on nous présente de mauvais objectifs, nous avançons de mauvaises raisons et, par conséquent, nous recevons des réponses erronées. C'est pourquoi j'ai affirmé, dans le titre de mon exposé, que l'automatisation n'est pas du domaine où l'on trouve la clé des problèmes du monde industriel actuel.

C'est sans aucun doute une position curieuse et impopulaire. Elle sera probablement mal interprétée et taxée de réactionnaire. Mais s'il est un endroit au monde où elle puisse être exposée, c'est à Namur. Car, j'en suis persuadé, c'est dans cette nouvelle science, qu'est la cybernétique, que se trouve la vraie réponse.

Rôle de la cybernétique

Tournons-nous alors vers la cybernétique et examinons ses programmes comme les envisageaient Wiener et ses premiers disciples américains. Aucun de ces hommes n'avaient besoin de promouvoir une nouvelle science. Chacun d'eux, dans son propre domaine, jouissait d'une position professionnelle élevée. Ils ont conçu la cybernétique comme une science méritant un nom particulier parce qu'ils décelaient dans le concept du « contrôle » (1) une idée omniprésente dans leurs disciplines variées. Une « science » représente bien plus que la répétition d'un thème. Le contrôle et ses prolongements sont, pour la cybernétique, l'*objet* de la recherche. Les savants, qui sont accessoirement cybernéticiens, oublient souvent cette « unité dans la diversité ». Pour nous qui venons de diverses branches du savoir et sommes formés à des disciplines scientifiques variées, nous retrouvons un intérêt commun dans les problèmes de contrôle. Mais avons-nous bien reconnu l'identité de ces problèmes ? A moins que ce ne soient les mêmes en biologie, en médecine, dans l'industrie, en sociologie, en économie, etc., il n'y aurait pas en effet de science cybernétique. Et la faillite de la conception

(1) Control en anglais : autorité, pouvoir, direction, commande, gouvernement, comme en français dans « avoir le contrôle de... ».

fausse mais soigneusement entretenue de l'automatisme, réside justement dans l'impossibilité d'identifier en elle l'unité cybernétique du contrôle et les problèmes de la société industrielle considérée en soi et dans son ensemble.

La nécessité pratique de diviser une conférence, un livre ou une discussion sur la cybernétique en champs d'investigations dénature malheureusement ce caractère particulier de l'indivisibilité du concept de contrôle. Et à moins d'une vigilance accrue, l'idée se propagera largement que la « cybernétique industrielle » n'est ni plus, ni moins qu'un nom pour étudier l'automatisme, ce qui aboutirait à fausser la monnaie de notre langage, car, en fait, les ingénieurs ont réussi à développer leurs machines automatiques sans se réclamer des autres manifestations du contrôle en écologie ou psychologie par exemple et en se référant peu à la logique et à la philosophie qui sont à la base des recherches cybernétiques. L'automatisation traite en majeure partie de systèmes intégralement couplés et formulés, en théorie pure, par la mathématique des servo-mécanismes. Si, à cette sorte de travail nous décernons le titre de cybernétique industrielle, comme le sous-entendait le titre d'un livre bien connu, nous abandonnerons la théorie générale — interdisciplines — du contrôle et de l'information que nous avons cherché à dégager.

Qu'il me soit permis de rassembler rapidement les fils que j'ai essayé de démêler. Si nous vivons une deuxième révolution industrielle, nous devons la penser dans son ensemble. L'automatisme, naturellement, contribue largement à cette révolution mais elle n'est pas en soi cette révolution. Les données de la discussion doivent pouvoir rendre compte de l'aspect « production » de l'industrie et de son aspect commercial; mais aussi de son environnement économique et social. Par-dessus tout, elles doivent rendre compte des diverses hiérarchies et de l'autonomie des structures de direction qui touchent de façon très variée à tous les aspects de cet environnement. Or, c'est la tâche que la cybernétique peut accomplir dans l'industrie. La cybernétique peut définir la vraie nature de la révolution et

montrer comment avancer en sécurité et avec succès dans la nouvelle phase industrielle. La dernière partie de cet exposé sera consacrée à préciser le mode de pensée nécessaire. Je crois que ce doit être une pensée fondamentalement neuve, une pensée cybernétique. Mais elle doit être formulée à l'aide du vocabulaire courant, et pour ce faire, il faut d'abord établir un langage qui permette une pleine compréhension.

Un des obstacles les plus alarmants auxquels mon groupe se soit heurté, dans ses recherches cybernétiques ces dernières années, est la difficulté de parler cybernétique. Ce qu'on cherche à formuler sur la situation présente se mêle au slogan vide de sens de la prétendue révolution. Prenons par exemple l'orientation d'une politique industrielle. C'est une chose délicate, intuitive, mouvante, où interviennent la probabilité, des considérations fiduciaires, etc. Rien de plus décourageant pour le cybernéticien qui essaie d'appréhender cette situation, que de s'entendre dire que de tels problèmes de gestion peuvent être résolus avec une dose suffisante de traitement automatique des données.

Mais alors quel est ce langage dont j'ai parlé plus haut et comment se réclamer avec profit d'une science cybernétique distincte et séparée des sciences traditionnelles ? Pour répondre à ces questions, je vais essayer de mon mieux d'en définir la nature et les méthodes.

Nature de la cybernétique

Ici M. Stafford Beer montre comment un système se définit par un langage. Par exemple dit-il, pour un enfant ou un sauvage, une certaine ligne de signes peut n'être qu'une simple « collection » dépourvue de signification, alors que pour un mathématicien, elle représente une série binominale, c'est-à-dire un système. Il explique en outre que les systèmes cybernétiques ne sont pas déterminés, mais au contraire généralement probabilistes, c'est-à-dire que leur structure admet certains rapports variables auxquels on peut affecter des taux de probabilité différents pour en faire l'étude complète. Naturellement il ne faut tenir compte que des taux ayant une signification statistique.

Dans ces systèmes, le « contrôle » apparaît comme une tendance

à maintenir la structure et à renforcer sa cohésion, ce qui élimine aussi tous les taux de probabilité pour lesquels le système se désagrège. Ainsi l'effort du cybernéticien pour assurer le contrôle d'un système aussi complexe que celui d'une affaire industrielle considérée en elle-même et par rapport à son environnement, est de « trouver le langage » auquel puisse répondre ce système. Mais étant bien entendu « qu'aucun observateur humain ne peut atteindre le niveau nécessaire pour décrire complètement le système, car l'observateur se déplace, obligatoirement, à l'intérieur de la boîte noire ». Ses liaisons avec elle restent mystérieuses et ce qu'on peut connaître des rapports du système et de l'observateur, ce n'est pas la façon dont ils sont reliés, mais seulement celle dont le système réagit.

Le conférencier développe ici une digression montrant que, si l'on trouve les correspondances entre les langages propres à chaque système, on peut étudier indifféremment l'un ou l'autre. Par exemple le système de « ce qui ne va pas en économie » peut être étudié dans les termes du système d'un syndrome psychique et il relate l'émerveillement des premiers cybernéticiens à cette découverte qui leur permettait de sauter d'un sujet à un autre en trouvant partout avec délices des similitudes de contrôle et d'information. Mais son but est plus précis, et il reprend ainsi :

On peut établir beaucoup de niveaux de comparaison entre deux concepts, deux raisonnements, deux systèmes. Examinons trois de ces niveaux. Une similitude établit une comparaison qui n'est pas un état de fait; sa portée est poétique et sa valeur émotionnelle. Une analogie établit une comparaison qui contribue effectivement à la compréhension. A n'est pas B; mais la structure de A est si proche de celle de B que l'analogie entre A et B permet d'expliquer B à tous ceux qui comprennent déjà A. Les analogies convenablement établies ont une valeur logique. Enfin, la forme la plus complète de comparaison est l'affirmation audacieuse que deux choses sont identiques. La valeur de cette comparaison est absolue, elle est valable dans tous les sens, dans toutes les conditions d'existence.

Quand le cybernéticien établit des comparaisons entre les processus de contrôle des systèmes décrits et étudiés par différentes disciplines, à quel niveau se placent-elles et quelle valeur ont-elles? Il semble qu'il y ait beaucoup de confusion sur ce point. En général on écarte le stade métaphorique. Le

cybernéticien évidemment ne parle pas en poète. Beaucoup écarteraient aussi l'interprétation d'identités complètes; il faut sans doute le faire à moins de confondre avec une science ce qui serait du mysticisme : ce qui nous ramène au troisième niveau, celui de l'analogie. Mais si les similitudes entre les systèmes de contrôle décrits par différentes sciences sont de simples analogies, elles n'ont pas d'autre portée que descriptive.

Cela n'entraîne pas de difficulté si nous nous souvenons de ce qui a été dit plus haut. Si les deux systèmes sont sûrement analogues, le premier travail consiste à étudier l'analogie et à s'assurer de sa valeur, c'est-à-dire des limites entre lesquelles se justifie la comparaison, entre lesquelles une conclusion valable pour l'un est valable pour l'autre. En se servant des déterminations des deux systèmes pour lesquels cette analogie est valable et d'aucune autre définition, on peut reconnaître les deux structures. Ces structures, isolées de leur finalité, seraient littéralement identiques. Il n'y aurait aucune différence entre elles. Ces identités sont la matière première de la cybernétique.

Les aspects de la cybernétique

En pratique, la méthode cybernétique se présente ainsi : on recherche un meilleur contrôle pour un système donné. Le cybernéticien fait appel à sa connaissance des systèmes quels qu'ils soient, qui présentent le mode de contrôle requis. Il établit classiquement un modèle ou une série de modèles. Ces modèles sont ensuite exhaustivement étudiés dans leurs analogies avec le système proposé. Les techniques requises à ce stade du travail sont précisément celles de la recherche opérationnelle.

Les structures doivent être isolées des systèmes. On devra chercher des langages pour exprimer ces structures. Ces langages seront vraisemblablement ceux de la logique et des mathématiques, des mathématiques elles-mêmes, et (en raison du probabilisme du système) des statistiques mathématiques. On peut alors rechercher les identités. Jusqu'à ce que les langages correspondent, c'est une transformation de paramètres statis-

tiques. Puis c'est une figuration topologique, grâce à laquelle un fragment de structure est représenté par un autre, jusqu'à ce que les structures elles-mêmes soient semblables. On parvient enfin à la solution du problème original. On comprend la structure désirée, on connaît le langage grâce auquel on peut informer le système de la structure recherchée, on peut prévoir les réactions du système.

Quand ces méthodes, les méthodes cybernétiques, s'appliquent au problème de contrôle industriel, les résultats peuvent revêtir toutes sortes d'aspects. Dans la vie pratique, ce qu'il faut, c'est établir une structure déterminée liée à des intermédiaires fonctionnels qui dotent la structure de ses informations.

Ce résultat peut, naturellement, prendre l'aspect d'une machine électronique capable de s'accommoder d'un assemblage compliqué d'instructions programmées; et dans ce cas, cela ressemblera à de l'automatisme. Mais il peut en être autrement. Il peut revêtir la forme d'une machine électronique non programmée mais chargée d'atteindre un but, de renseigner sur une situation, ou d'élargir l'intelligence. Le résultat peut aussi bien revêtir la forme d'une série de règles pour mener à bien une stratégie particulière, et dans ce cas, cela ressemblera à un jeu de recherche opérationnelle. Il peut aussi ressembler à une cellule colloïdale, élaborant des solutions pour conduire son contrôle grâce à un délicat cheminement de transformations chimiques.

Quelle que soit son apparence, ce résultat tend vers un but : fournir un nouveau moyen de contrôle plus précis. Peu importe à quoi il ressemble. Il vise à remplacer le hasard, la précipitation. C'est de la gestion par homéostasie ou auto-régulation. C'est un outil sensible, organique. Telle est la famille des systèmes de contrôle cybernétiques auxquels se rattache l'automatisme mais dans lesquels l'automatisme a le rang d'un mécanisme réflexe au milieu d'autres mécanismes dont certains ont, eux, rang de mécanismes cérébraux.

Cet ensemble de solutions, au total, est capable d'adapter son comportement, de rechercher l'ultime objectif écologique

de la survivance. L'avenir pour la cybernétique appliquée à l'industrie est dans le développement et l'exploitation de cette famille de solutions. C'est à propos de cela qu'on pourra parler de la deuxième révolution industrielle.

Le contrôle dans l'industrie

Je terminerai cette analyse en montrant, en termes d'industrie et en langage courant, ce que ces pensées impliquent. Prenons une compagnie imaginaire, ayant une organisation du type de nombreuses grandes entreprises existantes. Il y a un quartier général administratif et directorial qui assume la personnalité de la compagnie mais ne fabrique rien. La compagnie contrôle entièrement un certain nombre d'entreprises filiales qui sont des usines.

Cette vaste organisation n'est en aucun cas une réplique agrandie des entreprises qui la composent. Sa structure est totalement différente. Chacune des entreprises composantes est dirigée par une administration hiérarchique : une structure pyramidale d'autorités qui comporte une figure solitaire, au sommet, chargée des ultimes responsabilités. Mais l'organisation globale ne revêt pas la même forme. Les entreprises qui la composent sont autonomes. Elles rendent compte à la direction centrale. Mais celle-ci n'impose pas, elle coordonne. Elle indique une politique générale, une série d'objectifs; elle préconise les moyens d'atteindre ces objectifs et indique les limites (probablement surtout financières) entre lesquelles les filiales devront œuvrer.

Ceci est un parfait exemple de machine cybernétique. Notre premier travail sera de proposer un modèle pour le système, et l'analogie désirée pour un langage courant est évidente : c'est le modèle d'un organisme vivant, un animal, disons un homme. Les filiales autonomes sont analogues aux fonctions autonomes du corps. Chacune d'elle est contrôlée par un plexus nerveux dont la structure elle-même est hiérarchique. Dans les filiales comme dans les organes différenciés, le contrôle des systèmes agit de son propre chef pour diriger localement le

comportement de cette partie de la fonction organique dont il est responsable.

Pour une véritable étude cybernétique, cette analogie devrait être étudiée en détail, mais les structures générales des deux systèmes sont évidemment similaires. Dans les deux cas l'organisme complet est une machine capable de se maintenir dans un environnement agité, seulement parce qu'elle est coordonnée. Et dans chaque cas, le choix de l'objectif est vital malgré une série variée de buts utiles et souvent contradictoires. Par exemple, la compagnie désire réaliser le profit maximum et l'homme jouir au maximum de l'existence. Aucun des deux systèmes ne peut adopter une stratégie basée sur ces seuls mobiles hédoniques, parce qu'une telle attitude l'entraînerait vers une politique à court terme désastreuse pour sa survie à long terme. L'homme peut boire beaucoup de whisky pour rechercher son plaisir au détriment de son foie et mourir de cyrrhose; la compagnie peut gagner beaucoup d'argent en sacrifiant sa clientèle et s'effondrer faute de commandes.

L'analogie pourrait et doit être poussée jusqu'aux limites de sa valeur logique. Ceci fait, les structures des deux systèmes doivent être isolées de leur contexte, formulées et scientifiquement comparées. Cela aussi est très possible. Toutes sortes d'incidences opérationnelles peuvent être mises en lumière à ce stade. Ainsi, il apparaît rapidement qu'il est raisonnable pour la compagnie de penser que le contrôle centralisé n'implique pas une structure hiérarchisée jusqu'au sommet, tout comme dans le cortex cérébral. Les réflexes et toutes les fonctions locales avec leurs glandes endocrines et leurs plexus nerveux, sont contrôlés localement et dans la moelle épinière, le cervelet et le cerveau moyen. Supposons que tous ces contrôles soient raccordés et contrôlés en détail par le cortex. Il est facile d'imaginer la taille démesurée qui devrait être celle du cerveau pour saisir toute cette information; tout comme la compagnie sait qu'il lui faudrait une vaste organisation, lourde et complexe, pour contrôler en détail toutes ses filiales.

Physiologiquement l'idée est inacceptable. Psychologique-

ment l'analogie implique un homme qui soit conscient de chaque battement de son cœur. L'homme comme la compagnie seraient rapidement névrosés.

Non, la nature du contrôle indispensable est la même dans les deux cas, car les deux systèmes, à un degré élevé, sont isomorphes. Supposons que soit bien établie l'échelle d'identité des structures, que la figuration topologique des deux séries soit complète et bien comprise. Le cybernéticien est maintenant prêt à dégager un programme dynamique et homéostatique pour le déploiement du large champ de variables que la compagnie cherche à maîtriser.

Nous allons choisir pour continuer l'illustration de notre exemple, le contrôle de l'énergie du système. Pour la compagnie, c'est l'emploi de son capital.

Essai d'exemple

Si l'on ne tient pas compte des sources de ponctions de capital les plus faibles, notre entreprise imaginaire peut absorber son capital de trois façons : en matériel, en stocks et en crédits. Du matériel nouveau, des stocks accrus et l'extension du crédit absorbent continuellement le capital frais qui doit être prélevé sur le marché ou retranché des profits. Pour la plus grande partie, le corps de l'homme, pas plus que la compagnie, ne formule consciemment, en esprit ou au stade directorial, une politique quant à la distribution détaillée de l'énergie disponible. Un homme peut se coucher tôt pour emmagasiner de l'énergie en vue d'un gros effort à fournir le lendemain; et l'entreprise peut faire des réserves de capital en vue de projets futurs d'extension. Mais l'absorption de capital quotidienne, comme celle d'énergie, dépend de l'appel qu'en font, indépendamment, les filiales ou les organes du corps.

Un brusque effort physique pour le système humain, et de l'adrénaline est mise en circuit sans intervention consciente. Un besoin d'approvisionnement supplémentaire en matières premières pour l'une des filiales, et l'apport de capital est fourni par des stocks sans l'accord spécifié de la direction centrale.

Sans contrôle conscient, donc, le corps comme l'organisation ont une politique d'apports d'énergie *qui ne peut être formelle*. Cet apport est influencé à chaque instant par les demandes internes du système et par les pressions externes qu'il subit de son environnement. Ces modifications constantes dans la stratégie de l'approvisionnement optimum d'énergie interdisent virtuellement d'avoir une politique consciente de son usage différencié.

Que prouve l'exploitation de cette analogie ? Nous sommes enclins à traiter ces problèmes de gestion de stocks comme une analyse d'input-output. C'est ce que fait la recherche opérationnelle, même la plus compliquée. Mais dès l'instant que l'organisme est considéré comme un tout, ce mode classique de contrôle semble presque dénué de sens. On ne peut jamais définir l'input ou l'output d'un système lui-même indéfini. Le langage employé nous emprisonne à l'intérieur du système, nous sommes à l'intérieur de la boîte noire.

Ce mécanisme tout entier est un perpétuel mélange d'interactions. La résultante du système dépend d'imprévisibles conditions externes ou internes. Il y a une contrainte au départ puisque, ni l'énergie, ni le capital ne sont illimités. Mais la disponibilité réelle de cette énergie dans l'avenir immédiat est imprévisible au niveau local. Ceci parce que personne ne sait ce que seront les besoins des autres composants du système, ni si le corps tout entier pourra faire face à un besoin plutôt qu'à un autre, ni si l'énergie totale réclamée ne dépasse pas ce que le corps peut fournir.

C'est par déduction scientifique, et, je le répète, pour ces raisons, que les approches classiques des problèmes ne sont pas valables.

On sait par simple expérience dans l'industrie, que les stocks tendent à augmenter à moins qu'une contrainte rigide et artificielle ne pèse sur le capital comme une interdiction absolue. Cybernétiquement, nous pouvons voir pourquoi il doit en être ainsi. Cela peut s'expliquer à partir du modèle thermodynamique d'entropie que nous ne pouvons examiner ici en détail. Pour

résister à la tendance naturelle de l'entropie à s'élever, qui tendra à distribuer sous forme de stock tout capital disponible, il n'y a pas de contre-réaction négative correspondante. Il faut l'intervention d'un message conscient du cerveau, entouré sous une forme quelconque d'une sanction.

Ni le corps, ni l'entreprise ne se servent beaucoup de cette sorte de contre-réaction négative, toujours parce qu'elle s'oppose aux principes d'organisation de la structure du système.

On pourrait encore disserter longtemps sur le sujet, mais nous devons conclure en nous demandant quelle forme de contrôle le cybernéticien pourra proposer. Bien que les besoins d'énergie ne puissent être prévus avec précision, il est vrai que, rétrospectivement, sur une période donnée, cette énergie doit avoir atteint un niveau donné et être répartie d'une certaine façon. La façon dont cette énergie ou ce capital ont été répartis, reflètera, non seulement les influences variées qui se sont exercées pendant cette période, mais plus particulièrement leur répartition réelle dans la période immédiatement précédente. La façon dont l'énergie d'un système organique peut être répartie dans la période suivante, dépend étroitement de sa répartition actuelle, bien que l'énergie totale dans cette période puisse être totalement différente et impossible à prévoir. En second lieu, la répartition dans la période suivante est profondément influencée par la perspective des ponctions qui seront faites sur l'organisme durant cette même période. Ces faits s'appliquent étroitement aux structures que nous examinons ; ils se dégagent de la réalité des deux systèmes que sont l'entreprise et le corps humain.

Alors, je peux en conclure ceci : la maîtrise de cette situation n'implique pas que la prévision (impossible) de l'offre et de la demande d'énergie soit établie comme un modèle (dépourvu de signification) de gestion des stocks qui montre les influences (aléatoires) qui prévaudront. Mais elle implique de savoir comment le système apprend à se stabiliser à la lumière des informations qu'il possède. Sans aucun doute, le système peut apprendre une stratégie dans ce sens parce qu'il réussit à amortir

les effets des innombrables perturbations internes ou externes qu'il est appelé à subir; une fois que l'analogie cybernétique a été étendue à la faculté d'information du système tout entier, un contrôle devient possible. Ceci ne veut naturellement pas dire les possibilités d'informations, les expériences personnelles des responsables. Cela s'applique au système organique tout entier à une entité qu'on n'a pas l'habitude de considérer comme susceptible d'apprendre quelque chose.

Une fois compris ce modèle, on a créé une situation où les responsables peuvent manipuler les facteurs sensibles aux phénomènes d'information. Prenons un exemple grossier :

Vous essayez de perfectionner un homme dans une nouvelle langue. Son énergie n'est pas convenablement dépensée. Quand vous essayez d'attirer son attention vers le tableau noir, il regarde par la fenêtre. Vous en concluez que quelque chose attire son attention au dehors et vous tirez les rideaux. Il se tourne aussitôt vers un condisciple. Ces deux objectifs pourraient n'être que de compréhensibles distractions. Mais vous vous apercevez en fin de compte que son regard était attiré par l'herbe verte et le vêtement vert. Le vert est la condition externe pour déclencher le processus d'apprentissage. Il n'y a pas de raison évidente à cela, mais pour exploiter ce modèle, vous vous servez de craie verte et il fait attention.

Dans les exemples de problèmes que nous avons si brièvement examinés, il y a pour expliquer la croissance des stocks des raisons de complexité, d'indéfinition, et leur tendance naturelle à croître. On ne peut élucider les véritables explications; en fait, c'est peut-être un non-sens de parler de véritables explications. Un contrôle par ordre assorti de sanctions ayant été éliminé, aucun contrôle ordinaire du système ne sera efficace. Mais des facteurs qui peuvent être totalement inattendus et sans aucun rapport apparent, auxquels la faculté d'information du système est sensible, peuvent être découverts et utilisés. Personnellement, je pense que ces facteurs sont des conventions du langage par lequel la structure du système est accessible aux responsables. Ceci revient peut-être à dire que le processus

d'information du système réagit à ce que les gens croient, à tort, être son mécanisme. Quoi qu'il en soit, on doit œuvrer dans ce sens. Les conventions du langage peuvent être transformées. Je pense qu'alors, le comportement du système changera.

Conclusion

Mon exposé est maintenant terminé car j'ai dit en quoi consiste la deuxième révolution industrielle et la nature de la cybernétique, le rôle qu'elle est appelée à jouer dans l'industrie et la façon dont, à mon avis, on peut l'exploiter. D'un bout à l'autre de cet exposé qui est un simple exemple j'ai essayé de faire le point de ma contribution à cette conférence. C'est que nous parlons de structures et de leur dynamisme quand il s'agit de contrôle. Nous ne parlons pas des systèmes qui entourent les structures, pas plus que nous ne parlons des manifestations externes du contrôle. J'espère qu'il ressort suffisamment de l'exemple de la gestion des stocks quelle est la part « d'à côté » dans le problème de l'aspect du contrôle du système.

Le genre de contrôle proposé pourrait être établi simplement en précisant la signification des termes employés par les responsables de cette entreprise imaginaire. Il pourrait être complété en remplaçant quelques-unes des décisions (celles-là même auxquelles le système a prouvé qu'il était sensible) par une machine chimique ou électronique, peu importe. Il pourrait être parachevé dans certains cas en programmant une calculatrice pour une stratégie des jeux sur des données fournies automatiquement par la chaîne de production et où la calculatrice elle-même évaluerait la production et les stocks nécessaires. Plusieurs décisions sont possibles. Elles correspondent à une seule et même solution cybernétique.

J'en reviens ainsi à montrer le rôle de l'automatisation dans la nouvelle révolution en la replaçant dans ce que je crois être son vrai contexte. L'automatisation met en lumière une sorte de contrôle dynamique basé sur une sorte de structure. C'est un type déterminé de systèmes, doté de quelques caractéristiques de valeur : le couplage des mécanismes, la contre-réaction, la rapidité de

ses réponses. Ces avantages en font dans certains cas un modèle commode et dans d'autres cas la manifestation commode d'une solution cybernétique prête à être mise en place. Elle a aussi ses inconvénients. Pour une entreprise où l'évolution des produits et de leurs procédés de fabrication est vitale, la structure automatique est impossible. Dans des problèmes comme ceux de gestion de stocks, pour lesquels le modèle d'analyse d'input-output est chimérique, la structure automatique est, elle aussi, chimérique. Et toujours, la rapidité de réceptivité à son propre langage, entraîne comme corollaire, une réceptivité très lente aux autres langages à l'intérieur du système général. La « loquacité » de la machine automatique est faible; elle est trop occupée à accomplir son propre travail. Dans de très nombreuses branches, ce n'est pas d'automation que nous avons besoin comme modèle structurel ou comme manifestation, mais de quelque chose de plus physiologique.

La cybernétique peut s'attaquer à toutes sortes de contrôles, de structures, de systèmes. L'automation est un de ces systèmes. Mais la science cybernétique, si on l'emploie comme instrument de pensée pour résoudre les problèmes de contrôle qui entravent l'industrie, appartient à un domaine qui n'est pas celui de l'automation, où l'automation est inadéquate.

ASTRONAUTIQUE

LES DÉBUTS

D'UNE GRANDE AVENTURE HUMAINE : L'ASTRONAUTIQUE EST NÉE

par A. LALLEMAND (1) et M. GARNIER

Dernière née des Grandes Techniques Nouvelles, l'Astronautique concrétise un vieux rêve et en inspire de nouveaux, justifie des espoirs et des angoisses, pose des problèmes immédiats et en fait entrevoir de lointains. Surtout elle est pour tous les hommes la réponse à leur désir de fierté, un symbole de leur puissance qu'elle semble porter à l'échelle de l'univers.

Si, sans négliger cet état d'esprit, on veut procéder à un examen objectif des résultats actuellement atteints et évaluer les prévisions ou les projets à court terme connus, on voit aussitôt apparaître une série de questions moins romantiquement liées à l'évolution de l'humanité. Elles se réfèrent d'une part aux charges, aux obligations, comme aux bénéfiques que l'humanité va tirer de l'astronautique et d'autre part aux mobiles qui poussent les hommes à poursuivre de tels travaux. Et une fois de plus, on peut alors constater que les résultats acquis diffèrent souvent de ceux initialement recherchés, qu'ils modifient les mobiles et les intentions grâce auxquels ils ont été atteints et suscitent ainsi d'autres désirs et de nouvelles entreprises.

Quels sont aujourd'hui les résultats acquis ? Le plus évident est que les hommes sont maintenant capables de lancer un projectile qui ne retombe pas. Ils sont même très près de prouver

(1) M. A. Lallemand a été nommé membre actif du Centre International de Prospective au cours du Conseil d'Administration de septembre 1958.

qu'ils peuvent l'envoyer en dehors du champ d'action de l'attraction terrestre en le dirigeant vers la zone d'attraction d'autres corps célestes, d'abord la lune et le soleil et ensuite d'autres planètes du système solaire.

Présenté avec une telle sobriété ce résultat est minimisé, il ne fait pas soupçonner l'effort énorme qu'il a coûté.

Les calculs de mécanique céleste ont toujours eu la réputation bien méritée d'être d'une grande complexité. Les plus grands mathématiciens, pour ne citer que Le Verrier, s'y sont illustrés. Le problème de trois corps se mouvant dans l'espace n'a pas été résolu complètement, et dans les équations du mouvement les objets possèdent une masse constante. Aujourd'hui, le problème des fusées et des satellites met en œuvre des corps qui perdent la plus grande partie de leur masse au cours de leur voyage, ils sont soumis, en plus des forces de gravitation, à des forces de propulsion souvent irrégulières et même discontinues, les problèmes posés deviennent alors d'une complexité inouïe. Il faut le secours des grands ordinateurs pour arriver à déterminer une trajectoire possible.

Le résultat est minimisé si l'on ne met pas en évidence la délicatesse, la fragilité et la précision des appareils confiés au projectile. Maîtriser à des fins précises l'énorme énergie de l'explosif emmagasinée dans les fusées au moment du lancement pose des problèmes peu communs. Le pilotage précis de l'engin par des robots, le relais de l'organe propulseur épuisé et trop lourd par une nouvelle fusée mieux adaptée, la nécessité de changer en temps voulu la direction de la poussée motrice, les conditions encore mal connues d'échauffement ou de refroidissement du véhicule, la connaissance du mouvement de l'engin dans des systèmes de référence nombreux qui sont tous en mouvement les uns par rapport aux autres et dans lesquels les forces d'attraction et de résistance du milieu peuvent changer constamment, tout cela il faut en tenir compte, calculer, prévoir avant même le lancement car l'instant d'après l'engin est livré à lui-même. Et l'expérience a montré que souvent c'est un accident stupide ou imprévisible, comme on l'a vu avec la collision des

étages supérieurs et la première fusée normalement détachée, qui fait tout échouer.

Le résultat énoncé est minimisé car de nombreuses études sont devenues possibles grâce à ces véhicules de l'espace. L'étude de la structure de la haute atmosphère, celle des propriétés de l'espace interplanétaire et en particulier des radiations qui s'y propagent, celle des météorites, celle de la matière de l'espace solaire et de la matière cosmique, sont déjà entreprises, l'étude du soleil est grandement facilitée. Obtenir des mesures, les faire enregistrer et transmettre, les recueillir, c'est aller plus loin que ne le faisaient la balistique et l'astronomie. C'est solliciter l'avant-garde de toutes les techniques fines ou savantes.

Le résultat est encore minimisé si l'on ne met pas en lumière le fait que l'engin a traversé l'atmosphère terrestre car les problèmes classiques se situaient à l'intérieur ou à l'extérieur de cette barrière. Précieuse pour nos vies, qu'elle protège de radiations mortelles, de l'impact de météorites nombreux et, depuis peu, de la chute des fusées et des satellites artificiels que personne n'oserait lancer s'ils n'étaient sûrement désintégrés en cas de retombée vers la terre, cette masse de gaz plus ou moins turbulents nous cache la vue réelle des choses, ce bouclier nous isole de l'espace, du soleil, des corps sidéraux. Nous souhaitons disposer de laboratoires au delà de ces quelques centaines de kilomètres à travers lesquels se perdent tant d'informations utiles. Mais si l'astronautique nous permet de tels résultats, c'est au prix d'une traversée coûteuse et difficile pour sortir de l'atmosphère, c'est, jusqu'à nouvel ordre, sans possibilité prouvée d'y pouvoir rentrer.

Le résultat est enfin minimisé si l'on ne mesure pas le progrès fait par l'ingénieur et le technicien dans le rapport du poids du dernier étage de la fusée à celui des éléments de propulsion. Qu'il s'agisse des combustibles, des comburants, des tuyères d'éjection, des dispositifs de pilotage, des plateformes de lancement, la rapidité et l'ordre de grandeur des améliorations remettent sans cesse en question toute la technique employée. Là plus qu'ailleurs les réalisations obéissent à la grande

loi : toujours plus d'énergie, toujours moins de poids mort.

L'astronautique est en plein développement, les projets sont nombreux. On peut dire que deux buts sont en premier lieu recherchés :

- une maîtrise plus grande des problèmes balistiques et de pilotage;
- une amélioration des appareillages d'observation.

Dans ces deux cas, les perfectionnements concernent essentiellement la fabrication de robots permettant d'améliorer le gouvernement des projectiles, leur capacité d'observation, leur liaison avec les équipes à terre.

D'autres recherches sont parallèlement menées pour étudier les possibilités de retour des engins astronautiques. Si ce retour était assuré, des voyageurs humains pourraient peut-être prendre place dans les engins de l'espace, ce qui simplifierait énormément les problèmes de pilotage et d'observation. Mais on voit que l'ordre même de priorité des recherches et des projets conduit à penser que le perfectionnement des robots précédera l'assurance du retour.

En ce qui concerne l'utilisation elle-même des engins, il semble probable que dans un délai de quelques années ils commenceront à fournir des observations valables sur l'ensemble du système solaire. L'étude si importante des atmosphères planétaires est rendue très difficile sur terre par suite de la présence de notre propre atmosphère qui, par son absorption, ne laisse pas passer les informations que nous envoie la lumière réfléchie par les planètes. Pouvoir faire des observations en dehors de l'atmosphère terrestre constitue pour cette étude un progrès considérable. D'autre part, il n'est plus maintenant du domaine de l'irréalisable d'envoyer un engin qui peut s'approcher assez près de la lune ou d'une planète, enregistrer dans cette situation des images et des informations, puis, en se rapprochant de la terre, délivrer ces images et ces informations aux récepteurs terrestres. On a peine à concevoir le degré d'exaltation des hommes qui pourront déchiffrer de telles révélations. Ils seront bien payés de leurs peines.

D'autre part il existe, et nous y reviendrons, une utilisation stratégique des satellites et des fusées qui ne concerne pas seulement la possibilité de lancer des projectiles. Par exemple un très grand nombre de problèmes relatifs à la terre elle-même, à sa forme, à la géodésie, ont une très grande importance militaire et sont probablement en voie de solution grâce aux satellites artificiels. De même, en matière de télécommunications et probablement sur beaucoup d'autres sujets, les puissances qui ont créé ces laboratoires de l'espace disposent déjà de nombreux renseignements qu'elles ne communiquent que très partiellement au reste du monde. Le problème de la possibilité de la vie à bord d'un satellite en est un des plus excitants.

En ce qui concerne les projets à plus long terme, sans les traiter ici, nous voudrions en évoquer deux aspects :

— Pourquoi ne pas penser, à la limite, que dans un avenir très éloigné, et si les conditions de vie sur terre devenaient impossibles, par exemple par suite d'un changement de l'activité solaire qui est obligatoire, l'humanité n'envisagerait pas d'émigrer sur une autre planète qu'elle aurait en temps voulu rendue habitable, par exemple en y créant l'atmosphère qui lui est nécessaire. Pour amusante que soit cette hypothèse elle reste aujourd'hui dans le domaine du rêve, et l'astronautique n'est même pas encore capable de résoudre un problème fondamental concernant l'avenir de l'humanité, celui de la croissance exponentielle du nombre de ses sujets. Le nombre des hommes croît avec une rapidité déconcertante, celui des besoins parallèlement, certains besoins sont doublés tous les dix ans. Comme sur l'échiquier où l'on double dans chaque case le nombre de grains de blé, on arrive au bout d'un nombre d'opérations relativement restreint à des ordres de grandeur qui confondent l'imagination. Ces mécanismes à croissance exponentielle jouent dans l'évolution de l'humanité. Les hommes font tout ce qu'ils peuvent pour les réaliser, en luttant contre la mort et l'adversité par les soins médicaux, l'hygiène, l'augmentation du niveau de vie, l'augmentation de la sécurité, l'aide aux peuples sous-développés. Or dans les phénomènes naturels où l'activité se développe

normalement on trouve toujours un mécanisme modérateur qui remplace la situation explosive par un équilibre stable, sinon, on arrive au cancer ou à la bombe atomique. Dans l'évolution de l'humanité on ne voit pas encore de mécanisme modérateur convenable. Il existe la guerre, la faim, la maladie, mais tout cela est odieux, et les sages s'efforcent de les faire disparaître. La guerre surtout dont la puissance dévastatrice augmente à chaque occasion comme une fonction exponentielle, la guerre aussi vieille que l'humanité, si elle pouvait être remplacée par la conquête de l'espace, à quelles grandioses destinées l'humanité ne pourrait-elle pas accéder !

Il faut bien comprendre que le domaine ouvert par l'astronautique n'est probablement pas destiné à des réalisations qui copieraient ce qui s'est déjà fait ou se fera sur terre. Ainsi il est peu probable que des astronautes constituent des groupes désireux ou capables de ramener sur terre des richesses équivalentes aux épices ou à l'or que cherchaient autrefois les navigateurs sur les terres lointaines. Ce qu'on ira chercher, ce sont d'abord des connaissances et du prestige. Depuis Einstein, les esprits se sont interrogés sur les limites de l'espace, comme jadis les anciens s'interrogeaient sur les limites de la terre. Einstein a proposé une théorie physique satisfaisante pour l'esprit, « la relativité généralisée », qui se trouve déjà vérifiée par les observations faites depuis la terre. Il est extrêmement important, pour l'évolution de l'esprit humain, de souligner combien les prises de connaissances infiniment plus larges, résultant d'observations faites en dehors de la terre, peuvent apporter de richesses au développement de la philosophie et de la science humaine. Il est probable que l'homme, voyant le monde à une autre échelle, fera un bond dans le domaine de la connaissance et que les répercussions en seront incalculables. Nous sommes maintenant, physiquement, devant la sphère des connaissances telle que la voyait Herbert Spencer, sphère dont la surface au contact de l'inconnu grandit dans des proportions gigantesques, situant par là la nouvelle position de l'homme devant le monde.

Mais surtout, il faut admettre que les autres développements

de l'astronautique ne peuvent être encore imaginés avec précision et qu'ils se produiront peut-être dans des voies tout à fait nouvelles. Si l'humanité inventait ou réalisait à son insu des moyens pour déclencher sur les planètes qu'approcheront les vaisseaux de l'espace des chaînes irréversibles de phénomènes, nous ne pouvons soupçonner encore quelles formes ceux-ci pourraient prendre, à quelles conséquences nous serions conduits, ni l'importance de tels développements vis-à-vis de l'humanité et du reste du monde.

— Un autre aspect de l'astronautique, important à souligner, concerne les procédés de lancement. Si perfectionnées et surprenantes que soient les fusées employées depuis octobre 1957, si rapides que s'avèrent leurs progrès, il s'agit jusqu'à présent d'un brillant et efficace développement d'une technique relativement ancienne. Les moyens financiers et humains mis à la disposition de ces développements ont permis des réalisations étonnantes, mais peut-être y a-t-il déjà, dans certaines recherches fondamentales, l'amorce de procédés tout à fait différents. Jusqu'ici ils n'ont reçu aucun des moyens de développement accordés aux fusées. Celles-ci, essayées avec succès pendant la deuxième guerre mondiale, étaient un solide fondement pour des budgets de recherches militaires qui, progressivement, aboutissaient aux missiles et aux projectiles de l'espace. Mais on peut envisager que des recherches, définies cette fois dès l'origine comme astronautiques, conduisent à d'autres voies ou à des méthodes très différentes.

Il est difficile de mesurer les charges qu'accepte l'humanité en contrepartie des résultats obtenus et de ceux à venir, mais il est certain que la mobilisation d'une élite de savants, de techniciens, d'industriels, retirés à d'autres recherches ou à d'autres travaux immédiatement productifs, représente un très lourd sacrifice, qui s'ajoute aux dépenses directement ou indirectement affectées à l'astronautique.

Si l'on raisonne sur le plan d'un pays de dimensions moyennes et de richesses enviables comme la France, on voit bien qu'il y serait déraisonnable de penser à des installations astronautiques

avant d'y avoir assuré les moyens d'un développement énergétique indispensable à son économie. Cela est infiniment plus vrai pour les pays moins développés que la France et peut-être aussi pour certains pays plus développés qu'elle. Comme le dit Marcel Demonque (1) : « Les investissements de puissance ne consistent pas seulement en armements mais aussi en cette forme violente que prend parfois la compétition nationale et surtout internationale pour certaines techniques d'avant-garde. Que la technique déchaîne la compétition orgueilleuse et dominatrice, laquelle engendre la ruine, ce n'est pas le moindre paradoxe d'un monde qui croyait avoir trouvé son équilibre dans la rentabilité de ses investissements techniques. » Le bénéfice que les puissances cherchent à retirer de cette action d'un nouveau type n'est pas en effet du domaine de l'économie ni de celui du bon sens. Il est du domaine de la stratégie, du prestige et de la lutte contre la peur. C'est l'une des conséquences de l'état de tension politique dans lequel nous vivons que de grands pays ou de grandes régions se sentent menacés de disparition dès que d'autres grands pays ou d'autres grandes régions les surclassent de quelque manière que ce soit. Ainsi retrouvons-nous, à propos de l'astronautique, la règle cruelle qui depuis longtemps déjà fait des guerres ou de leur préparation l'une des principales occasions du progrès technique. Mais à l'échelle et au rythme des entreprises en cours, les conséquences de tels programmes sont inhabituelles et doivent être soulignées.

D'une part le secret maintenu sur toute la partie des connaissances d'intérêt stratégique va, une fois encore, développer la tension entre les détenteurs de secret et créer deux catégories de nations, celles qui posséderont certains secrets et celles qui, en étant dépourvues, sembleront frustrées de ce qui touche au domaine de l'espace. Or, c'est un domaine qui déclenche une résonance profonde dans l'humanité toute entière. Il semble, à voir les réactions qui ont suivi le lancement du premier Spoutnik, que tous les hommes se sont sentis concernés par cet engin

(1) Cahier *Prospective*, n° 1.

confié aux lois de Képler. Qu'il s'agisse d'enfants, de financiers, d'hommes d'État, il n'y a pas d'univers personnel dans lequel ce satellite artificiel ne soit entré, n'ait créé le choc qui modifie les repères secrets de nos personnalités. Aussi faut-il peut-être s'attendre, au cas où s'affirmerait la séparation des peuples qui participent à l'astronautique et de ceux qui en sont exclus, à une revendication d'un ordre différent de celles jusqu'ici formulées, pour d'autres sortes de richesses ou de connaissances. L'apparente absurdité de l'effort entrepris, si on se réfère aux emplois pacifiques immédiats, aurait sa contrepartie dans la force de cette revendication.

Parce qu'on est là dans un autre domaine que celui du sens commun, on peut entrevoir un curieux aspect des conséquences des programmes actuels. Supposons que malgré l'énormité des moyens mis en œuvre, les difficultés se révèlent telles, que seule la lune constitue un objectif à l'échelle des forces d'une grande nation, les programmes lunaires d'ores et déjà concurrentiels aboutiraient à des désaccords probablement irrémédiables, car la lune c'est encore un morceau de terre, peut-être même un élément stratégique capable d'engendrer la peur, et on peut le dire encore plus sûrement des satellites artificiels qui pourraient remplir ce but à coup sûr. Si bien que l'on est tenté, après avoir douté du bien fondé de l'ampleur des recherches entreprises, de souhaiter qu'elles soient au contraire plus rapidement et efficacement poussées, qu'elles réussissent dans le domaine du système solaire pour changer de caractère et entraîner, par leur importance, un effort commun des hommes, symbole et moyen d'une atténuation de leurs discordes. Ils seront fiers d'être des hommes, ce qui est plus bénéfique pour l'avenir de notre planète que d'être fiers d'appartenir à une province ou à un continent. Naturellement, il y a aussi tout un ordre de charges nouvelles auxquelles l'humanité doit se préparer et déjà il se crée un Comité International s'occupant des recherches spatiales. Comme toute grande Technique Nouvelle, l'astronautique suscite un lot de problèmes réglementaires, juridiques, économiques, financiers, administratifs et politiques. L'un des plus frappants est

peut-être celui de la pollution de l'Espace. Pour la majorité des savants il est hors de doute que l'humanité n'aura pas le droit « d'exporter » dans l'espace et sur d'autres mondes des éléments (bactéries) ou des rayonnements (corps radio-actifs) susceptibles de modifier les conditions actuelles avant que celles-ci n'aient été étudiées dans leur état présent. Ce seul exemple, et celui des difficultés de la réglementation nécessaire dès qu'on envisagera la possibilité de retour à travers l'atmosphère d'engins non désintégrés, suffisent à montrer que l'astronautique va nous faire réviser la plupart des notions qui semblaient évidentes et des données qu'on croyait imposées.

Et tout ceci, répétons-le, sans contre-partie matérielle immédiatement envisageable pour la plupart des hommes, avec comme bénéfique la connaissance, la fierté des hommes de pouvoir « sortir de terre », le prestige et seulement pour un certain nombre d'hommes curieux et aventureux, une raison de plus de travailler, des joies nouvelles à créer de l'inattendu, à participer à de grands efforts collectifs.

En constatant cette faible rentabilité immédiate de très grands efforts on peut s'interroger sur les mobiles qui ont poussé les hommes à créer les premiers projectiles de l'espace et suivre la transformation de ces mobiles au fur et à mesure de l'apparition des premiers résultats. Comme nous l'avons déjà dit, les engins actuels de l'astronautique sont nés de la dernière guerre, de la poursuite de la guerre froide et du développement parallèle des projets concernant des avions toujours plus rapides, des avions sans pilotes, des projectiles à portée intercontinentale. Les programmes poursuivis dans cette voie n'ont, relativement, qu'assez peu fait appel aux recherches fondamentales et relativement peu apporté de connaissances nouvelles jusqu'au brusque succès de ces programmes. Ils avaient pour mobile la peur d'être surclassés, pour but le progrès technique immédiat et malheureusement le progrès dans l'art de la guerre.

Ces programmes avaient permis de rassembler des moyens, et ces moyens ont abouti au lancement le 4 octobre 1957 du premier satellite artificiel de la terre, bientôt suivi par d'autres.

L'événement était attendu mais la surprise fut totale car on en saisit seulement alors l'importance, une nouvelle ère venait de s'ouvrir pour l'humanité, l'exploration par l'homme des espaces cosmiques cessait d'être un rêve chimérique. Ce choc a provoqué de nombreuses réactions. Les hommes politiques et les stratèges, s'ils étaient depuis des années alertés, ont eu à faire face à une brusque prise de conscience. Ils ont aussitôt envisagé de mettre d'énormes moyens au service de recherches basées sur les techniques actuellement efficaces. Les industriels et les financiers ont vu s'ouvrir de nouveaux champs d'activité et se clore d'anciens chapitres. La brutalité de la réduction générale (justifiée ou non) des programmes d'aviation militaire a donné une mesure de l'acuité et de l'envergure de tels bouleversements. Les savants et les techniciens ont vu s'ouvrir des possibilités matérielles de travail, de nouvelles voies de recherches. Le grand public a réagi avec une joie et une fierté absolument désintéressées puisqu'il contribue aux dépenses, se prive de biens de consommation et ne participera que tardivement et faiblement aux connaissances et au prestige obtenus.

Maintenant que la première étape est franchie, la concurrence engagée et la conquête de l'espace cosmique envisagée comme un but en soi et non plus comme un à côté des problèmes des missiles ou des fusées ou des engins pilotés, il va mieux apparaître une certaine opposition entre les buts des savants et des chercheurs et ceux des politiques et des stratèges. A la X^e Assemblée générale de l'Union Astronomique Internationale à Moscou, A. N. Kossyguine, vice-président du Conseil des Ministres de l'U.R.S.S., disait : « Tous les savants, quelles que soient leurs opinions politiques ou religieuses, se proposent un même et noble but, établir les lois objectives qui régissent l'Univers qui nous entoure et utiliser les lois ainsi découvertes pour le bien-être de l'humanité. C'est cette haute tâche commune qui est le principe essentiel sur lequel se base la solidarité des savants du monde entier indépendamment de leurs opinions ou de la couleur de leur peau. En Astronomie, la solidarité internationale des savants, la nécessité de mener à bien des travaux communs, la

coordination de ces tâches bénéficient déjà de vieilles traditions. On pourrait dire qu'en ce sens les astronomes montrent un bon exemple aux représentants de toutes les branches de la Science. » S'il est bien vrai que les savants poursuivent le noble but de la découverte des lois naturelles, les hommes politiques et les stratèges sont bien capables de faire dévier leurs efforts vers d'autres buts qui peuvent avoir lors de la rivalité entre les peuples des effets catastrophiques. Il est vrai aussi qu'une science fait exception à cette possibilité, c'est l'Astronomie, où la collaboration internationale est franche et limpide. Cette situation est probablement déterminée par des causes profondes. Le champ d'activité de l'Astronomie est extra-terrestre, ce serait un grand bienfait pour l'humanité si l'astronautique qui a le même champ d'action jouissait du même privilège : être international.

Mais la situation ici se complique. Les savants ont avec l'Astronautique l'occasion de participer à d'exaltantes recherches sur la constitution des mondes, l'apparition de la vie et bien d'autres encore. Les hommes qui gouvernent les peuples sont immédiatement intéressés aux études qui, plus ou moins directement, peuvent assurer le prestige des groupes auxquels ils appartiennent et par là calmer l'appréhension de ces groupes à l'égard d'une domination possible par l'adversaire. Les premiers ont besoin des moyens dont disposent les seconds qui ont besoin du concours des premiers. A l'intérieur d'un même pays, d'une même équipe les buts poursuivis sont différents. Comment arriver à lever l'ambiguïté et la confusion entre les deux sortes d'objectifs ? Il est clair que l'humanité se doit de faire triompher le but des savants, mais il n'est pas possible que des gouvernements qui ont la responsabilité de l'avenir de leur pays abandonnent spontanément des moyens qu'ils jugent nécessaires à leur indépendance et à leur sécurité.

Atteindre assez vite des résultats scientifiques ouvrant de larges domaines de collaboration en dehors de ceux qui inspirent aussi la peur est peut-être notre seule chance de sortir dignement de cette situation.

Quoi qu'il en soit, il faut admettre que l'astronautique est née,

qu'elle intéresse passionnément, à des titres divers, tous les hommes de la terre, qu'elle se développera vite, pour le bien et pour le mal, mais plus vraisemblablement pour le bien parce qu'aucune autre des Grandes Techniques Nouvelles n'a créé un pareil sentiment d'intérêt, ouvert d'horizons aussi exaltants, permis d'envisager des actions aussi neuves, affirmé autant de puissance dont l'humanité tire un légitime orgueil.

La terre des hommes, cette machine ronde que l'on croyait avoir été mise pour eux dans le Cosmos, ils sont capables aujourd'hui de la quitter et d'aller mourir ailleurs. Même si les chances de retour sont infimes il ne manquera pas de volontaires pour tenter une pareille aventure.



ÉCONOMIE

INVESTISSEMENTS ET TECHNIQUES NOUVELLES (1)

Si la prospective peut être définie comme un effort pour passer du malaise ressenti au problème posé, la question de l'investissement doit être considérée comme un objet de prospective particulièrement actuel. Quand les responsables de la vie économique réfléchissent aux investissements, ils éprouvent en effet un malaise pour deux raisons principales : la première, c'est qu'il leur est de plus en plus difficile de réaliser entièrement les investissements qu'ils estiment nécessaires, la seconde, qu'ils rencontrent une certaine désadaptation entre leurs conceptions habituelles et l'analyse des faits. Certains sont heurtés par la lecture d'économistes modernes qui remettent en cause des principes qu'ils croyaient fermement établis et auxquels ils restent attachés. La discussion s'établit volontiers au niveau des croyances, des intentions et des désirs et manifeste ainsi le trouble existant dans les esprits.

La notion d'investissement n'est pas nouvelle, mais elle prend une place croissante dans la réflexion des économistes et des hommes d'action, surtout au début de l'ère des grandes techniques nouvelles. Au plan théorique, de très nombreux ouvrages lui sont consacrés en France et à l'étranger, dans lesquels se manifeste un effort pour approfondir son contenu et préciser sa place et son rôle dans la vie économique. Au plan de l'action, de plus en plus rares sont les dirigeants aussi bien dans le secteur public que dans le secteur privé qui n'éprouvent pas de difficultés en rencontrant ce problème. Il semble que les idées relativement simples que chacun avait reçues ne correspondent que d'une manière assez lointaine avec la réalité des choses.

(1) Ce texte, rédigé par M. Jean Darcet, conseiller de synthèse, est la conclusion tirée par lui d'un travail collectif, effectué à la Société Internationale des Conseillers de Synthèse, auquel ont participé diverses personnalités et, en particulier, M. Denizet, administrateur civil au ministère des Finances.

Il y a peu d'années encore l'investissement désignait seulement, dans le langage courant, la constitution de biens matériels dénombrables liée à une notion d'amortissement et de rentabilité. Il s'agissait principalement d'équipements destinés à la production. Aujourd'hui l'importance que prennent et vont prendre les techniques de consommation, phénomène accéléré par l'accroissement démographique, par l'évolution des pays non occidentaux et par l'application de l'automatisation à l'industrie, conduit à investir autrement, par exemple dans la création, le développement ou l'orientation des marchés. L'investissement correspond dans ce cas à la constitution de motivations dans le public, c'est-à-dire à des biens non matériels et non dénombrables.

Mais l'investissement concerne aussi de nos jours des biens non rentables au sens habituel du terme. A côté des équipements matériels, il y a en effet de plus en plus d'investissements sociaux dont le caractère n'est pas quantitatif mais qualitatif. On pense par exemple qu'en améliorant l'état social d'une entreprise ou l'infrastructure économique et culturelle d'un pays on obtiendra un effet certain sur l'efficacité globale de l'ensemble, mais sans qu'on sache pour autant mesurer la rentabilité de ces dépenses en termes comptables habituels. Il arrive très fréquemment qu'on investisse moins pour augmenter des profits que pour supprimer ou diminuer des risques : risque de disqualification technique, en cas de progrès technique rapide, risque de tensions sociales dans le cas par exemple d'une mauvaise situation de logement d'une population ouvrière, risque de crise économique contre lequel l'État réagit par une politique de grands travaux. Dans de nombreux cas la notion de rentabilité s'efface devant celle plus imprécise d'utilité et dépasse la conception traditionnelle financière ou comptable.

Dans cette évolution, la notion d'amortissement s'estompe. Il arrive qu'on soit contraint de remplacer des installations non entièrement amorties par d'autres plus modernes dont on ignore parfois dans quelles conditions exactes elles le seront à leur tour. L'amortissement fréquemment difficile à effectuer suivant les normes classiques ne paraît plus aussi étroitement

lié à la réalisation de bénéfices. Il tend à devenir une charge courante de frais généraux.

Enfin, les besoins en investissements sont tels dans tous les domaines qu'il apparaît nécessaire d'effectuer des choix et que la question de la liberté des investissements et de l'épargne est posée plus ou moins explicitement dans la plupart des pays.

Ces brèves observations montrent à quel point des notions autrefois assez simples et assez claires se compliquent et s'obscurcissent lorsqu'on examine à quel phénomène elles correspondent dans la réalité présente. Les définitions classiques deviennent trop étroites, les décisions d'investissement ne sont plus toujours commandées par la mesure de la rentabilité, l'amortissement ne garde sa signification d'origine que dans le langage fiscal. Il en résulte que les problèmes d'investissement se posent aujourd'hui en termes renouvelés à la fois qualitativement et quantitativement.

Les techniques nouvelles ne sont pas la seule cause de cette évolution ni même peut-être la plus importante, et il est bien certain par exemple que l'équipement des pays sous-développés pose des problèmes d'une tout autre ampleur que le financement par un grand pays d'un programme de production d'énergie atomique. Mais elles précipitent l'évolution, elles aggravent sensiblement les difficultés déjà existantes et font définitivement franchir le seuil au delà duquel il devient nécessaire de poser le problème de l'investissement autrement qu'on pouvait légitimement le faire il y a 20 ans. Mais surtout les techniques nouvelles sont susceptibles d'apporter des moyens nouveaux permettant d'envisager des méthodes d'action plus efficaces.

I. — *La situation des dirigeants*

Nous constatons que la question des investissements est une préoccupation constante, parfois même une source d'inquiétude grave pour la plupart des dirigeants, industriels, hauts fonctionnaires ou hommes d'État. Ils ont fréquemment le sentiment qu'ils n'ont pas le choix, qu'il faut absolument réaliser tel investissement et que c'est une question déterminante pour la santé de

l'organisme dont ils ont la charge, parfois de vie ou de mort. En même temps ils aperçoivent mal comment les moyens à leur disposition leur permettent de répondre à cette nécessité.

L'industriel se sent contraint de procéder à des investissements :

- soit parce qu'un progrès technique étant intervenu il doit moderniser ses installations pour ne pas risquer la disqualification dans la compétition économique;
- soit parce qu'il doit satisfaire les besoins en expansion de sa clientèle sous peine de perdre sa place relative sur le marché;
- soit encore parce que le niveau des salaires rend indispensable la mise en automation d'un système de production, c'est-à-dire le remplacement d'un emploi par un investissement.

Or si le niveau des prix lui permet généralement d'investir de façon à renouveler, par le jeu de l'amortissement, les matériels usés, cette vue statique des choses est insuffisante, surtout dans une économie en expansion et dans une période où le rythme du progrès technique s'accélère constamment. Il doit donc chercher à financer une part croissante de ses investissements par d'autres procédés que ses ressources propres et il rencontre pratiquement de plus en plus de difficulté à le faire.

Les hauts fonctionnaires, chargés par exemple de l'instruction publique considérant le développement démographique et les besoins de connaissance et de culture qu'exige et qu'exigera de plus en plus l'état socio-économique de la nation, traduisent ces données en nombre de classes, de professeurs, d'instituts de recherches nécessaires immédiatement et aboutissent à des chiffres qui paraissent au delà des possibilités non seulement budgétaires mais pratiques (temps de formation des professeurs, capacité de construction, etc.).

L'homme d'État qui interprète politiquement les tendances, les revendications, les besoins qui se manifestent dans les autres parties du monde, estime dangereux de laisser s'accroître les

différences de niveau de vie et par conséquent nécessaire d'aider les pays sous-développés à s'équiper. Compte tenu de la progression démographique existant dans ces pays, il s'aperçoit que les sommes qu'il faudrait dégager pour simplement maintenir des conditions de vie déjà jugées insuffisantes atteignent des montants tels qu'on se demande comment les prélever sur le revenu national d'un pays normalement développé.

Ainsi de quelque côté qu'on se tourne, on trouve des responsables aux prises avec un problème assez dramatique :

- d'une part des nécessités d'investir s'imposent à eux pour des raisons techniques, économiques ou politiques indépendantes de leur volonté et la non-réalisation des investissements leur paraît être une source de troubles très graves. Ces nécessités ne font d'ailleurs que croître. En particulier l'apparition de chaque nouvelle technique crée une exigence d'investissements nouvelle, parfois mettant en jeu de très grandes quantités de produits ou des montants très élevés. C'est ainsi par exemple que l'industrie atomique non seulement réclame, en quelque sorte par nature, des sommes très importantes, parfois au delà des possibilités d'un seul État, mais surtout oblige à des investissements dont l'importance qualitative est considérable. Il suffit de songer au fait qu'une très grande proportion des hommes formés pour l'enseignement scientifique sont depuis la guerre détournés de la fonction de professeur pour occuper des postes dans la recherche appliquée;
- d'autre part, face à ces nécessités, les disponibilités globales sont insuffisantes et leur rythme d'augmentation ne paraît pas être actuellement parallèle à celui de développement des besoins. A moins, bien entendu, de réduire la consommation, et ceci suppose que l'on connaisse des procédés rendant l'opération humainement et psychologiquement tolérable. Il ne faut pas oublier d'ailleurs que lorsqu'on parle de réduction de consommation en vue d'investissement, l'opération

signifie non seulement un sacrifice de niveau de vie à imposer à une population, mais aussi des modifications qualitatives dans l'organisation de la société économique puisqu'il faut effectuer des transferts d'activité de certains secteurs vers d'autres, disons par exemple de l'industrie légère vers l'industrie lourde ou de certaines professions vers l'enseignement, etc.

On oscille donc finalement entre une série de dangers également graves : inadaptations diverses à la société moderne si l'on n'investit pas assez et là où il le faut, risques de déséquilibres et de conflits mondiaux si l'on n'investit qu'en Occident, troubles sociaux et politiques en germe dans les mesures d'austérité, pour n'en citer que quelques-uns. Il y a évidemment des choix à faire, des procédés à mettre au point pour concilier au moins provisoirement des contraires.

II. — *Caractéristiques actuelles du problème de l'investissement*

On voit donc en partant de l'observation des soucis des dirigeants que le problème de l'investissement se caractérise essentiellement par des besoins considérables et constamment croissants :

- tant dans le monde sous-développé pour des raisons de plus en plus évidentes ;
- que dans le monde développé du fait des progrès techniques prodigieux que sont l'énergie atomique et thermonucléaire, l'électronique, l'aéronautique, la photosynthèse, etc., et du coût de leur mise en œuvre ; du fait, dans les autres branches, d'une dévalorisation rapide des techniques qui multiplie les erreurs possibles en matière d'investissement et qui conduit très souvent à remplacer un matériel, non encore amorti, par un matériel plus perfectionné et plus coûteux que le précédent.

 Et l'on voit apparaître la difficulté économique fondamentale lorsqu'on observe que le volume des investissements à réaliser

dépend pour une large part des découvertes du savant et des études de l'ingénieur, travaux dont les résultats applicables ne se présentent généralement pas au rythme de la formation naturelle de nouveaux capitaux disponibles. A cette époque où le progrès technologique semble se développer beaucoup plus vite que l'épargne volontaire, on serait conduit à un certain pessimisme si l'on ne faisait en même temps les remarques suivantes :

1) *Techniques nouvelles.* — Les investissements énergétiques à base atomique ou thermo-nucléaire sont très coûteux initialement. Mais ils permettront de produire de l'énergie avec des frais de production très faibles une fois amortis les frais de recherche et d'installation initiaux.

Les techniques nucléaires vont apporter de l'énergie en quantité illimitée et particulièrement dans des régions qui ne disposent pas des sources classiques, notamment du charbon. Si la production est le résultat de la mise en œuvre simultanée de main-d'œuvre, d'énergie et de matières premières, il y a donc dans les techniques nucléaires, par le fait qu'elles suppriment une limite très importante, le présage d'un prodigieux bond en avant des possibilités de production. Notamment pour certains pays économiquement en retard existe maintenant la perspective de pouvoir valoriser le travail de masses énormes dont le rendement actuellement dérisoire ne permet le prélèvement d'aucun revenu notable pour l'investissement.

L'électronique, par ses applications à l'automatisation laisse, elle aussi, prévoir un accroissement considérable de la production, soit qu'elle supprime une autre limite, celle de la main-d'œuvre, soit qu'elle multiplie par un facteur énorme (10 à 100 fois) la production par personne employée.

Comme d'autre part on sait utiliser chaque jour de nouvelles matières premières, et que la photosynthèse permettra peut-être un jour de renouveler les questions de nutrition, on peut penser que la question du rapport des investissements au revenu national posera un problème moins aigu dans quelques décades, du fait du rendement productif des techniques nouvelles. Celles-ci donneraient ainsi au problème un aspect transitoire consistant

surtout à trouver des procédés pour faire accepter temporairement les sacrifices nécessaires.

Autrement dit, à cause des possibilités nées des techniques nouvelles, le monde dans son ensemble, riches et pauvres, paraît engagé dans une nouvelle aventure comparable à celle de la Russie des années 1930, c'est-à-dire une lutte contre le temps pour s'équiper en n'étant limité ni par le nombre d'hommes ni par les richesses naturelles. Et dans ce cas l'électronique encore n'apporte-t-elle pas, par ce qu'elle offre comme moyens de recherches statistiques et d'interprétation, particulièrement dans le domaine psycho-social, la possibilité que les Russes n'ont pas eue d'éviter des erreurs coûteuses, des contraintes excessives, des sacrifices inutiles ?

Il semble dès maintenant que le coefficient $\frac{C}{P}$, rapport entre capital reproductible et produit national devrait, dans les 20 ou 30 prochaines années, avoir tendance à diminuer sensiblement. Il est déjà plus faible qu'il y a deux ou trois décennies. Et, bien que les avis divergent sur ce point, l'automatisation semble devoir aller dans le même sens. C'est là un fait essentiel, plus important même que l'importance des frais de recherche et de mise au point initiaux et qui pose le problème de la répartition des charges entre génération présente et générations futures de façon entièrement nouvelle.

2) *Progrès technologique.* — Les pertes résultant de l'utilisation précipitée des nouvelles techniques, dévalorisées avant amortissement complet du matériel, inquiètent de nombreux responsables. Elles provoquent chez certains un réflexe de prudence, et l'on cite volontiers comme un exemple de sagesse la décision de la firme Dupont de Nemours, retardant de 10 ans la fabrication du nylon pour prolonger l'existence de certains autres de ses produits. Cette décision, qui n'était d'ailleurs possible que dans le cas d'un monopole, pêche cependant par une inspiration malthusianiste qui va contre le sens de la vie. Le risque d'innovation n'est pas à supprimer mais à faire entrer dans le prix de revient et ce n'est pas une des moindres difficultés des

industries dont la technique évolue rapidement que de le faire admettre par leur clientèle et par le fisc. Néanmoins, on constate que de nombreuses techniques nouvelles sont maintenant mises en œuvre en passant directement du stade de laboratoire au stade industriel. C'est un fait nouveau dans l'ordre technologique grâce auquel le progrès n'est pas nécessairement freiné par une application différée.

3) *Investissements humains*. — On doit insister sur l'importance des investissements sociaux ou humains. Il sont importants non seulement au point de vue moral et à celui d'une bonne organisation sociale au sens le plus large (évolution dans la paix), mais aussi à cause de leur influence sur le niveau de la production.

Si le coefficient $\frac{C}{P}$ apparaît en diminution, c'est également parce que les dépenses d'éducation, d'hygiène, etc., non comprises dans C, ont une influence de plus en plus grande sur P.

Au reste les succès aujourd'hui remportés par les Russes grâce à leurs investissements massifs en dépenses de formation et particulièrement de formation scientifique et technique, investissements réalisés évidemment aux dépens du niveau de la consommation, montrent assez quelle est l'importance du rapport dépenses d'éducation nationale sur production.

C'est là encore un aspect essentiel du problème général de l'investissement et de son financement : si les dépenses éducatives et culturelles qui sont des dépenses de revenu et non d'épargne, améliorent les satisfactions de l'individu, et développent en même temps et très fortement son rendement social, le problème du financement de l'investissement ne se présente plus sous son aspect classique. Une solution originale peut être entrevue au dilemne : appétit de consommation immédiat ou sacrifice pour le futur.

III. — *Le financement des investissements*

Les idées classiques sur les problèmes de financement sont très simples. Les dépenses dites improductives de l'État doivent être couvertes par l'impôt. Les dépenses productives ou inves-

tissements s'adaptent aux offres d'épargne des porteurs de revenu, et réciproquement, grâce aux variations du taux de l'intérêt sur le marché financier.

Ces idées qui servent encore d'arrière-plan aux conceptions d'un bon nombre de nos contemporains sont rejetées par la théorie économique moderne. Rappelons que Keynes a fait porter son attaque centrale sur l'incapacité où se trouve le taux d'intérêt d'assurer l'équilibre de l'épargne et de l'investissement. Mais il est très significatif que les deux grands économistes libéraux ou néoclassiques actuellement vivants, Samuelson aux U.S.A. et Maurice Allais en France, soient d'accord pour nier qu'il existe un mécanisme permettant d'arriver, par le seul jeu de l'intérêt individuel et de la libre concurrence, à une répartition optima des ressources actuelles entre les services consommables immédiatement et les services consommables dans le futur. Non seulement ils pensent qu'un tel mécanisme n'a jamais fonctionné historiquement, mais encore ils affirment qu'il n'est pas concevable et qu'on ne peut en faire, dans l'abstrait, une théorie satisfaisante.

L'un et l'autre pensent que la libre disposition des revenus et la libre concurrence assurent le rendement optimum des ressources destinées à satisfaire les besoins présents, l'un et l'autre pensent également que le taux de l'intérêt librement débattu est irremplaçable pour déterminer le choix optimum des différents investissements destinés à répondre aux besoins de demain; mais ils ajoutent que la *répartition globale* des ressources productives disponibles entre le présent et le futur est arbitraire et ne peut être assurée par aucun mécanisme.

Pour Samuelson, cette répartition globale est un choix politique pur qui ne peut même pas être guidé par des considérations économiques. C'est seulement lorsque ce choix politique est fait que les schémas économiques fondés sur l'intérêt individuel et la maximisation des satisfactions peuvent servir de guide à la politique économique. Quant à Allais, il préconise sur ce point l'intervention délibérée de l'État visant à établir et à maintenir un taux d'intérêt nul, le seul qui d'après lui,

permette une allocation optima des ressources entre le présent et le futur.

On objectera que si ce mécanisme est illusoire, il est bien étonnant que les choses aient fonctionné tant bien que mal, sur ce modèle, pendant des siècles. Mais il faut d'abord remarquer que l'intervention étatique a été, en fait, constante et d'autre part que c'est l'importance des problèmes d'investissement d'aujourd'hui qui rend éclatantes les faiblesses du modèle classique. On ne peut plus aujourd'hui se dissimuler la vérité. Il n'y a pas de mécanisme reposant sur les tendances spontanées de l'intérêt individuel. Le quantum de dépenses à consentir pour le futur, l'investissement, ne peut être fixé que politiquement. Cette constatation pose immédiatement une série de problèmes qui ne peuvent être abordés ici concernant les conditions et l'exercice de ce choix politique : compétences respectives du gouvernement, du Parlement, voire du corps électoral tout entier; information de ces diverses instances; moyens d'action techniques et juridiques.

Nous nous bornerons à noter que si la liberté économique peut se définir en termes de libre-choix des consommations, en termes de liberté de choix par chacun de son activité, en termes de libre-entreprise, la liberté totale de l'investissement n'est plus aujourd'hui concevable. Autrement dit, la détermination du volume global de l'épargne affectée aux investissements ne peut être laissée, sans risques de désordres graves, au hasard des réactions des possesseurs de capitaux guidés par le seul appât des plus-values et des intérêts.

Cette impossibilité se vérifie d'ailleurs dans l'évolution des faits. On observe en effet qu'il se développe à côté de l'épargne se présentant librement sur le marché financier, une épargne institutionnelle dont le rôle est aujourd'hui grandissant, et sans laquelle la plupart des grands projets de développement économique de ces dernières années n'auraient pu être réalisés. Il est remarquable en effet que beaucoup d'industries dont l'existence et le développement conditionnent un ensemble d'autres activités économiques sont des affaires exigeant de très lourds investis-

sements, et dont la rentabilité n'est pas particulièrement attirante pour des capitaux en quête de rémunérations importantes ou de plus-values immédiates. Aussi la Bourse tend-elle à être complétée, parfois même relayée, dans sa fonction autrefois exclusive, par un secteur financier semi-public, drainant avec l'appui de l'État des capitaux très importants et auquel les entreprises ont recours quand elles ne pensent pas pouvoir trouver sur le marché financier les moyens dont elles ont besoin. L'existence de cette épargne institutionnelle, qui n'est pas allouée au plus offrant mais d'après des critères d'intérêt général, offre de grandes possibilités pratiques d'orienter l'investissement et de satisfaire ainsi au besoin que la théorie économique reconnaît aujourd'hui. Elle permet d'éviter les gaspillages inévitables résultant du fait que les entrepreneurs peuvent s'engager en même temps dans la même voie et créer des capacités de production excessives.

IV. — *Les procédés de financement des investissements*

Il n'y a que deux procédés de financement, un d'épargne volontaire et un d'épargne forcée, celui-ci prenant lui-même deux formes.

1) Une épargne volontaire peut être obtenue par différents moyens qui vont de l'action psychologique à la bonne organisation des marchés financiers en passant par le maniement des taux d'intérêt, l'invention de formules de placement, les garanties de capital, etc. ;

2) La contrainte peut s'exercer soit par le maniement des tarifs fiscaux, soit par celui des prix et des salaires, c'est-à-dire par l'inflation.

Les procédés d'épargne volontaire et la contrainte par l'impôt font généralement l'objet de programmes en fonction des préférences politiques. Par contre, l'inflation n'est pas ouvertement préconisée, mais elle est l'aboutissement inévitable d'une évolution abandonnée à elle-même et de rapports de forces non arbitrés.

Le recours à l'impôt ou à l'épargne volontaire ne peut être

illimité. Il y a des obstacles soit psychologiques, soit proprement économiques qui interdisent de fixer arbitrairement le taux fiscal. Un recours excessif à l'impôt provoque très souvent une perte de rendement économique et entraîne une évolution du rapport prix-salaire. On ne peut pas non plus fixer arbitrairement la part de l'épargne volontaire. Le montant d'endettement tolérable n'est pas une grandeur arbitraire. En le fixant à un niveau trop élevé on condamne une économie à l'asphyxie ou à la dépréciation monétaire. Ici encore on arrive inévitablement à la dernière solution tout en affirmant solennellement que l'inflation est l'ennemi numéro un.

L'inflation rapide est en effet un danger majeur. Il faut cependant constater objectivement qu'aucun pays ayant suivi le rythme de développement technique et économique actuel n'a échappé, depuis plusieurs décades, au phénomène de la dépréciation monétaire. Et l'on peut dire que dans la plupart des cas, les investissements importants dont résulte la richesse actuelle n'auraient pu être réalisés sans une certaine part d'inflation. La stabilité monétaire dont bénéficient des pays comme le Portugal a pour contrepartie un certain immobilisme économique et social qui ne favorise ni la puissance de l'État ni le niveau de vie de ses habitants. Et si la dépréciation monétaire conduit dans certains cas à des drames économiques et sociaux que de nombreux pays ont éprouvés, le maintien de la valeur de la monnaie ne constitue pas un objectif qui doive être atteint à tout prix.

En fait, bien que l'inflation soit un procédé de répartition injuste des charges, c'est en même temps une forme de contrainte à l'épargne beaucoup plus tolérable socialement et beaucoup plus efficace que d'autres. C'est sans doute le seul moyen qui permette de faire face aux nécessités d'investissement imposées par l'évolution technologique sans mettre en cause des libertés beaucoup plus fondamentales. A la lumière de l'expérience, l'important semble être moins le fait inflationniste en lui-même que son allure. Et si aucun dirigeant ne peut se montrer partisan de l'inflation, aucun ne peut non plus dans l'époque présente

avoir pour politique de la supprimer totalement. Le problème est de lutter contre elle afin d'en contenir le cours et d'éviter son accélération. Le courage politique consiste à lui préférer d'autres modes de contrainte encore plus impopulaires lorsqu'elle tend à prendre une allure génératrice de catastrophes. Le fait inflationniste paraît être implicitement contenu dans l'accélération du progrès technique. Il en est l'un des aspects dangereux. Mais le danger qu'il représente ne peut être jugé que par rapport à bien d'autres dangers.

V. — *Techniques nouvelles et méthodes économiques*

Nous avons vu que les techniques nouvelles aggravent le problème des investissements, que celui-ci exige des choix du pouvoir politique et implique pour sa solution une certaine part de contrainte, soit volontairement exercée, soit passivement subie par les effets d'une inflation incontrôlée lorsque la volonté a été défaillante ou mal inspirée.

La question essentielle qui se pose aux dirigeants de l'économie est donc, puisqu'il y a choix, de savoir quels sont les choix à faire et par conséquent de se donner les moyens d'opérer avec le moins d'incertitude possible. Ceci suppose résolu un immense problème d'information sur la réalité économique et de nouvelles méthodes d'analyse.

Il y a 25 ans, personne n'aurait pensé prendre le problème de cette façon, ni qu'il fut nécessaire ni même possible de le faire. Il a fallu la grande crise mondiale pour ébranler la croyance en l'automatisme des mécanismes régulateurs, et pour engager les économistes plus ou moins empiriquement dans cette voie de recherche. Progressivement se sont ainsi dégagées aux États-Unis, en Allemagne, en Angleterre, et en France, de nouvelles méthodes d'analyse économique par lesquelles on s'efforce de percevoir, au delà de l'apparence monétaire, les réalités matérielles que celle-ci exprime (emplois, équipements, etc.), leur interdépendance, les conséquences de leur développement.

Le principe de ces méthodes est relativement simple. Il consiste à faire une photographie aussi précise que possible de la

réalité économique actuelle tant du côté de l'offre que de la demande, d'estimer les variations de la demande dans le futur et de déterminer les éléments qu'il faut faire varier pour que l'offre suive l'évolution des besoins. Plus précisément il s'agit d'effectuer une projection dans le futur de l'offre finale de produits en fonction de l'appareil productif, des disponibilités en main-d'œuvre, des échanges internationaux. Il s'agit d'autre part d'effectuer également une projection de l'emploi du revenu par catégories socio-professionnelles, ménages, entreprises, services publics, etc. Il s'agit, enfin de confronter ces deux projections et d'en déduire la politique à suivre de façon à les faire coïncider.

Bien entendu si le principe de ces analyses est relativement simple, on atteint dans la pratique une complexité très grande qui pourrait faire craindre que des raisons purement matérielles imposent rapidement des limites à tout travail de ce genre. Mais il faut souligner qu'il n'y a pas d'obstacle fondamental théorique à l'application de ces méthodes et qu'on tient probablement là le moyen de passer du subi au conscient dans le domaine économique.

Il est particulièrement remarquable, que ces méthodes deviennent maintenant pratiquement applicables en raison de l'existence de calculatrices électroniques. Les économistes ont ainsi maintenant à leur disposition des moyens d'investigation et d'exploitation statistique qui permettent une telle finesse d'analyse, une telle souplesse pour modifier et adapter leurs prévisions, qu'ils peuvent se livrer à des travaux extrêmement précis donnant la possibilité d'informer réellement les choix économiques et politiques. Et l'on peut prévoir que l'électronique va probablement faire faire un bond en avant aux sciences économiques.

Le fait que ces techniques d'investigation existent et se perfectionnent sans cesse ne laisse pas de doute sur la façon dont seront finalement prises les décisions économiques dans un avenir plus ou moins proche. Leur application se heurte cependant dans l'immédiat à un obstacle difficile à surmonter, lui-même résultant

d'habitudes de penser traditionnelles et de craintes politiques. Cet obstacle, dans les sociétés libérales, c'est la résistance opposée par chacun à fournir aux économistes les éléments statistiques dont ils auraient besoin. Il est bien certain que ce réflexe de défense est le résultat de craintes légitimes et que le jour où l'État aurait en main cette photographie détaillée des différentes activités économiques constamment remises à jour, il disposerait de moyens d'action dont on peut à bon droit redouter l'usage qu'il en ferait. Il suffit de considérer par exemple que du point de vue de l'État, l'investissement qui n'était autrefois à ses yeux qu'un procédé de formation du capital et qu'un régulateur de l'économie, devient de plus en plus un facteur important de sa propre puissance. Autrement dit, rien n'oblige à croire que l'État effectuera ses choix en fonction de critères économiques et sociaux de préférence à des critères purement politiques dont la construction des satellites artificiels donne un assez bon exemple. Le développement de ces nouvelles techniques pose ainsi finalement un problème politique dans la mesure où, renforçant le rôle et les moyens de l'État, il développe par ce fait même la volonté de puissance qui est dans sa nature.

Il faut cependant remarquer que ces techniques ne sont que des moyens, et que si l'on peut formuler de telles craintes, c'est parce qu'on suppose que l'État est la seule institution susceptible de s'en servir. Or ce postulat n'a rien d'évident. Il se trouve que les circonstances ont fait que jusqu'à présent, c'est surtout dans les administrations publiques que ces sortes d'études économiques ont été conduites, ces méthodes mises au point. Rien n'interdit de les utiliser simultanément dans le secteur privé, dans l'Université ou dans les institutions internationales. Au contraire, car le danger politique ne résulte pas du fait que les choix qui de toute façon devront être faits seront mieux éclairés, mais du fait que dans la discussion l'un des partenaires disposerait par définition du monopole de l'information et de la compétence. Et c'est probablement dans la voie de la pluralité des institutions économiques travaillant chacune en fonction de

leurs besoins propres et en liaison les unes avec les autres qu'une solution doit être recherchée.

Mais quelle que soit la solution qui finalement prévaudra, il est bien certain que les problèmes de l'investissement comme la plupart des autres problèmes de cette époque, doivent être maintenant envisagés sous le signe du renouvellement. Il y aura dans ce domaine des attitudes d'esprit, des croyances traditionnelles, des schémas représentatifs qui ont eu leur valeur et leur utilité à un moment donné, mais qui non seulement ne répondent plus aux conditions réelles du monde présent, mais encore masquent cette réalité en lui substituant des images trop simplifiées et fréquemment inadéquates.

Un très grand travail d'analyse est redevenu nécessaire. Il faut sans doute laisser de côté, provisoirement, les combats doctrinaux pour se débarrasser des faux problèmes. Il faut réexaminer attentivement le réel, un réel où l'homme se trouve déconcerté par une accélération de la vitesse d'écoulement du temps et par les nouveaux ordres de grandeur. A cet effort d'observation et de lucidité, la prospective nous convie et les techniques nouvelles fournissent de nouveaux moyens.

1959. — Imprimerie des Presses Universitaires de France. — Vendôme (France)
ÉDIT. N° 25 271 IMPRIMÉ EN FRANCE IMP. N° 15 487

Publiée sous la direction de René TATON, l'HISTOIRE GÉNÉRALE DES SCIENCES donne en trois volumes un panorama de l'évolution scientifique considérée dans sa totalité comme un élément essentiel de l'histoire humaine.

Tandis que les figures et tableaux insérés dans le texte facilitent la compréhension de certains développements, des planches en héliogravure dont la valeur d'authenticité a été sévèrement contrôlée restituent l'ambiance de la vie scientifique aux diverses époques de l'histoire.

L'HISTOIRE GÉNÉRALE DES SCIENCES n'est pas un répertoire encyclopédique à l'usage des érudits, mais une vaste synthèse des idées et des faits scientifiques au cours des âges, conçue, dans le cadre des notions nouvelles sur l'histoire des civilisations, comme un élément de culture générale

continuant et complétant
**L'HISTOIRE GÉNÉRALE
DES CIVILISATIONS**
paraît en 3 volumes illustrés une

HISTOIRE GÉNÉRALE DES SCIENCES



— volumes parus —

TOME I

LA SCIENCE ANTIQUE ET MÉDIÉVALE

(DES ORIGINES A 1450)

Un volume in-4° couronne de 636 pages, avec 48 planches hors-texte en héliogravure, relié pleine toile, sous jaquette illustrée en 4 couleurs et laquée..... 3 000 F

TOME II

LA SCIENCE MODERNE

(DE 1450 A 1800)

Un volume in-4° couronne de 808 pages, avec 48 planches hors-texte en héliogravure, relié pleine toile, sous jaquette illustrée en 4 couleurs et laquée..... 3 800 F

— à paraître en 1959 —

TOME III

LA SCIENCE CONTEMPORAINE (De 1800 à 1959)

PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE
108, boulevard Saint-Germain, PARIS (6°)

HISTOIRE GÉNÉRALE *des* CIVILISATIONS

dirigée par MAURICE CROUZET
complète en 7 volumes

- | | |
|---|--|
| 1 | <p>L'ORIENT ET LA GRÈCE ANTIQUE
par ANDRÉ AYMARD, <i>professeur à la Sorbonne</i>
et JEANNINE AUBOYER, <i>conservateur au Musée Guimet</i>
In-4° couronne, relié, avec 48 pl. h.-t. (3^e édition) .. 3 000 F</p> |
| 2 | <p>ROME ET SON EMPIRE
par ANDRÉ AYMARD, <i>professeur à la Sorbonne</i>
et JEANNINE AUBOYER, <i>conservateur au Musée Guimet</i>
In-4° couronne, relié, avec 48 pl. h.-t. (2^e édition) .. 3 400 F</p> |
| 3 | <p>LE MOYEN AGE
L'expansion de l'Orient et la naissance de la civilisation occidentale
par ÉDOUARD PERROY, <i>professeur à la Sorbonne</i>
In-4° couronne, relié, avec 48 pl. h.-t. (2^e édition) .. 3 200 F</p> |
| 4 | <p>LES XVI^e ET XVII^e SIÈCLES
Les progrès de l'Europe et le déclin de l'Orient (1492-1715)
par ROLAND MOUSNIER
<i>Professeur à la Sorbonne</i>
In-4° couronne, relié, avec 48 pl. h.-t. (2^e édition) .. 2 600 F</p> |
| 5 | <p>LE XVIII^e SIÈCLE
Révolution intellectuelle, technique et politique (1715-1815)
par ROLAND MOUSNIER et ERNEST LABROUSSE
<i>Professeurs à la Sorbonne</i>
In-4° couronne, relié, avec 48 pl. h.-t. (2^e édition) .. 2 600 F</p> |
| 6 | <p>LE XIX^e SIÈCLE
L'apogée de l'expansion européenne (1815-1914)
par ROBERT SCHNERB, <i>professeur de Première supérieure au Lycée de Clermont-Ferrand</i>
In-4° couronne, relié, avec 48 pl. h.-t. (2^e édition) .. 3 000 F</p> |
| 7 | <p>L'ÉPOQUE CONTEMPORAINE
À la recherche d'une civilisation nouvelle
par MAURICE CROUZET
<i>Inspecteur général de l'Instruction publique</i>
In-4° couronne, relié, avec 48 pl. h.-t. (2^e édition) .. 3 600 F</p> |

PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE
108, Boulevard Saint-Germain — PARIS (6^e)