

SCIENCE IN THE CONTEXT OF  
HUMAN CULTURE  
PART I

PROCEEDINGS

Plenary Session of the Pontifical Academy of Sciences  
29-31 October 1990

*Edited by*  
NICOLA DALLAPORTA  
*Pontifical Academician*



PONTIFICIA  
ACADEMIA  
SCIENTIARVM

EX AEDIBVS ACADEMICIS IN CIVITATE VATICANA

MCMXCIV

SCIENCE IN THE CONTEXT OF  
HUMAN CULTURE  
PART I

PROCEEDINGS

Plenary Session of the Pontifical Academy of Sciences  
29-31 October 1990

*Edited by*

NICOLA DALLAPORTA  
*Pontifical Academician*



PONTIFICIA  
ACADEMIA  
SCIENTIARVM

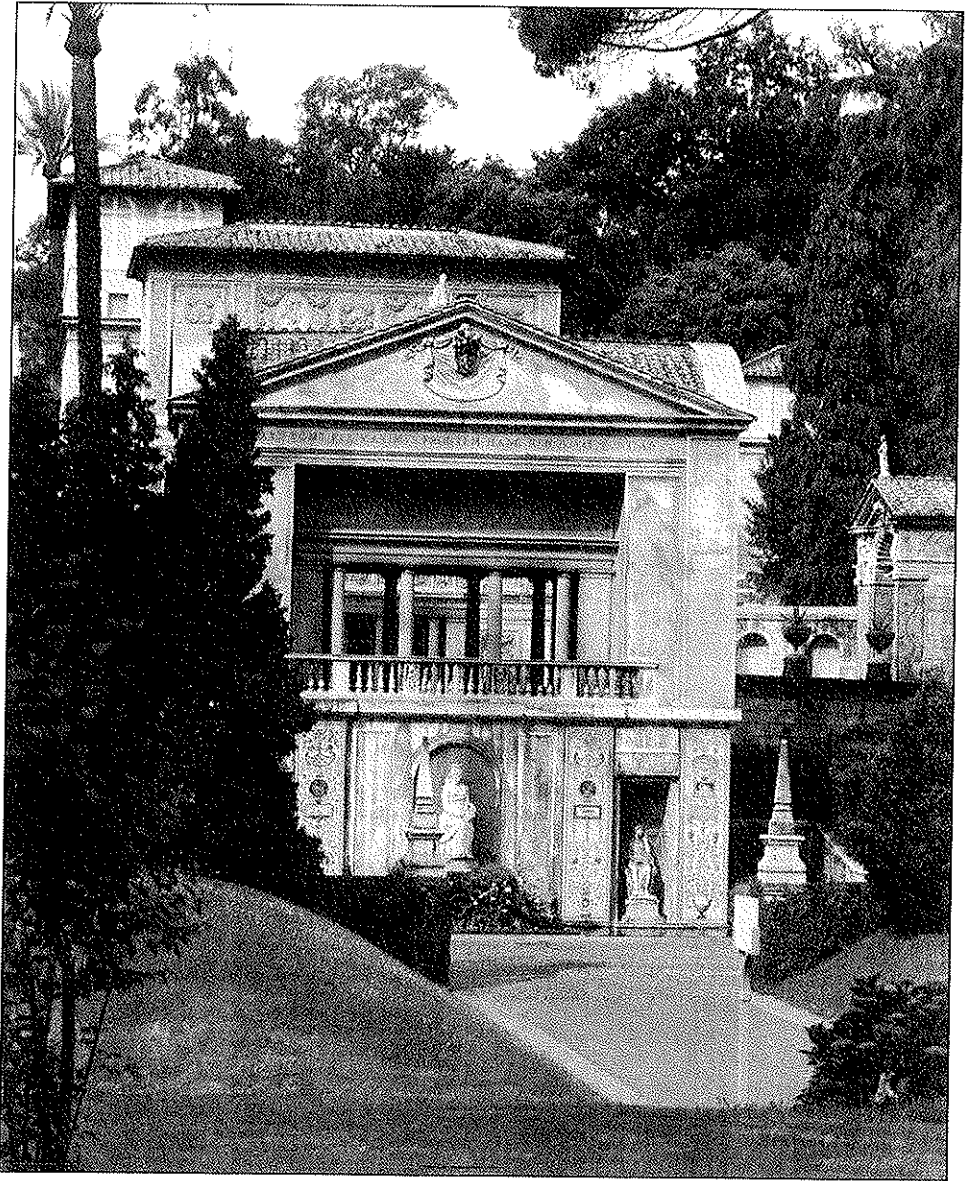
EX AEDIBVS ACADEMICIS IN CIVITATE VATICANA

MCMXCIV

The opinions expressed with absolute freedom during the presentation of the papers and in the subsequent discussions by the participants in the Plenary Session, although published by the Academy, represent only the points of view of the participants and not those of the Academy.

ISBN 88-7761-050-6

© Copyright 1994  
PONTIFICIA ACADEMIA SCIENTIARVM  
VATICAN CITY





In the previous page:

*Casina Pio IV, Vatican City, Seat of the Pontifical Academy of Sciences.*

## CONTENTS

<i>Foreword</i> , Giovanni Battista MARINI-BETTÒLO.....	13
Brief Account of the 1990 Plenary Session .....	17
Pontifical Academicians present at the 1990 Plenary Session.....	21

Opening of the Session by G.B. MARINI-BETTÒLO .....	24
President's Address .....	25
Commemoration of Pierre Raphaël Lépine by JÉRÔME LEJEUNE.....	35
The New Pontifical Academicians - Self-presentation.....	39
– O.D. CREUTZFELDT, Self-presentation.....	41
– N. DALLAPORTA, Self-presentation.....	43
– M. HELLER, Self-presentation.....	45
– S.L. JAKI, Self-presentation.....	47
– P.A.J. JANSSEN, Self-presentation.....	49
– J.-L. LIONS, Self-presentation.....	53
– J.R. McCONNELL, Self-presentation.....	55
– C. PIETRANGELI, Self-presentation.....	59
– C.N.R. RAO, Self-presentation.....	61
– M.J. REES, Self-presentation.....	63

G.B. MARINI-BETTÒLO, Introductory Remarks on the Theme .....	67
C. CHAGAS, Introduction to the Theme .....	71

### PART I – THE INFLUENCE ON THE MOST RECENT DEVELOPMENTS IN PHYSICS

P. GERMAIN, Causalité et Finalité .....	79
Discussion .....	97
C. DE DUVE, The Origin of Life .....	105
J. LEJEUNE, Les Origines de l'Être.....	115
Discussion .....	125
M.J. REES, Limits of Scientific Cosmology .....	135
Discussion .....	153

PART II – THE RECEPTIVITY OF THE CULTURES OF VARIOUS  
COUNTRIES TO SCIENCE AND TO ITS APPLICATIONS

B. PULLMAN, Particularité de la Science.....	161
Discussion .....	173
C.H. TOWNES, Conditions which encourage Science and Technology.....	183
Discussion .....	197
M. MOSHINSKY, The Mexican Experience .....	205
Discussion .....	211
F.W.K. MALU, Le contexte Africain.....	221
J.C. POLANYI, The Responsibility of the Scientist.....	237
Discussion .....	247
L. LEPRINCE-RINGUET, L'Influence de la Science dans la Culture .....	257
Discussion .....	263
J.R. McCONNELL, The Interplay of Science and Culture.....	267
Discussion .....	275

PART III – THE INFLUENCE AND THE SIGNIFICANCE OF SCIENCE  
AND ITS APPLICATIONS, TAKEN AS A WHOLE, ON CULTURE

A. BLANC-LAPIERRE, Enseignement et diffusion des Résultats	
Scientifiques .....	303
Discussion .....	317
H.R. CROXATTO, Public Schools and Sciences Image.....	335
Discussion .....	347

PART IV – CONCLUDING SESSION

N. DALLAPORTA, Observations et Remarques .....	355
Discussion .....	377
J.-M. MALDAMÉ, Science, Culture et Théologie.....	397
Discussion .....	415

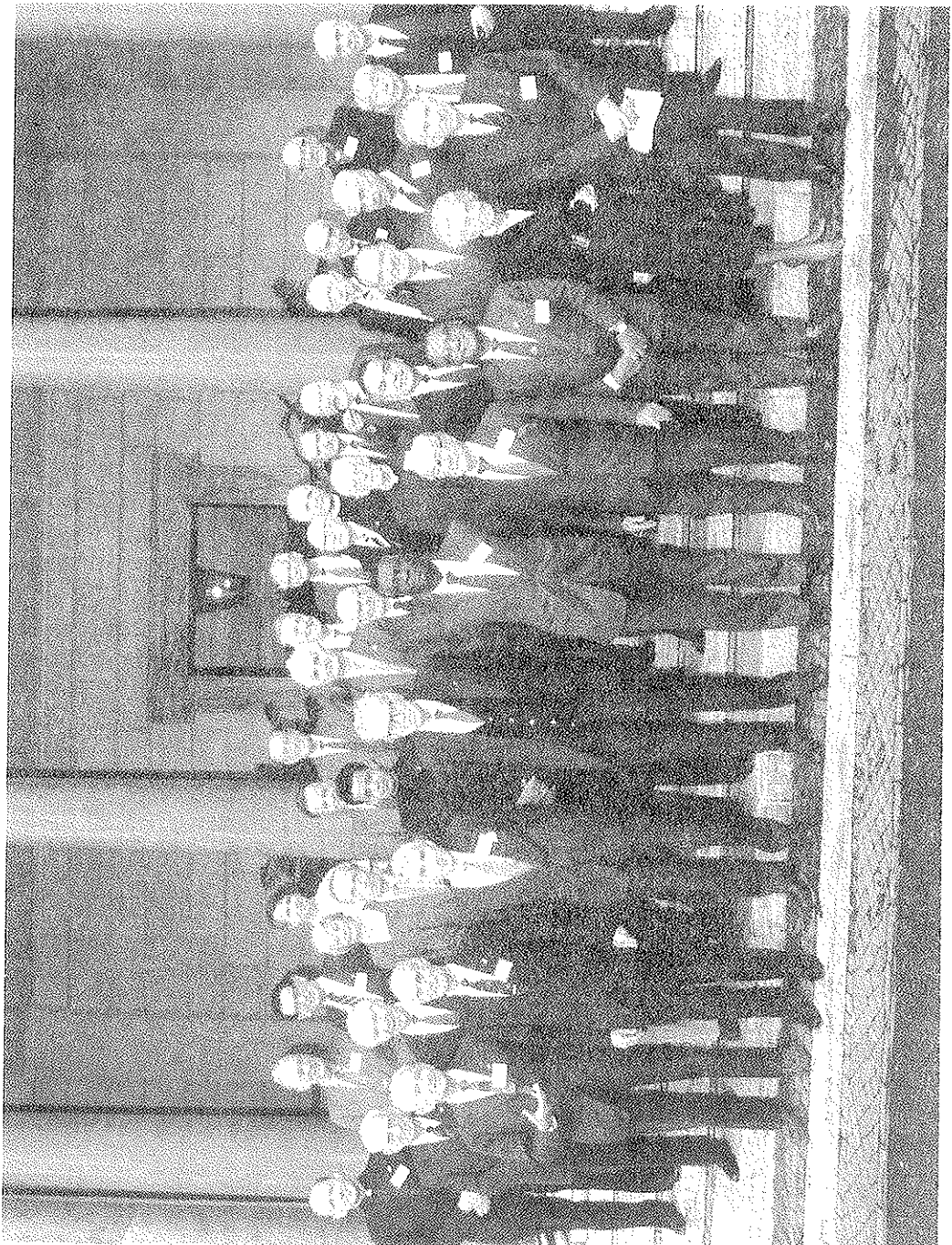
SOLEMN PAPAL AUDIENCE

The President's Address to the Holy Father.....	437
Allocution of the Holy Father .....	441

---

**APPENDIX**

A. SALAM, Science, Technology and Science Education .....	451
J.-L. LIONS, Environment and System Sciences .....	493
C. RUBBIA, International Collaboration in Science .....	501
DECLARATION OF THE PONTIFICAL ACADEMY OF SCIENCES .....	503



## FOREWORD

The theme of this Plenary Session of the Pontifical Academy of Sciences was chosen in response to a need arising from a critical situation in present-day culture: the almost complete dichotomy between the sciences and the humanities (religion, philosophy, literature, the arts).

This anomaly appears to be, essentially, the result of a historically conditioned situation. Thus, there was in the seventeenth century, on the one hand, the Church's incomprehension and suspicion of Galileo's astronomical discoveries. This culminated in the famous trial and the condemnation of the great scientist. On the other hand, there was the resulting anti-clerical reaction — often quite violent, which during the ensuing centuries rejected any infusion of religious or philosophical points of view into the domain of experimental, rational research.

Although the two fundamental components of knowledge, the scientific and the humanistic, necessarily employ different methods and advance along separate paths, there is no doubt that this dichotomy, which occasionally even borders on mutual repulsion, is a major hindrance to achieving a unity of knowledge. Indeed, there is today an opposite tendency which envisages a higher synthesis where all the aspects of knowledge would be unified in a general framework, and where each aspect could find its proper place and meaning in relationship to the others. This unifying tendency is basic to the numerous present-day interdisciplinary initiatives which aim at establishing connections and common approaches among fields of knowledge, however distant they may be one from another.

It was in fact such an aim which lay behind the convocation of the Academy for this Plenary Session. To move toward this goal however, it was first necessary to make a detailed articulation of the theme, and to focus on the different aspects and areas of inquiry. Given the vast differences and variety of points of view, it was deemed indispensable to subdivide the

theme and to examine it at various levels. For an Academy of Sciences, the natural point of departure, and thus the first stage to be discussed, had to be the contemporary situation of certain main branches of science — physics, cosmology, biology — with a view to ascertaining those aspects which would best lend themselves to interdisciplinary comparison.

Following upon this first part, which was dedicated to scientific aspects exclusively, the task of the next two parts was to examine the present relationships between science and culture. Here, in order to arrive at some of the fundamental issues, it was necessary to make a rather detailed and differentiated examination of various regions and populations with regard to two aspects which could be said to follow one upon the other. The first concerned the receptivity of various regional cultures to science and to its applications. Included in the examination of this aspect was, of course, the impact of science on education, on politics and on industrial development. The second aspect comprised the influence which science was seen to be exercising on the character of various cultures, and also the social and moral repercussions which the applications of science can produce.

The reader will immediately discover, in the papers and the discussions presented in this volume, how penetrating and how wide-ranging the deliberations were. This will be seen in the main points and perspectives which emerged from the scientific part, and also in the wealth of concrete examples drawn from different countries illustrating the possible forms of contact between the two types of culture. It should be no surprise that this abundant documentation of the basic issues and data within the theme of the Session took up most of the available time, with the result that there was almost no space left in which to identify the interdisciplinary bridges which might be built between the different branches of knowledge. In fact, only a very few of the contributions to the meeting touched on this matter.

An obvious conclusion to be drawn from this is that the theme of the meeting was so comprehensive that it could not be examined in all its phases. In any event the 1990 Plenary Session put down an excellent foundation upon which a later



---

Plenary Session may build, and where attention can be concentrated on the many interdisciplinary aspects, especially on the deep-seated connections which certainly exist between science and the other forms of human culture, and which can already be inferred from the material presented in this volume<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> *The theme of the 1990 Plenary Session of the Academy was further examined in a Symposium, "Science in the Context of Human Culture II", which was jointly organized by the Pontifical Academy of Sciences and the Pontifical Council for Culture, and which was held at the Seat of the Academy from 30 September to 4 October 1991. The proceedings of the Symposium, now in preparation will be published in the Academy's Scripta Varia series.*

## BRIEF ACCOUNT OF THE 1990 PLENARY SESSION, "SCIENCE IN THE CONTEXT OF HUMAN CULTURE"

From 29 to 31 October 1990 the Plenary Session of the Pontifical Academy of Sciences was held at the Casina Pio IV, the Seat of the Academy, in the Vatican gardens. The theme which was explored in three very full days of presentations and discussions was SCIENCE IN THE CONTEXT OF HUMAN CULTURE.

The inaugural session took place on Monday 29 October, with the President of the Academy, Professor Giovanni Battista Marini-Bettòlo presiding. Following the President's welcoming address to the participating Pontifical Academicians, the late Professor Pierre Raphaël Lépine, French biologist and cytologist, was commemorated in an address by the Academician Jérôme Lejeune. Professor Lépine, who was born in Lyons on 15th August 1901, and who was designated a Member of the Academy on 24th September 1964, died on 30th March 1989.

The President then introduced to the Assembly the new Members who had been recently designated as Pontifical Academicians by His Holiness Pope John Paul II:

Otto D. Creutzfeldt (Germany), neurobiology, Member;  
Nicola Dallaporta (Italy), astronomy, Honorary Member;  
Michał Heller (Poland), physics, Member;  
Stanley L. Jaki (U.S.A.), physics, Honorary Member;  
Paul J.A. Janssen (Belgium), pharmacology, Member  
Jacques-Louis Lions (France), mathematics, Member;  
James R. McConnell (Ireland), physics, Member;  
Carlo Pietrangeli (Italy), art history, Honorary Member;  
Chintamani C.N. Rao (India), chemistry, Member;  
Martin J. Rees (United Kingdom), astronomy, Member.

The President made the additional announcement that the biologist Peter H. Raven (U.S.A.), who was not able to be present, had also been nominated a Member by the Holy Father. The

President then gave to each of the new Members present their Apostolic briefs of nomination as Pontifical Academicians.

The new Pontifical Academicians, one by one, made brief selfpresentations in which they outlined their individual professional and scientific careers, their studies and research, their publications and their special spheres of interest.

Thereupon the Academy met in a brief, closed session during which the President took up and discussed certain matters relevant to the life and the work of the Academy.

In the course of the morning, Pope John Paul II granted a solemn audience to the Members of the Pontifical Academy of Sciences in the Apostolic Palace. The Holy Father pronounced an allocution in response to an address made by Professor Marini-Bettòlo. Thereafter the Pope greeted the new Members in turn, graciously presenting to each the insignia which Pontifical Academicians are entitled to wear.

---

Upon returning to the Seat of the Academy, the working session was begun, and the theme which had been chosen for the Academy's deliberations, "Science in the Context of Human Culture", was introduced by the President. Past-President Carlos Chagas then made a presentation of the theme as a whole.

The deliberations were subdivided into three parts. Professor Bernard Pullman presided as Part One, *The influence of the most recent developments in physics, cosmology and biology on the "basic concepts" of human thought and on human comportment*, was examined by Paul Germain (Causalité et finalité dans un monde marqué par la science), Christian de Duve (The origin of life), Jérôme Lejeune (Les origines de l'être. Récentes découvertes en biologie), Victor F. Weisskopf (The frontiers of physics) and Martin J. Rees (Cosmic evolution. The limits of scientific cosmology). Ample discussions followed these presentations.

On 30th October the work of the Plenary Session resumed under the Chairmanship of André Blanc-Lapierre. In this session Part Two, *The receptivity of the cultures of various coun-*

*tries to science and to its applications*, was approached from various perspectives by Bernard Pullman (Particularité de la science dans le contexte de la culture humaine), Charles H. Townes (Perspectives on conditions which encourage the development of science and technology), Marcos Moshinsky (The receptivity of the cultures of various countries to science and to its applications: the Mexican experience), wa Kalenga Malu, (Problématique science-culture dans le contexte africain), John C. Polanyi (The responsibility of the scientists), Louis Leprince-Ringuet (L'influence de la science dans la culture humaine) and James R. McConnell (The interplay of science and culture). These papers elicited many interventions from the Academicians present, which in turn gave rise to responses by the speakers. After the adjournment of the session, a reception was given by the Pontifical Academy of Sciences for the Academicians and numerous distinguished guests.

Carlos Chagas chaired the session of 31st October which had as its subject for consideration Part Three, *The influence and the significance of science and its applications, taken as a whole, on culture*. Following the contributions of André Blanc-Lapierre (Spécificité du domaine scientifique au sein de la culture. Enseignement et diffusion des résultats scientifiques) and of Hector R. Croxatto (Traditional education in the public schools and science's image — the case of Chile), Nicola Dallaporta presented his observations and a personal synthesis of the three days of presentations and discussions. The presentations were followed by full, and at times lively discussions.

As an invited lecturer, Father Michel Maldamé o.p., addressed the Assembly on "Science, culture et théologie. Une brève synthèse à la lumière de l'histoire des sciences". This lecture will be found among the Appendici.

The final discussion period was devoted to the formulation of a declaration which had been proposed earlier in the session by Marcos Moshinsky (Russian born, but a longtime resident of Mexico). Moshinsky's concern for the economically endangered scientific institutions of the Third World was shared by his fellow Members, and the resulting document, *DECLARATION OF THE PONTIFICAL ACADEMY OF SCIENCES URGING THE*

*PROVISION OF IMMEDIATE AND INTENSIFIED SUPPORT FOR THE SCIENTIFIC INSTITUTIONS OF THE THIRD WORLD*, will be found as an Appendix to this volume.

The present volume also contains as Appendici papers which were submitted but which were not orally presented. The authors are Muhammed Abdus Salam (Science, technology and science education in the development of the South), Stanley L. Jaki (Science and contemporary culture), Jacques-Louis Lions (Environment and system sciences) and Carlo Rubbia (abstract of his paper, "International collaboration in science").

A noteworthy Appendix is the Allocution which Pope John Paul II pronounced upon the occasion of the 50th anniversary celebration of the reconstitution of the Pontifical Academy of Sciences (28 October 1986). Here will be found important reflections on the dialogue between the world of faith and the world of science, as well as valuable indications for the work and the specific contributions of the Academy.

PONTIFICAL ACADEMICIANS PRESENT AT THE  
1990 PLENARY SESSION

1. Werner ARBER, Switzerland
2. André BLANC-LAPIERRE, France
3. Nicola CABIBBO, Italy
4. Carlos CHAGAS, Brazil
5. George V. COYNE, Vatican City
6. Otto D. CREUTZFELDT, Germany
7. Hector R. CROXATTO, Chile
8. Nicola DALLAPORTA, Italy
9. Ennio DE GIORGI, Italy
10. Johanna DÖBEREINER, Brazil
11. Christian DE DUVE, Belgium
12. Kenichi FUKUI, Japan
13. Percy C.C. GARNHAM, United Kingdom
14. Paul GERMAIN, France
15. Michał HELLER, Poland
16. Stanley L. JAKI, U.S.A.
17. Paul A.J. JANSSEN, Belgium
18. Thomas A. LAMBO, Nigeria
19. Jérôme LEJEUNE, France
20. Louis LEPRINCE-RINGUET, France
21. Rita LEVI-MONTALCINI, Italy
22. André LICHNEROWICZ, France
23. Jacques-Louis LIONS, France
24. Stanisław ŁOJASIEWICZ, Poland
25. James R. MCCONNELL, Ireland
26. Felix wa Kalenga MALU, Zaire
27. Giovanni Battista MARINI-BETTÒLO, Italy
28. Josef METZLER, Vatican City
29. Marcos MOSHINSKY, Mexico
30. Carlo PIETRANGELI, Vatican City
31. John C. POLANYI, Canada
32. Bernard PULLMAN, France

33. Giampietro PUPPI, Italy
34. Silvio RANZI, Italy
35. Chintamani N.R. RAO, India
36. Martin J. REES, United Kingdom
37. Marcel ROCHE, Venezuela
38. Enrico DI ROVASENDA, Italy
39. Charles H. TOWNES, U.S.A.
40. Victor F. WEISSKOPF, U.S.A.

#### INVITED GUESTS

1. Mgr. Pietro ROSSANO, Vatican City
2. Rev. Jean-Michel MALDAMÉ, O.P., France
3. Rev. Bernard J. PRZEWOZNY, O.F.M., Italy
4. Rev. Mons. Elio SGRECCIA, Italy
5. Prof. Tito F. ARECCHI, Italy



## OPENING OF THE SESSION

### OPENING OF THE SESSION

Professor Giovanni Battista Marini-Bettòlo, President of the Pontifical Academy of Sciences, formally opened the 1990 Plenary Session of the Academy, and welcomed the participating Pontifical Academicians. He then introduced Professor Jérôme Lejeune, who pronounced a commemorative oration on the late Pierre Raphaël Lépine, and the self-presentations by the newly nominated pontifical Academicians.

## PRESIDENT'S ADDRESS

The Pontifical Academy of Sciences is grateful for your participation in this Plenary Session, which represents, if not the only occasion to meet each other, certainly an important moment in the activity of our Academy. It is a moment of reflection, the occasion to interchange opinions on facts and programs, the possibility to meet each other in our common house, coming from all parts of the world, and share our knowledge and experience, in the discussions of these days.

I recommend that what I will say be considered by all of you as confidential.

On behalf of all of you, I welcome the Academicians nominated by the Holy Father last month, and elected by you, who will, starting today, participate in our work, contributing with their knowledge in some fields of science not yet represented in the Academy.

The pleasure of welcoming the Academicians is lessened by the resignation of Sir Alan L. Hodgkin, who a few weeks ago expressed his intention to leave the Academy. Professor Hodgkin was nominated in 1968 but has never participated in the activities of the Academy.

This is the first time that I am addressing you as President; therefore I wish not only to give a brief report of what has been done in the last two years, but also to express my ideas regarding the position of the Pontifical Academy of Sciences — that is, similarities to, and differences from the other Academies of the world, in the present historical moment. Some of these considerations were communicated by mail to all the Academicians in December 1988.

Since 1988 I have been thinking very much about the role of scientific academies in the modern world, and in particular about the functions of the Pontifical Academy of Sciences.

It is well known that the firsts scientific academies in the world were established in the early XVII century. The first was the Accademia dei Lincei, founded in Rome in 1603 by Federico

Cesi. This gave origin to the Pontifical Academy of the New Lincei, and later to our present Academy. The Accademia dei Lincei is therefore our direct scientific ancestor.

The scope of scientific academies was to discuss scientific questions and also to carry out some new experiments. Many other scientific academies were established in the XVII and XVIII centuries and have contributed largely to the progress of science in many fields. These academies have had in many countries the support of Governments which realized the importance of science, not only for the progress of knowledge but also for defense, economy and health.

At present the Academies have changed their role as a consequence of the splitting of science into many different fields, followed by the establishment of specialized learned societies.

Academies are now the promoters of scientific knowledge, but they have also become the forum to avoid the fragmentation of science, for interdisciplinary discussion on scientific topics, and mainly on those which may affect the present and the future of our world.

A limited number of models of academies reflecting also traditional and political situations have been adopted in different countries to respond to the request for knowledge from society. There are classical academies which continue their traditional tasks, others act as consultants for their governments on scientific matters, some are endowed with technical structures which enable them to carry on experimental research. However, the pressure of public opinion has induced academies, even the traditional ones, to discuss the problems of the present world, and under different facets to study the possibilities of the transfer of science to technologies, in order to cope with the needs of society.

Each national academy has its specific role, which is now measured by its benefit to the country. In fact, the academy may give to society the experience and skill of its members, elected on the basis of their contribution to science and independently of political and cooperative interests. The academies thus represent the center not only of science but also of culture and wisdom at the service of society. Thus governments support the academies,

which represent the cultural image of the country and give their opinion and assessment on general questions of public interest. Members of the academies are generally regarded with respect and even admiration, because of the level of their knowledge in the context of culture and in promoting through science the common good. The acknowledgement of their function, at the national and international level, should stress to all the fellows of the academies that their membership is first of all an important duty and not only a void decoration.

The Pontifical Academy of Sciences, though unique in its structure (members are from all countries) fits in the general pattern of academies. Its function is to promote scientific research and to discuss the results, but also to be of help to the Holy See, studying and discussing topics and problems still controversial, and to present correct data, information on scientific questions necessary to the Holy See for an objective assessment of the scientific advances and their implications regarding human progress and ethics.

The Pontifical Academy of Sciences is well aware of this important task and has been very active in fulfilling it. Nevertheless, our Academy's present structure does not reflect exactly all the present main area of scientific knowledge. This may be due to an autocatalytic process which leads a scientist to vote preferably for another scientist of his own field. The Council of the Academy has considered this situation and also stressed that some important geographical areas are not represented or under-represented. The Academy is now working to fill this gap and for this purpose needs the help, the collaboration and the support of all of you. It is in fact necessary that the Academy have in the coming years highly qualified fellows, not only in the traditional basic fields of science but also in the new and emerging ones. The election of the new members present here today is a step toward this goal.

Moreover, the Pontifical Academy of Sciences will encourage research in every field of science by different means: theoretical, experimental and applied, but also will promote a better understanding of the great problems of our time,

discussing them together with philosophers, moralists and theologians.

I should like to remind you that on this last point John Paul II, in his address to the Academy's Plenary Session of 1986, focused your attention when he said:

Sociologists and economists can likewise profit here; as can practitioners of medicine and surgery, in order to evaluate the meaning and the effects of their experimentations and operations; moralists, who need to know the laws of nature with precision; philosophers, who research into the meaning of existence and transcendent truth; theologians, who are especially interested in the relationship between faith and science. Your scientific contribution is therefore of first importance for all these fields, even if it is directly neither political nor theological; it constitutes an indispensable basis for the work of those who bear responsibility, and for the specialists whom I have just mentioned.

The Academy has followed these clear directives in establishing its programs. An important round-table discussion was organized by President Chagas in October 1988, with the participation of philosophers, theologians and scientists in order to debate on: Brain research and the body-mind problem: epistemological and metaphysical issues.

These interdisciplinary and cultural questions are discussed also by academies in various countries, and this is an indication of the perceived need of scientists to humanize science.

The present session of the Academy will broaden the horizon of the topic *Science and the Modern World*, discussed here in the years 1977, 1978, 1979. It will debate on *Science in the Context of Human Culture*. We have invited philosophers and theologians (whom I thank for their presence) to continue the colloquium, requested by the Holy Father, to discuss not only the consequences of scientific advances in the world but also their implications on a philosophical, cultural and ethical level.

In fact, the scientist is now well aware of the necessity to discuss and assess, in complete freedom and objectivity, the philosophical implications of the continuous progress in the sciences as well as the moral aspects. The subject of ethics in scientific research has been, as you know, raised by scientists on several occasions in recent years to avoid an indiscriminate experience in fields regarding the human person and mass destruction systems.

The Academy has in these years endeavoured, through frequent contacts, by mail and telematics, to inform all of its Fellows regarding its activity and future programs. Not always have the required comments and suggestions for further action been received from many members in reply to our letters. The Academy is aware of your difficulties in fulfilling this need, engaged as you are on various fronts or research and teaching, but it reminds you that it needs the cooperation of all of you, for an improvement of its activity. An alternative suggestion might be that you send your recent publications to the Academy to inform us of your important scientific advances.

On its side the Academy has made an effort to contact personally its fellows in different countries. In recent months, the President and the Director have met in Great Britain, France and Sweden with many members in order to discuss with them programs and problems facing the Academy. They have also attended international conferences, such as those of UNESCO in 1989 and 1990. The results have been very encouraging and important, and have strengthened the links with the members, receiving important suggestions and information, as well as help in organizing future programs, e.g., the present Plenary Session.

Since our last Plenary Session two years ago, the Academy has performed a rather intensive activity in many fields. I will mention the memorial ceremony in 1988 in honor of the Blessed Nicholas Steno (Niels Steensen) in 1989 the meeting on *Future Trends in Spectroscopy*, the Study Week on *The Determination of Brain Death and its Relationship to Human Death*, and that on *Science for Development in a Solidarity Framework*. This year we had a joint meeting with the Royal Swedish Academy of



Sciences on *Man and his Environment. Tropical Forests and the Conservation of Species*. In the same period the Academy has published important books (*Scripta Varia*) and documents (*Documenta*) which should be better known in the world for their intrinsic and documental value.

Academies, with few exceptions, are not in the best conditions to promote the diffusion and the sale of their publications. Such is the case of the Pontifical Academy. Excellent publications do not circulate widely enough and remain unknown to a great part of the scientific community. Co-editions with international publishers have had some success in the past years, but the lengthy procedures for every title cause long delays before the volumes enter the market.

The Academy has now agreed with Pergamon Press (as a result of contacts at the meeting held here for the 50th year of the journal *Spectrochimica Acta* founded in this Academy) to include the titles of our publications in their catalogues and promotional material and leaflets, in order to promote their diffusion and eventually to have co-editions of the more important works. A similar agreement was established with the Libreria Editrice Vaticana, which is acting for the Academy as agent for the diffusion and sale of our publications. This may be an important contribution for the image of the Academy in the world, and it may also represent a return (though limited) of the expenses sustained by the Academy for the publication of its works.

As you can understand, all these activities imply a great effort by the Academy, aside from the routine daily work (i.e., correspondence, publication exchanges, requests for advice, international relationship, participation in extramural activities, preparation of the elections, etc.). The organization of all meetings and the editing of the publications require, at the different stages, a heavy commitment of work and time and specific as well as high-level capacities.

Therefore the Council has proposed that the Academy (analogous to the Congregations and Commission of the Vatican) have at its disposal consultants or experts, selected

from among distinguished scientists willing to collaborate in the organizational and editorial work of the Academy.

In order to give status to these experts, it has been suggested to include them in the new By-laws of the Academy, which are at present under elaboration in order to harmonize them with the new directives established for all the Vatican institutions in 1988.

An important item of the new By-laws, which have already been approved and thus are in force, is the rules for elections (which you have received with the voting ballots). Although the Academy will always try to form *trios* to submit to the vote, the Council in particular cases, to be justified each time, may present a *duo* and even a *single* candidate.

All that has been done by the Academy during these years is due to the enlightened, skillful, clear, persevering action of the Reverend Father Ing. Renato Dardozzi, who is — a side to his title, which I have asked to be modified — the representative of the Holy See in the Academy and the indispensable link of the Academy with the Vatican authorities.

At this point I should like to give you some information about the Academy's budget. The Academy does not have a particular endowment or capital of its own at present. Every year, according to the program agreed on by the Council, the Vatican Administration establishes a maximum of expenses, even though the money is not allotted to the Academy because the Administration acts also as accountant and cashier, paying the salaries and the invoices.

The budget of the Holy See, as it is now, is quite limited and in the red. Its revenues do not come from taxes as in all countries, but from the voluntary contributions of the Catholics around the world.

I have presented the entire situation to you in order to explain the reason why the Academy is not as generous as before and has some difficulties in maintaining the same standard of hospitality for the Academicians and the invited guests.

Financial difficulties are common to all Academies unless an Academy is involved in some productive activity, e.g.,

COMMEMORATION OF  
PIERRE RAPHAËL LÉPINE (1901-1989)

Born in Lyons on 14 August 1901. Scientific discipline: biology (cytology and virology). Professor at the Institut Pasteur, Paris; Director of the Institut Pasteur, Athens; Visiting Professor, Université de Montréal. Pontifical Academician since 24 September 1964. Died on 30 March 1989.

En souvenir de notre regretté confrère, Pierre R. LÉPINE, dont la mémoire est si vive parmi nous, qu'il me soit permis Monsieur le Président, Madame, Mes chers confrères, d'évoquer simplement le Professeur LÉPINE, prenant place dans notre assemblée: sa haute stature, sa voix profonde et vibrante, sa diction sobre, sa pensée précise, ses arguments solides, ses raisonnements charpentés, tout était à son image, forte, puissante, convaincante.

Certes nous l'avons connu de longues années souffrant de douleurs articulaires mais il portait, si je puis dire, ces misères de l'arthrose un peu comme un soldat valeureux s'accommode d'une blessure glorieuse: son handicap rehaussait sa prestance.

Lorsqu'il exposait une idée, réfutait une erreur ou rectifiait une bévue, on percevait à la fois les accents du chercheur, ceux du professeur et même parfois ceux du tribun, harmonieusement mêlés en un amalgame équilibré. Car Pierre R. LÉPINE eut ces trois façons d'être, tour à tour (chronologiquement) et simultanément (psychologiquement).

Selon le mot de celle qui le connut le mieux, cet "adolescent de génie" fut tout d'abord un aventurier de la recherche, puis un maître de la découverte pour finir comme un sage dans la Cité. Trois vies si l'on peut dire, mais un seul homme en fait: Dès l'aventure, le maître transparaît, et le sage s'affirme bien avant le service de la Cité.

Mais d'abord, l'aventure.

Aîné de 4 enfants, Pierre naît à Lyon en 1901 de Jean Camille Raphaël, Psychiatre, puis Doyen de la Faculté Mixte de Médecine et de Pharmacie.

Il était ainsi l'héritier d'une véritable dynastie: son grand père Jacques Raphaël, Médecin renommé lui "donne très tôt le goût de la recherche et jamais" écrit-il "l'orientation de ma carrière ne s'est posée pour moi".

Il sera un grand médecin, comme son Père et son Grand-Père.

A noter que les gènes qui prédestinent peut-être à la curiosité intelligente devaient être généreusement distribués dans cette illustre lignée, puisque son oncle Louis, célèbre préfet de Police, a laissé son nom au Concours le plus connu des français, ouvert à tous les inventeurs: le *Concours LÉPINE*.

L'adolescent surdoué, externe des hôpitaux à 17 ans, et parasitologue à 22, rêve des pays lointains en étudiant les amibes et en cultivant les trypanosomes.

Grâce à la notoriété familiale, il représente la France dans un congrès à la Jamaïque (à l'époque, le bout du monde!), il y rencontre le célèbre NOGUCHI, et grâce à lui parcourt toute l'Amérique centrale, y compris Panama et son canal (fort célèbre alors après l'Affaire!).

Evoquant le souvenir funèbre des catastrophes d'Haïti et du Mexique et le désastre de Panama: il note: "il existe dans ces climats tropicaux des lois vitales qu'aucune puissance ne peut transgresser".

Comme le remarque justement le Dr. ATANASIU, Pierre R. LÉPINE prédit en 1920 l'éradication de la fièvre jaune et prévoit un recul, certes, mais une persistance du paludisme et de la tuberculose.

Pronostic, hélas, encore valide 70 ans plus tard.

Deux aventures l'attendent: le Liban et la Grèce.

En 1925, il est à Beyrouth et devient un grand ami du Professeur DRAY, homme remarquable, et intègre, "l'anglais le plus francophile du moyen orient", qui l'accueille et le fait connaître. Mais Dray est assassiné, sauvagement. "On a tué l'homme qui cherchait la paix parce qu'il a aimé le pays", écrit-il

en 1926. Et il ajoute "Cette terre a été arrosée de tant de sang qu'elle ne peut produire que le meurtre".

Pauvre Liban. Sur ce point aussi le diagnostic de Pierre LÉPINE reste encore, hélas, d'une terrible actualité.

Mais Paris le rappelle; le voici chez LEVADITI. C'est d'abord le Grand Cours de l'Institut Pasteur en 1927 et dès 1931, la nouvelle aventure la direction de l'Institut Pasteur d'Athènes.

Période troublée, difficile mais au cours de laquelle il démontre l'identité entre le typhus murin méditerranéen et le typhus exanthématique d'Amérique transmis par la puce.

Il découvre aussi la transmission du virus de la polio par voie entérale et la survie du virus dans l'eau. Il tente même les premières vaccinations antipolio, sans grand succès, mais observe déjà l'efficacité de la double inactivation.

Après de longues tractations Paris le rappelle en 1935 et c'est la seconde époque, la maîtrise de la découverte; d'abord à l'Institut de la rage, puis comme maître incontesté de la virologie. L'aboutissement de cette période est à la sortie en 1953 du premier "vaccin LÉPINE" contre la poliomyélite. Avec ATANASIU il montre que la beta-propiolactone (précurseur de l'acide acrylique qui mène aux résines bien connues pour leurs usages industriels) peut se fixer sur le virus sans trop le modifier. Avec SAUTTER il associe cette nouvelle méthode à celle plus classique de l'inactivation par le formol. Cette double inactivation, préserve l'antigénicité du virus (le sujet vacciné fabrique des anticorps efficaces) mais inhibe la neurotoxicité (le vaccin est sans danger).

Comme il avait dès 1929 (à Athènes) observé que le virus se transmettait par l'eau et que l'immunisation spontanée et précoce protégeait de l'endémie les régions ne bénéficiant d'aucune hygiène, il avait rapporté de l'aventure les connaissances qui permettaient à la maîtrise de s'affirmer.

Après une longue carrière de découvreur, le savant s'engage au service de la cité. Elu conseiller municipal en 1971 et réélu en 1977 et 1983, il est adjoint au Maire de Paris, chargé de l'Hygiène et de la Santé. Il préside au développement de la recherche dans l'Assistance Publique (Association Claude

Bernard) et par son dévouement et son enthousiasme qui n'exclut pas la prudence il joue son rôle de Sage dans la Cité.

Il s'éteint le 30 mars 1989 dans sa 88<sup>e</sup> année.

Membre de l'Académie des Sciences et de l'Académie Nationale de Médecine, il est à l'étranger, membre correspondant, honoraire ou de plein exercice de nombreuses académies que je ne pourrais citer toutes.

Mais celle qui était le plus près de son cœur était, disait-il, la nôtre, la Pontificia Academia Scientiarum qui l'avait accueilli en 1964.

Chacun de nous garde présentes à l'esprit ses remarques ou ses interventions dans lesquelles Science et Conscience étaient étroitement unies.

Comme le dit si bellement notre chancellerie, en son langage au delà du temps :

DIE XXX MENSIS MARTII A.D. MDCCCCLXXXIX EX HAC  
TERRESTRI VITA IN SCIENTIARVM PROPECTVM  
SEDVLO  
IMPENSA AD SAPIENTIAE AETERNITATEM  
TRANSIISSE

L'homme de science accompli est passé de cette vie terrestre à l'éternité de la Sagesse.

A vous, Madame, à vos enfants et à vos petits-enfants, permettez-moi de présenter l'expression du fidèle souvenir de l'Académie Pontificale des Sciences pour celui qui en fut un illustre et dévoué serviteur.

JÉRÔME LEJEUNE

THE NEW PONTIFICAL ACADEMICIANS  
SELF-PRESENTATIONS



## THE NEW PONTIFICAL ACADEMICIANS

The President introduced the ten new Members who were present at the Plenary Session: Otto D. Creutzfeldt, Nicola Dallaporta, Michał Heller, Stanley L. Jaki, Paul A.J. Janssen, Jacques-Louis Lions, James R. McConnell, Carlo Pietrangeli, Chintamani C.N. Rao and Martin J. Rees. The biologist Peter H. Raven (U.S.A.) and the physicist Roald Z. Sagdeev (U.S.S.R.), who had also been designated Pontifical Academicians by the Holy Father, were not able to attend the Plenary Session. Each of the ten new Members present gave a brief account of his research and scientific career. These self-presentations follow. The President gave to the new Pontifical Academicians their respective Apostolic Briefs of nomination.

## OTTO DETLEV CREUTZFELDT

Born 1 April 1927. Nominated 4 October 1990.

After undergraduate studies in theology, history and philosophy I studied medicine from 1948 - 1953. From 1953 - 1960 I trained and worked in neurology, psychiatry and neurophysiology in Freiburg/Br. (Prof. R. Jung) and Bern, Switzerland (Prof. M. Müller). 1960 - 1961 I held a Research Assistantship in the Brain Research Institute at the University of California, Los Angeles. From 1961 - 1971 I worked at the Max-Planck-Institute of Psychiatry, first as Head of Laboratory, later as Director of the Department of Neurophysiology, Clinical Neurophysiology and Neurology. In 1972 I moved to the newly founded Max-Planck-Institute for Biophysical Chemistry in Göttingen, where I'm still working as Director of the Department of Neurobiology.

After some clinical studies (on muscle and psychiatric disease), my continuing scientific interests concentrate around the neurophysiological mechanisms of perception. As a model I use mainly the visual and the auditory system and its functional representation in the cerebral cortex. With my colleagues, I have shown and analysed the presence and functional significance of inhibition in the cerebral cortex and the thalamus, the neurophysiological basis of electroencephalographic potentials (EEG), the organization of signal transmission in the auditory, somato-sensory and visual cortex, and the neurophysiological organization of visual adaptation and specific aspects of colour vision. This work led to many close contacts with informatics and communication sciences. The organization of the cerebral cortex and its function is a central theme in my laboratory, and this work has led me to propose a mode of functional cortical organization outlined in the monograph "Cortex Cerebri". The philosophical implications of this work have been treated in several articles, in which I argue that a direct isomorphy between brain mechanisms and mind is not possible although mental processes are causally related to

brain processes, which may be considered the physical condition of mind. In my laboratory, several aspects of membrane biophysics and neural development are also being pursued.

I am a member of the Max-Planck-Society since 1965 and was President of several European and German Societies in the field of Neuroscience over the years.

## NICOLA DALLAPORTA

Born 28 October 1910. Nominated 5 October 1990.

From 1947 to 1970 I was professor of Theoretical Physics at the University of Padua, shifting to the chair of Theoretical Astrophysics from 1970 to 1979. From 1979 to 1985 I was in charge of constituting and organizing a research group in Astrophysics and Cosmology at ISAS, International School of Advanced Studies, Trieste.

After some preliminary work on several topics of atomic physics, I was involved, at the end of the Second World War, in the reconstruction of scientific research in the Institute of Physics of Padua University, under the leadership of Professor Antonio Rostagni, by working first in Cosmic Rays, and then in Elementary Particles. My main contributions in the field of Cosmic Rays concern the interplay of the nuclear, the hard and the soft components during their cascade through the atmosphere, and the theoretical extension of the energy spectrum of the soft component to very low energies. I then participated, within a vast collaboration using emulsion plates brought up by balloons to the top of the atmosphere, in the experimental discovery of several strange particles. From these results, I was led to the theoretical study of strange particle interactions, and to the construction of a strong interaction symmetry scheme, superseded few years later by Gellmann's  $SU(3)$  symmetry. My chief contribution to particle physics consists however in the extension of Puppi's fundamental discovery expressed as Puppi's triangle to include all strange particle weak interactions, thus giving definite support to the concept of universality of Fermi's weak interaction.

Around 1970, I was induced to constitute a research group in Padua on theoretical astrophysics and cosmology, a field at that time not much cultivated in Italy, starting with stellar evolution and formation and structure of galaxies, and extending later my activity to early Big Bang cosmology and to general relativity and high energy astrophysics. The important results

obtained in all these fields by several research workers, once my scholars and now my colleagues, might perhaps be considered as a proof that I was not mistaken in turning my interest towards these new directions.

I am a member of the Accademia dei Lincei and of several others italian Academies.

I feel of course very much honoured and grateful for having been designated by the Holy Father as a member of this prestigious Academy, and I propose to work as much as I can in order to contribute to its activity.

## MICHAŁ HELLER

Born 12 March 1936. Nominated 4 October 1990.

Once an expert was asked by the judge in the court whom he would consider to be the best in his field of expertise. He answered without hesitation: "Of course, I am the best." The judge murmured something about the lack of humility. "I had to say this" — said the expert — "I was speaking under the oath".

I am not speaking under the oath. Therefore, I can freely admit that I know of many experts who are better than I in my field of research which is relativistic cosmology, especially its geometric aspects. My trump card is the fact that I entered cosmology through a back door. I started with a standard seminaristic education in theology; I studied philosophy at a university, history of science has become my preferred subject. With all these I started doing some work in cosmology. Since cosmology aims to be an interdisciplinary subject, I had a good opportunity to see in it things usually overlooked by those to whom great ability in doing calculations screens out many interesting aspects.

I was already infected by philosophy, and even doing some science I never ceased to be a philosopher. During my philosophical studies I soon realized that philosophy without science is blind, and science without philosophy is lame (in spite of the fact that it goes forward so quickly). Some philosophers say that it is enough for them if they learn some methodology of science, science itself being irrelevant for philosophizing. In my opinion, this is one of the biggest mistakes ever made by philosophers. Without doing science one knows nothing about science and its methods. Or even worse, one thinks that one knows, and this is much worse than not knowing at all. In my science (my cosmology) I am always hunting for foundations (I think I have an obsession with foundations). It is here where science and philosophy meet together. Sometimes I use the slogan "philosophy in science" (it has become the title of a philosophic-scientific journal).

Here my theological past outcomes in Theology can render service to both philosophy and science by illuminating *foundations of foundations*. A fundamental problem of the philosophy of science can be expressed in Einstein's famous question: "Why is the world comprehensible (or rational)?" In philosophy we can formulate this question, demonstrate its non-trivial character, and continue to contemplate it with no hope of reaching an answer. Einstein once wrote: "The fact that it [the world] is comprehensible is a miracle... which we shall never understand". Theology is able to penetrate this question one level deeper by arriving at the statement that *comprehensibility* and *existence* are but two aspects of the same process - the process of *creation*. Logos immanent in the world lies at the foundations of foundations of science.

As a member of the Pontifical Academy of Sciences I want to pursue the above sketched line of inspirations in doing my science. However, this does not mean that I shall treat science instrumentally as a means to obtain some philosophical or theological goals. I think that one of the main reasons for conflicts between science and theology in modern times consisted in the fact that people of the Church too often treated science as an instrument to obtain some noble (no doubt about that) aims. In this respect science is like religion. It does not tolerate foreign gods besides the only One - the Truth.

STANLEY L. JAKI, O.S.B.

Born 17 August 1924. Nominated 5 September 1990.

This great honor of becoming a member of the Pontifical Academy of Sciences comes in a context — this Plenary Session of the Academy on science and culture — which is of special satisfaction to me, a theologian and physicist who has focused, for the past thirty years, on the history and philosophy of physics. Physics, the most exact form of all sciences, becomes part of human culture not only through its discoveries — theoretical and technological — but all too often, and even more so, through the philosophy in terms of which physics is evaluated and in terms of its historical development.

My first 23 years were spent in my native country, Hungary. From 1947 until the end of 1950 I was in Rome, where I received my doctorate in theology at the Pontifical Institute of San Anselmo. Since December 1950 I have resided in the U.S.A. My doctoral work in physics was done at Fordham University, New York, under the mentorship of the late Victor F. Hess, Nobel-laureate discoverer of the cosmic rays and a member of this Academy from 1955 on. My first book on the history and philosophy of physics, *The Relevance of Physics* (University of Chicago Press) was published in 1966. Since then more than 20 of my 30 books published so far have dealt with the history and philosophy of physics, astronomy and cosmology.

In all that research my guiding light has been Pierre Duhem, easily the greatest among French geniuses around 1900, a genius in theoretical dynamics, in the analysis of physical theories and in discovering an unsuspected continent (medieval physics) of the history of science. The example set by his life has been a source of inspiration. Pierre Duhem's great discovery, now almost a century old, about the medieval and Christian theological origins of Newton's first law, the law of inertial motion, is still to become part of academic consciousness. The reason for this inertia is a basic feature not only of the physical but also of the intellectual world.



The history of 18th-century cosmology is still given in hallowed though worthless terms, although a major review in *Scientia* (Milano) stated that in view of the evidence offered in the Introduction and Notes to my translation (1978) into English of Lambert's *Cosmologische Briefe* (1761) the history of cosmology in the 18th century should be entirely rewritten.

However, I feel confident that facts will ultimately prevail. One source of that confidence is the great number of invitations to speak at leading universities in the U.S.A., Europe and Australia. Among those invitations is the one that took me to the University of Edinburgh to deliver the Gifford lectures in 1975 and 1976, *the Road of Science and the Ways to God* (University of Chicago Press 1978, 3rd Ed. 1987, Italian translation 1987, Spanish and Hungarian translations in preparation) and to Balliol College, Oxford, to deliver the Fremantle lectures in 1977, *The Origin of Science and the Science of its Origin* (Scottish Academic Press, 1979). Another source of my confidence is the recognition represented by the Lecomte du Nouy Prize for 1970 for my book, *Brain, Mind and Computers* (1969, 3rd Ed. 1989) and by the *Templeton Prize* for 1987 for my contribution to a better understanding of the relation of science and religion. The decision of the Holy Father to make me an Honorary Member of this illustrious Academy surpasses all my expectations as far as one can reasonably hope for the appreciation of one's work in support of a healthy and constructive image of science in the context of human culture, which, if it is culture, has to include that cult which is also known as religion.

PAUL A. J. JANSSEN

Born 12 September 1926. Nominated 25 June 1990.

I find this task of self-presentation both difficult and humbling. No doubt, at least in part, that was as matters were intended to be.

I can in one sense describe myself simply and accurately: I am President and Director of Research at the Janssen Research Foundation, an organization which I, and a very few devoted colleagues, set up with at first very modest facilities, in northern Belgium, in 1953. Our purpose was to synthesize and develop new and, we hoped, better therapeutic drugs.

From my childhood I was well aware of the deficiencies of medical pharmacotherapy as it existed half a century ago. I could see vividly the problems which faced my father, who was a local general practitioner. This audience will not require too much reminding that then the antibiotic era was only just beginning. Women still died in childbirth from puerperal sepsis. Infant mortality was high. For those who survived infancy there were the threats of rheumatic fever, diphtheria, poliomyelitis, and, particularly, tuberculosis. Psychiatric care was often crude and primitive. We had scarcely begun to consider the treatment of cardiovascular problems such as high blood pressure and coronary artery disease.

I could of course foresee then that there would shortly be rapid, and exciting, expansion in medicinal chemistry. It was also apparent that existing pharmaceutical companies in those days had often originated as by-products of large industrial chemical complexes. This was not the kind of research centre I had in mind. I wished to set up a laboratory directed exclusively to the synthesis and development of therapeutic drugs.

With the support of my family and a few close colleagues, our research centre was founded in 1953, has since expanded progressively, and has, I trust, not deviated too much from our early ideals.

For us it has been gratifying to note that often the pharmaceutical divisions of large chemical complexes have, over the years, tended towards greater independence from their parent company, and have frequently approached more closely our own model.

It is also a remarkable and sobering observation that in the last few decades, nearly all major discoveries in the field of medicinal chemistry have been made within private pharmaceutical companies.

We have consistently attempted to build research around the scientists with whom we work, rather than to allow the reverse to happen. What is not done is to employ or manage people as a function of a pre-established organization chart. We try to give good workers the scope to do what they do best, and set for them realistic goals.

This has various implications. We have a very limited hierarchical structure. We respect the right of all individuals, including technicians, to take initiatives and to make proposals.

We have always been ready to take notice of unexpected observations, whether these emerge during the routine pharmacological screening of new compounds, in the course of basic physiological experiments, or later during clinical trials in patients. Such unexpected findings are always explored and developed if they suggest potential therapeutic benefit or improved understanding of a mechanism of drug action.

We prefer to make rapid decisions, even if sometimes they may be wrong, rather than to procrastinate and thus achieve nothing. We also do *not* allow our research orientation to be much influenced by such activities as market analyses, or the fashions in other companies or indeed universities.

We, in our research centre in Belgium can reflect with some modest pride on the introduction of agents which have made contributions to the relief of pain; in anaesthesiology, in psychiatry, in the treatment of cancer, of worm and fungal infestations, and in several aspects of cardiology and gastroenterology.

One of our most recent and demanding research ventures is into the development of drugs which we hope can act directly

---

against the AIDS virus. The AIDS epidemic is one of the problems we did not foresee in 1953.

It has been my privilege to have worked in close harmony with a variety of skilled and dedicated chemists, biologists, and clinicians, whose collaboration and support I gratefully acknowledge.

This nomination to the Pontifical Academy of Sciences is for me a great honour. I take it to be not simply a recognition of whatever successes our research foundation may have achieved in the past. Rather it is an earnest of high, but realistic, ambitions for still much needed future contributions. I thank you.

## JACQUES-LOUIS LIONS

Born 2 May 1928. Nominated 4 October 1990

A system is said to be *distributed* when it is possible (or when one hopes it will be possible) to *model* the behaviour of the system by a set of *partial differential equations* (P.D.E.). One of the most classical examples consists in the set of Navier Stokes equations, modelling the flow of perfect incompressible flows. Another classical example is the set of Maxwell equations.

A situation where one *hopes* to obtain adequate models consisting of sets of P.D.E.'s, concerns the "planet earth system".

The study of such systems comprises several steps.

### Step 1.

Obtain the model, or a model.

### Step 2.

Mathematical Analysis of the model.

In short: does the model under study "make sense" from the mathematical view point?

### Step 3.

Validation of the model.

This step assumes of course a positive answer in Step 2. Validation consists in comparing *numbers* coming out of the numerical treatment of the model with *data* obtained from experiments.

This step is therefore possible only if

a) one *can* obtain numerical results from the system, which in general supposes that one has access to a computer;

b) one has access to data obtained from experiments or from observations under conditions which are "close" to those we expect in the "real" situation (Example: computed planes compared against experiments in wind tunnels).

One sees how very difficult this step 3 is for the Planet Earth System and the Global Change program.

## Step 4.

Action on the system.

This is the "control theoretical" part of the program: how to act on the system using the model and the numerical results deduced from it.

To this brief description one should add the question of *missing information*: in very many situations one has *some* information on the initial data or on the boundary conditions, but only *part* of it. More information will come as the process keeps going. This leads to new problems, in particular on the framework of Planet Earth System.

One should also add the *stochastic* aspects of these questions. I have tried, and I still try, in cooperation with a large group, to bring some contributions to these questions.

Theoretical aspects are developed in my lectures at the College de France (and in my books corresponding to these lectures).

Practical applications were mainly developed at INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et Automatique), at CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) and also in cooperation with EDF (Electricité de France) and CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique).

JAMES R. McCONNELL

Born 25 February 1915. Nominated 25 June 1990.

My studies at University College Dublin, and at the Regia Università di Roma were chiefly mathematical with a bias towards mathematical physics. On returning to Ireland in January 1942 I found that the Dublin Institute for Advanced Studies had been established just one year previously, that it included a School of Theoretical Physics with Erwin Schrödinger as its director, and that Walter Heitler had recently joined it. My research effort for a number of years was to be greatly influenced by Schrödinger and by Heitler.

At this period Schrödinger was very interested in the non linear electromagnetic theory of Gustav Mie, who described the field *in vacuo* by an electric displacement vector which is not just a constant times the electric intensity, and a magnetic induction which is not just a constant times the magnetic intensity, as it is in Maxwell's theory. During the 1930's Born, Infeld and Schrödinger published papers on this nonlinear theory. A consequence of the nonlinearity was that two electromagnetic rays would scatter each other.

Schrödinger had shown that the nonlinearity would give to Planck's law for black-body radiation a correction of only 1 per cent at a temperature of  $4 \times 10^{10}$ K. He suggested that I examine the mutual scattering of electromagnetic rays by employing the formalism of quantum field theory. It was found that the mutual scattering effect was too small to be observed then (1943). In fact the possibility of detecting the mutual scattering of light rays has been raised quite recently by V.J. Ding and A.E. Kaplan (Phys. Rev. Lett 63, 2725, 1989). However some doubt about the validity of their calculations has been expressed by G.W. Ford and D.G. Steele (unpublished).

In 1942 Schrödinger gave a set of seminar lectures on general relativity which led him into the quest of finding a unitary field theory that would provide a set of equations describing both electromagnetic and gravitational phenomena.

Having found such a set of equations he asked me to look into its implications for the possible magnetic field of a planet. Since on account of World War II no calculators were available, I found myself using logarithmic tables to seven decimal places.

In the limiting case where gravitational forces are neglected *Schrödinger's unitary theory led not to Maxwell's equations but to the Proca equations*

$$\underline{H} = \text{curl } \underline{A}, \quad \underline{E} = -\underline{A}' - \text{grad } V$$

$$\text{curl } \underline{H} - \underline{E}' = -\mu^2 \underline{A}, \quad \text{div } \underline{E} = -\mu^2 V,$$

which give a finite mass of the photon. From the observed accuracy of the law of Gauss for the earth's magnetic field it was inferred the Compton wave length associated with the finite mass of the photon should be greater than 15,000km. I understand that data from the Voyager fly-past of Jupiter in 1979 reduced the figure 15,000km by several orders of magnitude, and so there is now disagreement with the Schrödinger theory.

During this period Heitler, who already in 1936 had published the first edition of his masterly book on the quantum theory of radiation, became very interested in the particle having a mass of about 200 electron masses. This particle, then called the meson, had been found by Kunze in cosmic radiation. At this time cosmic rays were the only source of high-energy elementary particles. It was presumed that the cosmic ray meson was the carrier of nuclear forces proposed by Yukawa and that it was analogous to the photon which is the carrier of electromagnetic forces. Actually we now know that the cosmic ray meson is not the carrier of nuclear forces.

Heitler working in collaboration with two research scholars J. Hamilton and H.W. Peng devoted himself to the study of the production of mesons by proton-proton, proton-neutron and neutron-neutron collisions and this group of researchers applied their results to the production of cosmic ray mesons. Since the proton, like the electron, has spin 1/2, they employed Dirac's equation for the proton. I raised the objection that this procedure



implied that just as the electron has an antiparticle — the positron — so also the proton should have an antiparticle, then called the negative proton and now called the antiproton. No such particle had then been detected and Heitler suggested that I should try to find out why this was the case. His suggestion gave rise to a sequence of papers spanning the period 1945 (that is, 10 years before the experimental discovery) until 1963. During the period 1949-1952 I also made some calculations related to the self-energy and self-charge of elementary particles.

The success in the 1960's of the application of Lie algebras to the classification of elementary particles led me to turn my attention to weight diagrams and Young tableaux. From this I went into a study of Schur functions and in particular into investigating difficulties that may arise in the multiplication of Schur functions.

After a few years dealing with pure mathematics I found myself anxious to return to physics. Many of the subsequent investigations were based on stochastic differential equations. Indeed the stochastic rotation operator played a central role in the discussion of certain relaxation processes. Let us first take the case of dielectric relaxation. We consider a rigid polar molecule with no special symmetry that is being tossed around in a nonpolar liquid environment and we denote by  $R(t)$  the operator related to the rotation of the molecule from its initial to its final orientation. Then  $R(t)$  satisfies an equation

$$\frac{dR(t)}{dt} = -1 (\underline{J} \cdot \underline{\omega}(t)) R(t),$$

where  $\underline{J}$  is an infinitesimal generator of rotation and  $\underline{\omega}(t)$  is the angular velocity of the molecule. The complex permittivity may be obtained from the ensemble average  $\langle R(t) \rangle$  and this is found from the above equation and the value of  $\langle \omega_i(t) \omega_j(s) \rangle$ . To express the results in a convenient form it was found helpful to employ a mathematical method due originally to Krylov and Bogoliubov.

It will be known to some of the audience that Debye solved the dielectric relaxation problem for a spherical molecule by neglecting the inertial effects of the molecule. However this led to an absorption curve  $a(\omega) \propto \omega^{-2}$  which had a horizontal plateau for high frequencies. This is at variance with experimental findings. By including inertial effects and applying Langevin theory Scaife, Ford, Lewis and I got rid of the Debye plateau. However the theoretical absorption curve is far below the experimental curve which shows Poley absorption. In order to explain this discrepancy Professor A.I. Burshtein of Novosibirsk and I have recently been working on a model for far infrared absorption based on Mori theory and the supposition that molecular collisions are not instantaneous. So far the comparison with experiment is encouraging but we are still pursuing our investigations.

The rotation operator technique has also been applied to nuclear magnetic relaxation in liquids. This has been studied for various relaxation mechanisms, namely, dipolar interaction, quadrupolar interactions, anisotropic chemical shift, spin-rotational interaction, and also for various molecular shapes, namely, the sphere, linear rotator, circular plate, symmetric rotator, asymmetric rotator. It is found *inter alia* that for nuclear magnetic relaxation processes inertial effects are negligible for the present state of experimental accuracy.

## CARLO PIETRANGELI

Born 20 October 1912. Nominated 5 October 1989.

I was born in 1912 and graduated from the University of Rome in 1934. After collaborating in the preparation of the exhibition on Augustan Rome from 1933 to 1937, I began to work for the Fine Arts Administration of the City of Rome in the Antiquities Section in 1938, and I concluded my career in the Fine Arts Administration as Superintendent of Museums, Galleries, Monuments and Excavations from the years 1973 to 1976.

In addition to collaborating in the establishment of several of Rome's museums, and in the renewal of various museum departments, I have directed the restoration of monuments and buildings in Rome, and have organized a number of exhibitions.

Moreover, from 1955 until retirement in 1976, I lectured on ancient Roman topography at the University of Rome. Two years later, during his brief reign in 1978, Pope John Paul I called upon me to assume the Directorship of the Pontifical Monuments, Museums and Galleries. In the ensuing years I have been responsible for creating new sections, renovating others, and enlarging existing collections in the Vatican Museums. The most well known of the restorations initiated during my years at the Vatican Museums is of course the cleaning of Michelangelo's frescoes in the Sistine Chapel. Not only have a number of major exhibitions been set up in the Charlemagne Wing off Saint Peter's Square but, for the first time in its history, the museum has sent out some of its works for exhibition abroad.

My published works comprise over 300 titles in ancient, medieval and modern history of art, topography, iconography and epigraphy. Currently, I also direct two series of publications: one on the churches of Rome, and one on the districts, or rione, of Rome.

In addition to several distinctions awarded to me, I am a member of a number of Italian and foreign academies, institutes

and societies, including the Pontifical Roman Academy of Archeology, of which I was President for eight years.

I am most grateful to have been designated as an Honorary Member of this illustrious Academy.

## CHINTAMANI N. R. RAO

Born 30 June 1934. Nominated 25 June 1990.

I feel highly honoured by my nomination as Pontifical Academician by the Holy Pontiff. I consider this to be a significant event in my life.

After my early education and undergraduate studies in Bangalore and Banaras in India, I pursued post-graduate studies in the U.S. at Purdue and later at Berkeley as a post-doctoral research associate. My first research interests in physical chemistry were in spectroscopy and molecular structure. I wrote the first book on ultraviolet and visible spectroscopy for chemists three decades ago, which was soon followed by a book on chemical applications of infrared spectroscopy. My early work also included molecular interactions, especially hydrogen bonding. I still work on chemical spectroscopy and molecular structure, although I now employ photoelectron spectroscopy, electron energy-loss spectroscopy and related techniques to a greater extent. I also employ photoemission techniques to investigate surface phenomena. My interests in surfaces extend to the study of the structure and behaviour of solid catalysts, and I use extended X-ray absorption fine structure and *in-situ* X-ray diffraction for the investigations.

Around 25 years ago, I felt that the study of the chemistry of solids is of great importance, being of much relevance to the development of materials. I have contributed to synthesis, new techniques of characterization, phase transitions, computer simulation and other aspects of solid state chemistry. It is indeed gratifying that in recent years, solid state chemistry is getting to be recognized to be a part of main-stream chemistry. In the last few years, I have been heavily involved in the study of hightemperature superconductors. The now-famous copper oxide superconductors belong to a family of layered oxide materials which I have been investigating for many years.

Although research occupies most of my time, I have been intensely interested in science education (especially chemistry)

in India and the world at large. I have also been an active participant in international programmes in chemistry. I was the President of the International Union of Pure and Applied Chemistry and am now Vice-President of the International Organization of Chemistry for Development. I am a Founding Member of the Third World Academy of Sciences and am helping in the establishment of an International Centre for Chemistry at Trieste (as Chairman of the Steering Committee).

In the last few years, I have been closely associated with the planning of science and technology in India. This has made me highly conscious of the stark realities of the developing countries and the increasing gap between the developing countries and the advanced countries. The developing countries have to answer not only the immediate needs of the common man such as food, shelter and clothing, but also to catch up (even if partly) with the developments in science and technology. I believe that the Pontifical Academy has much to contribute in this direction and also in promoting efforts to enable humanity to live in peace with dignity.

Once again, may I express my gratitude for having been chosen to be a member of this distinguished Academy.

MARTIN J. REES

Born 23 June 1942. Nominated 25 June 1990.

I should like first to express gratitude for the honour of election to this Academy, and the implied recognition of my subject - astrophysics and cosmology.

The last 25 years have been a unique period of cosmic discovery. Not only has our Solar System been explored with spaceprobes, but X-ray, radio and infrared techniques have been developed to complement what is learnt from optical telescopes. There have been many surprises - the cosmic scene is more complex than most astronomers imagined.

It was my good fortune to start my research career in the 1960's, when new results began to come thick and fast, and theorists were being challenged to interpret them. The observers and experimenters are the real heroes of these endeavours. Theorists like myself have explained rather little, and predicted still less.

We can observe objects so far away that their light has taken several billion years on its journey towards us. But our present map of the cosmos is an incomplete and tentative one. Early cosmographers, when they mapped the Earth, populated the boundaries of the then-known world with mythical beasts. We, likewise, have discussed remote wonders in the heavens, and cannot be sure that our theories are adequate to describe them.

My own style of research is phenomenological, and closely linked to the data, rather than being highly mathematical; it lies at the interface between physics and astronomy. Exotic cosmic phenomena - quasars, black holes and the big bang - involve more extreme physics than ordinary stars. Astronomical observations can test or extend the established physical laws, and perhaps even reveal new ones.

It isn't surprising, in a changing subject with such ambitious scope, that we are still groping for understanding. On the contrary, what's really astonishing is that *any* progress is possible. Professor Heller has already alluded to Einstein's famous

remark that "the most incomprehensible thing about the Universe is that it is comprehensible". It is indeed remarkable that any of the laws established in the laboratory - laws that our minds are somehow attuned to understand - should govern the atoms in a remote quasar, or in the big bang itself. There is indeed a deep interdependence between the microworld of subnuclear particles and the cosmos as a whole (as we shall hear from Professor Weisskopf later today).

A subject so seemingly remote from practical concerns would - to me, at least - be less appealing if interest didn't percolate beyond the specialists. But the essential issues *are* accessible, even if the technicalities are not. A broad public participates vicariously in our exploration of the cosmos. The origin and fate of the Universe, and our place in it, fascinate all those of philosophical disposition. I have tried, throughout my career, to devote some effort to spreading understanding of the subject to specialists in the other fields, and to the general public.

Astrophysics teaches us to see the cosmos as a unity. Each carbon and oxygen atom in our bodies was forged in some ancient star which exploded, somewhere in the Milky Way, before our Solar System formed. The physical laws that govern our everyday world, and the lives of the stars, were "imprinted" in the initial instants of the big bang.

Most of my research career has been based in Cambridge, where I have benefited from collaboration with many colleagues and students. I am now Director of the Institute of Astronomy, whose members comprise a lively group of theorists and observers, including many from different parts of the world. I have, moreover, had the opportunity to travel widely, through visiting professorships, conferences, and participation in international bodies. These travels have brought me into contact with many distinguished practitioners of astronomy, physics and other subjects. Some of those I most admire belong to this Academy. It is a privilege to be admitted to their number, and to have the opportunity to participate in the meetings of this unique interdisciplinary organization.



# SCIENCE IN THE CONTEXT OF HUMAN CULTURE



---

INTRODUCTORY REMARKS ON THE THEME  
OF THE PLENARY SESSION

G.B. Marini-Bettòlo

Science represents today a fundamental part of culture, and as scientists we must be aware of its significance and implications for our present knowledge.

The scientist, always polarized in the pursuit of his research, seldom stops to ponder over the significance of his results and of the values he pursues. At the present time, as a consequence of the extraordinary possibilities offered by science and its impact on society, reflection becomes a duty.

If we define culture as the integral of the main values of peoples, i.e., of tradition, history, language, religion, moral principles, laws, habits, behaviour and knowledge, there is no doubt that science represents a fundamental part of it.

Science in effect is knowledge: search for the truth, interpretation of natural phenomena and laws of the universe, logic and speculation, such as mathematics, methods in research, applications to fulfill man's needs. Science, through the multiplier of technology, which in recent years has become more and more scientific technology, has given an enormous power to man.

Thus, science now acts on culture at two different levels: first, on the thinking, the spiritual and humanistic level; and second, on the behaviour of peoples through its most important applications such as information systems, robotics, automation, telecommunications, mass media, transportation, new sources of energy, clonal antibodies, health, etc.

Here I would like to quote the words of John Paul II

*«I have already had the opportunity to tell you how highly the Church esteems pure science: it is "a goodworthy of being loved, for it is knowledge and therefore perfection of man in his intelligence... It must be honoured for its own sake, as an integral part of culture" (Address to the Pontifical Academy of Sciences, 10 November 1979)»*

(Discourse of Pope John Paul II given on October 3rd 1981 to the participants of the Study week dedicated to "Cosmology and Fundamental Physics").

The objective of our session is to analyze the positive and negative effects of science on contemporary culture.

We have to recognize that at present there is a gap between scientific knowledge and humanistic culture which is widening every day.

Even now, when in the *big village* the cultures of different countries come closer, in a global approach to common problems, there are still difficulties for a better understanding between scientific pragmatism and the spirituality of the humanities.

The causes of the gap may be attributed to the differences between the rate of scientific development and the human capacity for accepting and including this developments smoothly and orderly in its cultural frame.

Fundamental research in science gives rise continuously to new results and data. I would like to quote among the recent advances, as examples, recombinant DNA and the new evidence from the observation of the universe. These advances may modify and even upset our present outlook (or *Weltanschauung*) on life and the cosmos. Who are we? Where are we going? These are the fundamental questions that scientists and philosophers should answer.

These aspects of science certainly represent, in the context of our culture, the most significant and highest expression of the human mind that could be identified with the culture of *being*. It contributes to human *knowledge*, and through human values to *wisdom*. Nevertheless, we have to keep in mind that knowledge is in continuous evolution and it represents the most recent step of man at the present moment in our search for truth.

Applied research in science also deeply affects culture through its technologies oriented to cope with the needs of man: material progress, welfare and the quality of life, and even the instruments of power and destruction such as weapons. This attitude in the use of science can be defined as the culture of *having*. This was anticipated by Sir Francis Bacon in the XVII

---

century, with his aphorism *Scientia est potentia* (Science is power).

In this context it is important, therefore, to recall scientists to their responsibilities for the misuse of scientific results and technical advances, which should instead be applied only to the benefit of mankind.

Thus the activity of the scientists should always be inspired by the fundamental principles of his conscience, in order that the advances of scientific knowledge be directed, through the values of human culture, only to the common and indivisible enhancement and good of all the peoples of the world.

This will be possible if science is humanized by spiritual values and ethical principles in the melting pot of our culture.

INTRODUCTION  
TO THE THEME OF THE PLENARY SESSION  
"SCIENCE IN THE CONTEXT OF MODERN CULTURE"

CARLOS CHAGAS  
Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho,  
Rio de Janeiro

Mr President, my colleagues, Ladies and Gentlemen, lives permeated by faith, adoration of God, interests of man for his life, for his environment, and its use for his own benefit, have developed from the earliest days of his existence. Thus, lines of intellectual action establish themselves quite naturally into the human perspective. One led to the study of revelation and its implication, and with it envisaged the rôle of man in the world. Another preoccupied itself with the movements of the mind, giving rise to philosophical thought. Another one, used the most imaginative power of men and women to create the worldwide spectrum of arts. Still another one became interested in the laws which govern nature.

The first lines gave rise to what is now called "culture", in the classical, traditional way. The last one brought to light science and technology. However, all these lines had a common interest: the upgrading of man's life, the understanding of his position in the world or the improvement of his material life, and the interpretation of the universe.

Let us state, here at the beginning, that the idea of culture has changed in our century from the concept that comprehends only intellectual activities, arts, philosophy, education, linguistic, etc., to a more encompassing one which closely represents the whole of human activities. Probably this is due to the study of ancient culture. Anthropologists, ethnologists recognised the existence of a certain grade of homogeneity in each of the primitive peoples, making one different from the other and recognizable per se.

It was, however, Edward Tyler who, in the middle of the last century, in studying the primitive societies first defined culture as a complex block which is integrated by knowledge, belief, art, morals, law, customs, and any other capabilities acquired by man as a member of society. Culture is everything that man uses to develop and define the many capabilities of his body and of his mind. Thus the concept of anthropological culture was established.

This definition of the Catholic Church was a big leap forward as a result of documents published during the reigns of Popes Pius XI, Pius XII and John XXIII. A new definition of culture, extending the one proposed by Tyler, appears in "Gaudium et Spes" and I quote: "In the broad sense of the world, 'culture' means everything which man uses to develop and refine the many capabilities of his body and his mind, or by his tools and his knowledge, brings Nature and the Universe to serve his ends, or through steps forward taken in customs and institutions, makes his community life, both in his family and in his group, a human life, or express, communicate and preserve in the course of his time his greatest spiritual experiences and his higher aspirations so that they can better the life of many people and even of all mankind.

This is why human culture necessarily has an historical and social aspect, and why the word culture often is given a sociological and ethnological meaning. This meaning led to the expression "plurality of cultures", for different styles of living and different scales of values come from the particular ways which human groupings have of using things, of working, of expressing themselves, or of participating in religion, or behaving, making rules and laws and setting up juridical institutions, of developing the arts and sciences, of cultivating beauty. This is the way that, starting from inherited usages and customs, a patrimony is formed which is peculiar to every human condition". The translation from *Gaudium et Spes* was done by Father Vicariat from the Secretariat for Culture.

After Vatican II, the definition of culture as the summation of all societal action has been accepted by a great number of sociologists and international organizations, appearing in their

documents as, for instance, in the one produced in the UNESCO Meeting on Cultural Policies, held in Mexico in 1982. However, it is still hardly accepted in a general way. What the definition of anthropological culture means is that culture is the sum of uses and customs of the people of any nation. And it is this culture that gives a nation its identity.

Let us not forget that sociologically what differentiates the human species more from the others is the capacity to create culture, which is transmitted socially, even if some behaviourists admit that some of the animal activities have an undeniable component of genetic information. We also have to admit that it is by his inculturation that man improves his capacity to apprehend and to create new symbols which are the tools for the increasing of knowledge.

I would like to repeat, in order to emphasize their importance, some points already marked or outlined before. The first one is that it is the anthropological culture that establishes the identity or the image of a nation. The second is that there is in the world a plurality of cultures, and from this it can be inferred that peace can only be achieved by the dialogue of cultures. We should also recognize the existence of regional cultures that can create some times troublesome problems for the progress of some nations.

Many times, the anthropological culture has been equated to civilization. Let us ponder this point. In modern times, civilization is confused with industrial development and also with the accumulation of goods. It is the society of having. Culture is, on the contrary, the society of the being. Culture and civilization should not be confused.

It is important to state, however, again, that culture exists in the most primitive countries and human groups, and it is the duty of their people to protect it. We cannot forget the cry of despair given by Nyrere, the eminent leader of Tanzania who said, and I quote: "Of all crimes of colonialism, there is none worse than the attempt to make us believe we have no indigenous culture of our own, or that what we did have was worthless, something of which we should be ashamed, instead of a source of pride".



One of the best niches that science has found in anthropological culture and that emphasizes the new definition of culture is the study of ecology, which is a mixture of natural sciences and human sciences.

Let us now consider in a very similar way the evolution of science. Science has been for a long time embodied by classical culture, dwelling in the realm of philosophy from which it gradually emerged. It is difficult, but one may say that the transition of phase begins when, at the end of the Renaissance, its selfhood was established, and societies gradually became aware of the importance of science for society's endeavours, and reaches its peak with the great scientific achievements of the end of last century and of the present one. Science should, however, live outside the domain of other human intellectual interests. Let us praise the modern trend which exists mostly among the physicists, in which we see science and philosophy approaching each other.

One must observe that nowadays the progress of science has been in a certain way replaced by the use of science to produce technology of economic interest.

The justifiable way in which societies initiated their recognition of science and technology has begun by a greater attention to their Academies of Science followed, just after World War I, by the organization of research councils. The first examples of the establishment of research councils were those in Great Britain under the influence of Lord Haldane, many of which tried mostly in a general way to overcome a certain inertia which governments saw existed in the universities, the preferential side for the development of science, and also a certain inertia in people's scientific activities.

Gradually, either through government meetings or the association of scientists from many countries, programmes of great amplitude were established and big science was created. At the same time, it became clear for many people in the scientific community that the transdisciplinary programmes must be upheld. In our times, science and technology look forward to improve the quality of life, to understand the human self, to know more and more about the Universe, to identify the primary

mechanisms which make life possible and to understand our environment, the climate and so on.

Science and technology, however, must be aware of what is going on in other domains of knowledge. Most unhappily, science is also used in the effort to produce better war engines. A substantial part of man's intelligence is being used to increase war weaponry, creating a constant watchfulness by all men of goodwill. Against the war efforts some of the more outstanding scientists of the world have rebelled. Many scientists, however, do not hear them and, involved by incomprehensible aims or by social conditions, forget that science and technology are valid only when utilized for the benefit of man, for an improvement of his human condition and for the increasing of knowledge which may make him understand the meaning of his life.

In relation to that traditional part of culture, governments were slow in trying to dominate it. Ministries and Secretariats were created for the first time, in an official way at a later stage. The objective of an official agency for culture should only be the protection of the cultural agent, but the organization of Ministries or similar agencies, notwithstanding their possible usefulness, presents danger which should be pointed out. These official organizations are frequently used, if not always, for doctrinary or political propaganda and to subsidize groups connected to powerful political parties, and thus they can impair creativity which is the indispensable part of cultural development.

The organization of official patronage for science, indispensable, is a very difficult situation to avoid. It is not exempt of the faults just pointed out for government cultural agencies. However, their benefits overcome to an immense degree their disadvantages.

If we accept the anthropological definition of culture, it is clear that science and technology are part of the cultural identity of a country and, as said before, define its image. We should not forget, however, the fact that there still exists in many places a gap between culture, classically defined, and science, the two cultures which were so aptly described by C.P. Snow.

Let us discuss now the development of science and technology, in a very brief way, in less developed countries. It is easy to distinguish between them. These countries were those that were colonized by nations in which science was already a part of the culture, and, on the contrary; other countries, which after decolonization had to begin from nought their scientific journey. I am speaking particularly of Brazil. For these countries, many times it became rather difficult to insert science into the culture which already pre-existed. This insertion was to be done very carefully, in order to avoid any predator effect on the primitive culture of the country. The problem is still more acute if we look to the means, many times mixed with abuses, which we find in the development of industrial parks and energy plants in developing countries and the emergence of technological colonialism.

Let me proclaim that what humanity needs is scientific humanism in which the advantage of knowledge, blended with the benefits of science and technology, are taken to the people. The benefits of science and technology must be used under the guidance of wisdom and in perfect harmony with the tradition and historical background of the people. This need is still more strongly felt in the developing countries. The scientific humanism which we will earn must be impregnated with a sense of responsibility towards society, peace and the ones we love, and must be supported by spiritual values which are the base of hope and the assurance that life is at God's will. Thank you.

PART I

THE INFLUENCE OF THE MOST RECENT DEVELOPMENTS  
IN PHYSICS, COSMOLOGY AND BIOLOGY  
ON THE "BASIC CONCEPTS" OF HUMAN THOUGHT  
AND ON HUMAN BEHAVIOUR

# CAUSALITÉ ET FINALITÉ DANS UN MONDE MARQUÉ PAR LA SCIENCE

PAUL GERMAIN

Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences  
Paris

L'analyse des interactions entre d'une part les sciences prises dans leur acception la plus stricte - sciences mathématiques, physiques, biologiques - et d'autre part les autres secteurs si variés de la culture de l'homme, conduit à des interprétations assez différentes selon la réponse donnée à ce que l'on peut appeler le *préalable épistémologique*. On peut souhaiter mettre en évidence *l'unité de la pensée* en même temps que la *continuité entre les savoirs* et les conduites qu'ils inspirent. Ce fut sans aucun doute l'attitude dominante durant les deux derniers siècles et vraisemblablement celle qui prévaut encore aujourd'hui. On peut aussi avoir le souci de caractériser *la spécificité des connaissances scientifiques*. La formulation de ces connaissances, c'est-à-dire l'énoncé et la justification des résultats, constitue un discours objectif dépourvu notamment de toute considération et de toute visée politique, sociale, philosophique, morale ou religieuse. Ainsi apparaît *l'identité de ces sciences*, celles de nos facultés des sciences et de nos académies des sciences, celles que nous pratiquons, qui font l'objet de nos recherches, des colloques dans lesquels nous exposons nos résultats, des publications qui en gardent la mémoire écrite, celles que nous enseignons. Elles définissent le *monde de l'entendement*, un monde "où l'on s'entend", où toute question qui rentre dans son domaine de pertinence reçoit de tous une même réponse; un monde ouvert à tous ceux qui souhaitent y pénétrer sans condition autre que le respect de règles universellement reconnues comme celles de l'évidence rationnelle et des résultats des expériences scientifiquement conduites.

Cette deuxième attitude qui marque une coupure épistémologique dans les savoirs a l'avantage d'éviter les déviations

scientistes ou anti-scientistes auxquelles peut donner lieu la première et de dégager en *dehors du monde de l'entendement* de vastes espaces ouverts à la *liberté* et à la *responsabilité*. Mais elle semble reconnaître à première vue les influences considérables du mouvement des sciences que nous constatons depuis des décennies sur les champs de l'activité culturelle et sociale, ou tout au moins incapable d'en rendre compte. L'objet de cette communication est de montrer qu'il n'en est rien sur quelques exemples illustrant le thème de la causalité et de la finalité.

L'occasion m'en est donnée par la publication d'un ouvrage ayant pour titre "*De la causalité à la finalité*" qui rassemble cinq contributions de membres de l'Institut de France appartenant à trois de ses académies, dont l'Académie des Sciences en particulier<sup>1</sup>. L'idée majeure me paraît pouvoir être résumée comme suit: certaines disciplines scientifiques mettent en évidence des séries causales qui paraissent converger vers un but, comme si ces séries semblaient répondre à un plan fixé à l'avance. Ainsi des évolutions régies par la causalité se révèlent relever d'une finalité qui en fournit la signification profonde. Cette *continuité de la causalité à la finalité* est caractéristique de la première réponse donnée au préalable épistémologique. Mais pour qui entend respecter strictement l'identité des connaissances scientifiques en refusant une telle continuité, quel peut être alors le statut des relations entre causalité et finalité?

Telle est la question qui fait l'objet du présent exposé dont l'argument peut être résumé comme suit: dans le *monde complémentaire du monde de l'entendement* au sein du champ des cultures, certaines données ou certains principes agissant autrefois sous le mode de la causalité ont perdu aujourd'hui leur évidence ou leur pertinence en raison de l'exigence accrue de rationalité requise pour les démarches de la pensée dans les sciences. Ils ne peuvent continuer à jouer leur rôle dans la vie intellectuelle et spirituelle que s'ils sont désormais perçus sous le mode

---

<sup>1</sup> Alexandre Favre, Henri et Jean Guitton, André Lichnérowicz, Etienne Woff: *De la causalité à la finalité*. Editions Maloine, Paris 1988..

de la finalité. *Au lieu d'un passage continu de la causalité à la finalité, on assiste à un renversement complet sinon dans le temps, du moins dans le cheminement de la pensée.* Cette thèse est illustrée par trois exemples. Le premier porte sur la signification des droits de l'homme aujourd'hui, le second sur les fondements de l'éthique, le troisième sur une lecture possible des premiers chapitres du livre de la Genèse.

\* \* \*

La conception des *Droits de l'Homme est récente* ; elle date d'un peu plus de deux siècles. L'histoire de sa formulation est bien connue et dépourvue d'ambiguïté. L'idée s'est imposée aux *Lumières* à la convergence de trois constats. En premier lieu, la rupture produite par la réforme et les luttes religieuses : écartelée entre plusieurs églises rivales, la religion chrétienne n'apparaissait plus qualifiée pour dire de façon indiscutable et universelle le fondement de l'homme, de ses droits et de ses devoirs. En second lieu la prise de conscience d'autres civilisations reposant sur d'autres conceptions religieuses venait conforter le sentiment qu'il fallait chercher au delà ou en dehors de la religion la parole qui permettrait à l'homme de mieux se comprendre et d'assurer son avenir. Enfin les sciences qui ouvraient des perspectives toutes nouvelles et si prometteuses apportaient la preuve de ce qu'elles avaient gagné à secouer autorité et tradition et à ne s'appuyer que sur la raison. Pourquoi ne pas poursuivre et généraliser ce mouvement si fécond en cherchant à en appliquer les principes non plus aux choses de la nature mais à l'homme lui même?

Aujourd'hui l'idéal des droits de l'homme est au moins aussi vif qu'il y a deux siècles dans les sociétés démocratiques occidentales. L'Eglise catholique, depuis le pontificat de Jean-Paul II semble bien avoir tourné la page de ses oppositions historiques et les pays d'obédience marxiste qui, hier encore, y voyaient l'expression d'une idéologie bourgeoise se proposent d'en faire désormais le fondement de leur vie politique. Aucun pays ne semble vouloir, en paroles tout au moins, s'opposer à cet idéal des droits de l'homme qui apparaissent donc, plus que

jamais, comme l'un des plus solides fondements de la modernité.

Mais sur quoi repose aujourd'hui l'affirmation des droits de l'homme et quelle en est la signification? Les justifications qui soutenaient l'évidence de nos ancêtres, les auteurs de l'encyclopédie et les représentants du peuple de 1789 gardent-elles toute leur force et leur pouvoir de conviction? Il convient ici de rappeler la formulation que l'on trouve dans la première édition de l'encyclopédie.

*"On entend, plus souvent par droit naturel, certaines règles de justice et d'équité, que la seule raison naturelle a établies entre tous les hommes, ou pour mieux dire, que Dieu a gravées dans nos cœurs"*<sup>2</sup>.

Quelques années plus tard, voici comment s'expriment, après de longues discussions, les pères de la constitution nouvelle dans le préambule à juste titre célèbre de la Déclaration du 26 août 1789.

*"Les représentants du peuple français, constitués en Assemblée nationale ... ont résolu d'exposer, dans une Déclaration solennelle, les droits naturels, inaliénables et sacrés de l'homme....."*

*En conséquence, l'Assemblée Nationale reconnaît et déclare, en présence et sous les auspices de l'Être suprême, les droits suivants de l'homme et du citoyen".*

Il serait intéressant d'analyser ces deux textes et l'évolution très sensible entre les deux formulations. Retenons surtout ici que l'un comme l'autre établissent les Droits de l'Homme sous le mode de la causalité. Ce sont des droits donnés à l'homme lors

---

<sup>2</sup> Citons le commentaire de Wolfgang Schmale «La reconstruction du monde commence ainsi par l'étude de sa nature, de sa constitution physique, de son "âme", de sa conservation et de ses facultés qui dans le discours des Lumières, sont surtout la raison et la volonté. Puis c'est l'homme, la société qui est pris en considération. Penser la société sur ces bases là devient l'exercice préféré du siècle donnant à la notion des droits de l'homme un contenu concret et matériel». Extrait de *"Les droits de l'homme dans la pensée politique des Lumières"* dans *"L'an 1 des droits de l'homme"* - Les Presses du CNRS 1988.



de sa création, dit le premier. Pour le second, ce sont les droits que l'homme découvre ou redécouvre "en présence et sous les auspices de l'Être suprême" qui en est la source et le garant. Il s'agit d'une causalité dans le temps pour le premier texte qui a une résonance historique; d'une causalité logique pour le second qui met en évidence des réalités intemporelles fondatrices de l'essence de l'homme, l'Être suprême, mais aussi demain les concepts abstraits qui l'exprimeront ou le remplaceront: la Raison, la Nature, l'Homme lui même. Tels sont pour ceux qui ont formulé les Droits de l'Homme les discours qui les justifient et en dévoilent la signification.

Ces discours sont-ils recevables tels quels aujourd'hui?

La réponse me paraît manifestement négative. Un grand nombre de nos contemporains, la majorité sans doute, ne croient ni à un Dieu qui aurait créé l'univers, ni à de grandes réalités spirituelles et éternelles qui régiraient le monde. Quand ils professent les Droits de l'Homme, quelle signification à valeur universelle est-il possible de donner à leur démarche? Il est surprenant que le bicentenaire de la Révolution française, célébré avec éclat l'an dernier, n'ait pas suscité davantage de réflexions sur cette question pourtant fondamentale.

La seule réponse possible me paraît être la suivante: en proclamant les Droits de l'Homme comme fondement de leur vie sociale et politique, les hommes aujourd'hui disent ce qu'ils veulent que l'homme devienne; ils expriment leur désir et leur volonté de réaliser pour lui l'idéal à valeur universelle qu'ils conçoivent. *Ce qu'est l'homme pour eux, c'est l'être qu'ils aspirent résolument à faire advenir.* Ainsi ces Droits de l'Homme qui relevaient il y a deux siècles d'une logique de causalité s'inscrivent-ils aujourd'hui, me semble-t-il, dans une logique de finalité. Ce n'est plus en se reportant à la création ou à une essence de l'homme perçue comme évidente que ces droits trouvent leur justification et leur signification, mais en regardant vers l'horizon de l'avenir à construire.

Il y a donc bien renversement radical sinon dans le temps, du moins dans la logique. Car ces droits de l'homme s'ils sont *universels, sacrés et inaliénables* sont nécessairement d'une nature juridique différente de celle des lois ordinaires qui peuvent

être abolies ou modifiés par un simple vote du Parlement. Ce sont des principes qui doivent garder une formulation ouverte, suffisamment souple pour pouvoir s'appliquer dans des conditions variées de société et de civilisation, et pour viser, non pas seulement l'instant présent ou l'avenir immédiat, mais l'avenir indéfini.

Cette nouvelle interprétation, cette nouvelle conception ne marquent pas à mes yeux une régression dans la force et l'évidence de l'idéal des droits de l'homme, mais bien plutôt une progression. Tout d'abord, elles permettent de réaliser *l'universalité de cet idéal*. A l'attitude quelque peu impérialiste qui consiste à imposer au monde entier des valeurs élaborées il y a deux siècles par des philosophes et des humanistes européens et américains, si éclairés fussent-ils, se substitue l'appel à la réflexion et au dialogue adressé à toutes les traditions culturelles et religieuses pour une recherche commune. En deuxième lieu, cette présentation assure le *respect des convictions* laissant aux diverses familles philosophiques, spirituelles et religieuses qui adhèrent aux droits de l'homme, la liberté de les considérer comme découlant de leurs vues propres ou de leurs croyances. Il en est ainsi par exemple des chrétiens comme de ceux qui fondent toujours leur existence sur les valeurs des "Lumières". Cette conception évite aussi les *déviations idéologiques*, toujours possible lorsque les droits de l'homme sont déduits d'une conception trop étroite, voire partisane et qu'au nom du peuple est conduite une politique oppressante,<sup>3</sup> peut-être même une dictature gouvernant par la terreur. Enfin elle est *stimulation pour les générations à venir* par l'appel à la vigilance et à la recherche en leur transmettant non un texte figé, mais des principes et un idéal qu'elles auront à réaliser et à faire vivre.

---

<sup>3</sup> Voir l'article de Dominique Julia: *Citoyenneté, instruction publique, éducation nationale*. Cahiers universitaires catholiques 89-90, n° 5. Il est consacré à l'exposé de la politique scolaire de la révolution française qui institue une formation des élèves très directive, sous le prétexte d'extirper "les racines de la superstition".

\* \* \*

L'analyse des fondements de l'éthique qui constitue notre deuxième exemple présente de profondes analogies avec celle des droits de l'homme qui vient d'être présentée, mais aussi des différences significatives. La première est que les préoccupations morales remontent au commencement de l'histoire connue par des documents écrits parvenus jusqu'à nous, et selon une grande vraisemblance, aux tous débuts de l'humanité, car ce qu'ils nous révèlent paraît bien être le résultat d'une longue évolution durant de très nombreux millénaires. Ce qui ne peut être nié, c'est que jusqu'au milieu de notre siècle la morale s'est exprimée sous forme de *lois*. La tradition judéo-chrétienne repose sur le décalogue, la loi donnée par Dieu à Moïse. Au milieu du XVIIIème siècle, beaucoup répugnent à faire reposer la morale sur une révélation. Mais le bien fondé de la morale n'en est nullement ébranlé, pas plus que la nécessité de lois auxquelles l'homme doit obéir. Ce dernier est par nature un être moral et c'est dans la raison, la raison pratique précisera Emmanuel Kant, qu'il découvre les principes, les impératifs catégoriques qu'il doit suivre pour faire le bien, atteindre la paix intérieure, l'accomplissement de son être, le *souverain bien* dont l'évidence ne lui paraît pas discutable. Or une loi, qu'elle soit révélée, qu'elle exprime une donnée constitutive de l'homme, opère sous le mode de la causalité.

La situation en quelques décennies a profondément évolué. Les motivations religieuses et philosophiques ont perdu dans une grande mesure leur capacité à faire reconnaître l'évidence et l'universalité de l'obligation morale comme appel à tout homme pour la conduite de sa vie. L'autonomie, condition indispensable pour assurer le développement des sciences, a été revendiquée dans tous les champs de l'activité humaine. La morale depuis quelques décennies est étrangère aux préoccupations de notre Education nationale en France, et sans doute une désaffection analogue se retrouve dans de nombreux pays. Or l'autonomie est devenue une caractéristique majeure de notre moder-

nité - la science n'est pas totalement étrangère à cette évolution<sup>4</sup>. Il paraît illusoire d'imaginer un retour en arrière possible. C'est la deuxième différence à noter: le discours sur les droits de l'homme garde toute sa force, le discours moral est pour le moins passablement affaibli.

Ceci, bien sûr, n'implique pas que toute moralité ait disparu. Dans les sociétés modernes, les comportements et les déterminations éthiques résultent de processus engendrés par la *communication* et la *délibération*, si extraordinairement favorisés par les moyens modernes qui la servent. Dans un environnement très rapidement changeant en raison de l'accélération des progrès scientifiques et techniques, ces sociétés inventent chaque jour les réponses à leurs problèmes. L'exemple le plus frappant en est donné par les *Comités d'éthique*, et plus particulièrement en France par le *Comité National d'Ethique*, appelés à formuler des avis sur les problèmes posés par les pratiques médicales. De toute évidence ces comités sont fort utiles dans des sociétés comme les nôtres, où se recontrent les opinions et les convictions les plus diverses, notamment pour les pouvoirs publics et les organismes. On effectue des sondages sur des problèmes de société et on songe même à organiser sur de tels sujets des consultations ou des référendums.

Mais tous ces processus assurant la communication et la délibération ne portent que sur des comportements moraux "*hic and nunc*". Les avis du Comité National d'Ethique sont des avis d'opportunité. N'y a-t-il pas danger comme le font certains à identifier ces avis à des jugements moraux? Est-ce à de semblables comités que les hommes demain s'en remettront pour

---

<sup>4</sup> Certains scientifiques n'hésitent pas à exprimer leurs vues sur le monde. Dans l'ouvrage "*Matière à pensée*", Editions Odile Jacob, Paris 1989, consacré à un dialogue entre Alain Connes et Jean-Pierre Changeux, ce dernier consacre près de trente pages du chapitre intitulé "*Questions d'éthique*" à exposer ses vues et ses jugements sans préciser qu'il s'agit de ses opinions personnelles et non de conclusions objectives tirées des acquis de la neurophysiologie dont il est un éminent spécialiste. Une telle ambiguïté n'est évidemment pas sans conséquence.

savoir le bien et le mal et qu'ils soumettront leur conscience? Ne serait-ce pas une démission paradoxale de l'homme face aux champs de liberté et de responsabilité ouverts dans le "*le complémentaire du monde de l'entendement*" alors que toute l'histoire humaine depuis des dizaines de milliers d'années peut s'interpréter comme un effort constant et progressif pour surmonter l'agressivité, la lutte pour la vie, le triomphe du fort sur le faible dont nous héritons de notre origine animale et pour faire advenir le bien, le juste, la compréhension, la paix, l'amour, bref comme une montée de l'éthique au sein de l'humanité? N'est ce pas une rupture dangereuse et qui pourrait être mortelle pour l'homme que de renoncer à cet idéal et à cette aspiration au moment où les moyens apparaissent pour y parvenir, non plus seulement instinctivement ou sous une contrainte extérieure, mais librement et plus efficacement que jamais?

La question ne se pose plus aux sociétés ou aux nations comme pour les Droits de l'Homme mais à chaque homme et à chaque femme personnellement. Qu'on le veuille ou non, consciemment ou inconsciemment, chacun apporte, durant les quelques décennies qu'il passe sur notre terre, des réponses à ces questions, quotidiennement, dans son comportement avec les autres et avec les choses, dans sa manière d'être et d'agir. Personne n'est de fait étranger à cette responsabilité, même si cette responsabilité n'est pas également partagée. Est-ce être trop naïf que d'émettre le vœu que le choix de chacun soit aussi lucide que possible?

Le fondement de l'éthique pour les hommes d'aujourd'hui est donc une question essentielle, vitale. Il me paraît, comme pour les Droits de l'Homme, devoir être cherché dans la direction de l'avenir, dans une finalité. Ce n'est plus dans une loi, même majoritairement reconnue, que seront trouvées d'un commun accord les perspectives et les règles d'action d'un chacun, ni la réponse à la question qu'il pourrait se poser sur la nature de l'homme et son destin. Ce qui peut lui être demandé ou tout au moins proposé, c'est que l'homme soit pour lui ce qu'il voudrait qu'il devienne, et ceci chaque jour; c'est que "*lui même soit celui qu'il devient et devienne ce qu'il est*". Tel est le projet qui peut être proposé à chacun; telle pourrait être la base

sur laquelle on pourrait convier les hommes à fonder leurs visées et leurs comportements moraux. Mettre en avant la mise à jour des convictions orientées vers des finalités est sans doute la bonne réponse à la désaffection manifestée à l'égard des discours moraux s'exprimant sous la forme de lois. Or cette désaffection serait grave si elle devait tarir les attentes et les espoirs à long terme, c'est-à-dire les sources les plus pures et en définitive les plus efficaces pour orienter l'action et, peut être, mettre en cause le progrès continu vers plus de subjectivité. Le souci, heureusement de plus en plus répandu, de préserver l'avenir, si lointain soit-il, de l'environnement naturel de l'homme ne devrait-il pas s'étendre à l'avenir de sa nature propre? L'analyse, esquissée plus haut à propos des droits de l'homme, des avantages que présente ce renversement total de la causalité à la finalité, du regard du passé ou de l'intemporel, vers l'avenir, s'applique encore dans le cas présent avec au moins autant de pertinence.

Il ne faudrait pas toutefois considérer ce renversement total comme une renonciation, due aux circonstances, à chercher et à mettre en évidence un fondement solide aux comportements éthiques ou tout au moins un repli tactique ou une dernière tentative avant l'ultime renonciation. La quête du fondement de la morale est une longue histoire au cours de laquelle les plus grands esprits ont fait part de leurs interrogations et de leurs réflexions, chacun projetant sa lumière sur ce qui lui paraît essentiel dans la vie morale, les mœurs, la nature, le social, la norme, l'impératif, le droit, le dialogue entre l'innocence et la culpabilité, la référence à une vision religieuse. Cette recherche montre qu'il n'y a pas de réponse universelle et définitive et que celle-ci doit toujours être inventée. La situation présentée à cet égard n'est pas nouvelle. Ce qui est nouveau, c'est que la nécessité de la morale et de lois morales n'apparaît plus évidente et naturelle dans de larges couches de la population, atteintes aujourd'hui par le questionnement et le doute auxquels elles restaient hier encore indifférentes. L'affirmation de l'impossibilité du discours éthique d'un Wittgenstein touche, certes sous une forme bien vague et non raisonnée mais non sans effet, un cercle beaucoup plus large que celui des philosophes ou des

moralistes. La direction dans laquelle il est ici proposé de chercher le fondement de l'éthique est celle de *l'humanisme* puisqu'elle part de la réponse concrète à la question que pose à chacun son existence quotidienne. Mais cet humanisme ne s'identifie pas nécessairement ni à ceux qui reposent sur une conception philosophique ou métaphysique de l'homme, ni à ceux qui trouvent leur source dans l'histoire, bien que cela puisse être le cas; il s'agit surtout d'un humanisme tourné vers l'avenir de l'homme à faire advenir, tant dans l'existence personnelle, que collectivement en vue de l'humanité à venir.

Dans ce dernier cas, il s'agit d'un humanisme qui est parfois qualifié<sup>5</sup> de *transculturel* ou de *transcendantal* pour exprimer qu'il doit s'exprimer dans le dialogue et la concertation ou qu'il représente le dénominateur commun ou mieux l'essence des humanismes s'alimentant à d'autres sources qu'à celle de la construction de l'avenir.

Ces considérations ont des incidences pratiques immédiates et pour ne pas dire urgentes, notamment en ce qui concerne la bio-éthique<sup>6</sup>. François Gros<sup>7</sup> note très justement que les aventures présentes de la biologie et de ses applications "*ne se réclament d'aucune éthique, d'aucune philosophie, d'aucun système de valeurs particulières*". C'est, dit-il ce "*qui les rend susceptibles du meilleur comme du pire*". Discerner la conduite à tenir, éviter les dérapages est nécessaire. "*La tâche, ne doit pas être laissée aux biologistes ou aux marchands*". *Nous avons au contraire besoin des philosophes et de philosophes*" écrit-il.

Est-ce bien sûr? C'est plutôt me semble-t-il des *humanistes*, c'est à dire de ceux qui ont un projet pour l'homme et qui

---

<sup>5</sup> En partant d'une autre analyse, nous retrouvons par exemple ici les conclusions de l'étude, évidemment autrement complète et approfondie, de André Clair dans son ouvrage "*Ethique et Humanisme*" Editions du Cerf, 1989.

<sup>6</sup> Sur quoi repose la bio-éthique si ce n'est sur une éthique? Les Comités de bio-éthique sont utiles à beaucoup d'égards. La mode qui les porte serait nuisible si leur existence était prétexte à évacuer le problème général du fondement de l'éthique.

<sup>7</sup> François Gros "*L'ingénierie du Vivant*" Editions Odile Jacob, 1990. Page 222.

acceptent d'en discuter dont nous avons besoin, qu'ils soient juristes, littéraires, historiens, spécialistes de sciences humaines ou de sciences "tout court", ou philosophes, non pas tellement pour leur discipline que pour leur souci éclairé de l'avenir de l'Homme.

L'émergence du monde de l'entendement où la raison opère sous le mode de la causalité et du rationnel laisse donc apparaître le monde complémentaire ouvert à la liberté et la responsabilité, où la raison joue non plus comme outil de progression de la démarche rationnelle mais comme *instance critique* de nos visées et de nos convictions orientant nos déterminations et nos actions. C'est une conséquence capitale de la nouvelle intelligence de nos sciences qui, à mes yeux, porte à privilégier dans le champ de la pensée, en réponse au préalable épistémologique évoqué au début de cette communication, la *spécificité* et *l'identité* des connaissances scientifiques au lieu de continuer à mettre en avant une *continuité* qui ne paraît plus justifiée et qui commence à se révéler quelque peu dangereuse. Les sciences, heureusement, accroissent sans cesse leur exigence de rationalité. Cela n'entraîne nullement que le *monde complémentaire* soit le monde de l'irrationnel, du sentiment, de la passion. Bien au contraire, la raison comme instance critique doit retrouver toute l'importance qu'elle a sans doute un peu perdue en raison de l'extraordinaire efficacité qu'elle manifestait sous la modalité du rationnel dans le monde de l'entendement.

Dans le même mouvement, cette intelligence plus rigoureuse de la spécificité de nos sciences résultant de la coupure épistémologique entre le monde de l'entendement et son complémentaire devrait conduire à une réhabilitation des convictions, des engagements raisonnés, je serais tenté de dire de la foi, à condition de prendre ce terme dans une acceptation beaucoup plus large que celle qu'on lui donne habituellement en référence à une religion. Je suis tenté de rappeler ici la phrase de Kant que citait souvent Maurice Clavel "*J'ai limité la science pour laisser sa place à la foi*" et pour éviter toute méprise de préciser le



sens dans lequel Kant<sup>8</sup> prenait ces termes". "La croyance présente les trois degrés suivants: *l'opinion, la foi, la science*.

*L'opinion* est une croyance qui a conscience d'être insuffisante aussi bien subjectivement qu'objectivement. Si la croyance n'est que subjectivement suffisante et si elle est en même temps objectivement insuffisante, elle s'appelle *foi*. Enfin, la croyance suffisante aussi bien subjectivement qu'objectivement s'appelle *science*".

Ce passage radical (et non continu) de la causalité à la finalité est donc celui du régime de la loi au régime de la foi, de *l'esclavage de la loi* à la *liberté de la foi*, si l'on transpose à l'époque actuelle et dans un contexte beaucoup plus large ce que Paul écrivait dans l'épître aux Romains pour décrire ce renversement de perspective apportée par le Christ dans les conceptions judéo-chrétiennes.

\* \* \*

Il ne faut pas méconnaître la difficulté qu'éprouve l'esprit à faire ce passage radical de la loi à la foi, comme si l'homme habitué à vivre depuis si longtemps sous la loi avait de la peine à s'engager dans la voie de la liberté et de la responsabilité. Libéré du joug de la loi il paraît trop souvent désemparé ou livré à la fantaisie de ses désirs successifs et fugaces. Ce qu'il recevait sous un discours de causalité, il a de la peine à l'accepter et à le comprendre désormais comme parole proposant une finalité. Nous en avons déjà donné deux exemples. Le troisième, relatif aux premiers chapitres de la Genèse, montre qu'il peut même encore en être ainsi aujourd'hui pour l'intelligence des textes fondateurs judéo-chrétiens.

Ecartons tout d'abord toute velléité de considérer ces textes comme livrant une information de type cosmologique. Rien ne s'y opposait certes avant que la cosmologie put être un champ

---

<sup>8</sup> Page 36 du livre: Kant, "*La raison pure*" textes choisis. Presses universitaires de France, 12<sup>ème</sup> édition 1891.

d'étude scientifique. Mais c'est méconnaître gravement, et la nature de la connaissance scientifique et la nature de la révélation donnée dans la Bible, que de mettre en parallèle ou en compétition aujourd'hui un soi-disant créationnisme tiré du premier livre de l'ancien testament et le fait de l'évolution reposant sur un discours scientifique.

Rappelons alors les grandes affirmations du message que l'auteur sacré cherchait à transmettre lorsqu'il écrit ce texte, et tout d'abord les conditions dans laquelle il le fait. Le peuple juif a découvert lors de l'exode sa singularité religieuse. Son Dieu l'a choisi parmi tous les peuples pour être le peuple élu et il a fait alliance avec lui: Dieu fait don de la loi; le peuple acceptera l'alliance en acceptant cette loi comme règle de vie.

Le livre de la Genèse, écrit après l'expérience de l'exode et sans doute après les textes qui la relatent, répond à des questions essentielles et souvent profondes concernant la totalité du genre humain. Le Dieu d'Israël est aussi le Dieu unique de tout l'Univers. Il a tout créé, le ciel et les étoiles, le soleil et la lune, la terre et les mers, les plantes et les animaux et enfin l'homme, stade ultime et aboutissement de toute la création, et en même temps, seul créé à l'image de Dieu. Dieu lui confie la terre, lui en fait don comme de tout ce qu'elle porte et l'appelle à y exercer sa souveraineté. Et ce texte si simple et si éclairant, bien sûr, concerne tous les hommes et pas seulement les membres du peuple élu.

Reste alors le plus difficile: comment l'homme s'est-il découvert dans la singularité de sa double origine? Comment expliquer que c'est quasi-simultanément, dans un même acte, une même pensée qu'il a pris, - ou qu'il prend - conscience de ce qu'il est, de sa spécificité, qu'il découvre le bien et le mal, qu'il découvre la moralité comme enjeu essentiel de son existence, et que tout cela, y compris la moralité, il le découvre en même temps que l'immoralité, dans l'expérience personnelle de la faute, du péché? Et que c'est cet acte même, cette transgression qui lui révèle son autonomie, sa liberté, et le prix qu'il doit payer pour les vivre?

Ce n'est pas le lieu d'explorer la richesse et la profondeur de cette révélation ou de cette conception, si souvent contemplée et

commentée par des philosophes et des théologiens. Ce qui nous intéresse ici c'est la manière dont le récit biblique la présente. Ce dernier récit est si connu qu'il suffit d'en évoquer les éléments essentiels. Quatre personnages Dieu, le Serpent, Adam et Eve, qui en fait pour notre propos ne font qu'un, se partagent les rôles. Dieu a créé Adam et Eve dans un état d'innocence et les a placés dans un jardin merveilleux. Il formule l'interdit. Le serpent les incite à ne pas obéir et leur promet que, s'ils l'écoutent, ils seront des êtres divins. Ils se laissent séduire, mangent le fruit défendu et découvrent leur réelle situation .

Ce récit provoque, n'est-il pas vrai, un malaise certain. D'une part, cet état de "*nature pure*" s'insère fort mal dans l'histoire de l'évolution. Et d'autre part, que nos premiers parents à peine sortis de l'animalité aient joué leur sort et celui de toute leur descendance sur une épreuve unique, est franchement invraisemblable. Aussi comprend-on la désaffection, voire le discrédit, qui entoure le chapitre 3 de la Genèse qui relate cette histoire et qui pourtant, on le sent, est sans doute l'un des textes les plus éclairants sur l'origine de l'homme et sur son destin. Ne peut-on penser, et c'est l'interprétation que je propose, qu' à l'époque où l'auteur transcrit le fruit des méditations, des réflexions, des révélations qui a longuement mûri au sein de la tradition juive, toute pénétrée de la loi reçue au Sinaï, le péché ne pouvait être compris que comme transgression à une loi? Il fallait que Dieu ait nécessairement formulé un commandement explicite à l'homme. Il fallait que ce dernier pour être vraiment responsable agisse en connaissance de cause, d'où l'état antérieur d'innocence. De plus, Dieu ne peut être à l'origine de l'acte mauvais et l'homme ne sait pas encore ce qu'est le mal; d'où la présence séductrice décisive du serpent. Pour transmettre son message, la tradition juive n'a pas trouvé de meilleur mode d'expression que ce récit.

Ceci est possible à une époque où l'on vit non plus sous le régime de la loi mais sous celui de la foi. Kierkegaard avait déjà

noté qu'au lieu de trois interlocuteurs; il serait préférable<sup>9</sup> "d'admettre qu'Adam se soit parlé à lui même. De la sorte se trouve écarté le vice du récit". Selon cette interprétation, la parole de tentation, la parole d'interdiction, la parole de punition sont toutes celles d'Adam se parlant à lui même.

De plus, si l'on fait appel à la foi comme lieu privilégié où Dieu s'exprime, on n'a plus besoin de la nature pure. Le péché originel tient à l'origine animale de l'homme qui le porte, notamment, à l'agressivité - dès le chapitre 4, Caïn tue son frère Abel. *Le primate devient homme lorsqu'il commence à percevoir l'appel de Dieu à un état tout autre. Cet appel fait entrevoir à l'homme un bien, une libération possible de l'état animal, perçu alors comme source de limites, de contraintes, de servitude. Mais cet appel provoque aussi en même temps un immense désir de liberté qui veut tout de suite aller beaucoup plus loin que ce qui est offert et que l'homme va donc effectivement refuser. Dès lors, il reste à l'homme, tiraillé entre la pesanteur de ses origines animales, l'appel de Dieu au plus profond de lui même et la révolte devant l'impuissance insurmontable à réaliser l'objet de son désir, à engager sans cesse sa liberté et sa raison pour percevoir et chercher à accomplir la libération promise et espérée sans être capable d'y parvenir par lui même pleinement et immédiatement. Toute l'histoire humaine n'est autre que la longue route qui peut, s'il persévère et grâce à l'alliance qui lui est offerte, le conduire au Royaume de Dieu. L'état paradisiaque de pleine innocence de la Genèse écrite sous le règne de la loi n'est donc autre que la transposition, à l'origine des temps de l'humanité, du Royaume de Dieu, objet de la promesse eschatologique de Jésus-Christ qui inaugure le règne de la foi<sup>10</sup>. Jésus le révélera et le répètera "Le Royaume de Dieu est à la fois*

<sup>9</sup> Extrait du "Concept d'Angoisse" cité dans l'ouvrage d'André Clair.

<sup>10</sup> C'est le point essentiel des premiers chapitres de la Genèse et le seul sur lequel la présente communication suggère une interprétation en application de la thèse générale qui s'y trouve exposée. Cette interprétation ne met nullement en cause la plupart des enseignements dégagés par les philosophes, théologiens et les commentateurs depuis plus de vingt cinq siècles.

déjà là et objet de l'espérance de Dieu à venir". Toujours la même devise: "Sois celui que tu deviens et deviens celui que tu es".

\* \* \*

Les trois exemples qui viennent d'être évoqués illustrent bien l'importance de la réponse à donner à ce qui a été appelé ici *le préalable épistémologique*. Mettre en valeur et respecter la spécificité des connaissances scientifiques, l'identité du monde de l'entendement<sup>11</sup>, c'est d'abord reconnaître honnêtement la nature du travail et des résultats des chercheurs. Mais c'est aussi en même temps ouvrir à la pensée et à l'action des champs nouveaux. C'est revaloriser la raison comme instance critique des convictions. C'est faire apparaître un *monde complémentaire*, où joue essentiellement la finalité, du *monde de l'entendement* où joue la causalité.

Cette réponse au préalable épistémologique s'oppose à celle qui prévalait presque exclusivement, il y a encore peu de temps, lorsqu'on escomptait que le monde des sciences, jouant comme attracteur dans le champ des savoirs, embrasserait et régirait un jour la quasi-totalité des pensées et des actes. Certes les sciences ont joué un rôle considérable dans l'émergence de notre modernité; mais les attentes d'un Ernest Renan il y a plus d'un siècle, ou celles d'un Jean Perrin il y a un demi-siècle n'ont pas été comblées. Si les scientifiques voient toujours s'ouvrir devant eux des domaines vastes à défricher, avec la conviction que s'y engager c'est répondre au destin de l'homme, nombreux sont ceux parmi les penseurs les plus perspicaces qui diagnostiquent aujourd'hui *un désenchantement du monde*<sup>12</sup>.

---

<sup>11</sup> C'est l'objet de l'exposé que j'ai présenté lors d'une récente séance solennelle de l'Académie des Sciences. Sous le titre "*La science interpellée*" Voir "*La Vie des Sciences*" tome 7. 1990, n°2, p. 161-179.

<sup>12</sup> Marcel Gauchet "*Le désenchantement du monde*" Gallimard NRF 1985. Voir également Paul R. Krugman "*The era of decreasing expectations*" MIT Press 1990.

Une telle divergence, un tel divorce révèlent que *l'image de la science* n'est pas ce qu'elle devrait être, et par là, plus profondément sans doute, un défaut, une déficience voire une erreur dans *l'intelligence de la science*. Le présent exposé a présenté une direction pour la recherche d'une meilleure compréhension et a tenté d'explorer quelques pistes de ce qu'on pouvait en attendre.

Il ne faut pas dissimuler la difficulté du retournement radical proposé à la pensée lorsqu'on invite à remplacer une progression sous la houlette de la causalité par une marche éclairée par la finalité. C'est en quelque sorte une généralisation, à de vastes domaines de la pensée et de l'action, du renversement de perspective dans le monde judéo-chrétien inauguré par Jésus-Christ et explicité par Paul. Or les églises chrétiennes n'ont sans doute pas fini, une vingtaine de siècles après, de tirer toutes les conséquences de ce message fondateur.

Elle apparaît certes paradoxale cette conséquence de la prise de conscience de l'identité du monde de l'entendement; elle n'en est pas moins à mes yeux pressante. Si l'analyse présentée ici a quelque valeur, on mesure le poids que joue *"la science dans le contexte de la culture humaine"*. Sera-t-il dit que, définitivement, elle aura contribué au désenchantement du monde? Va-t-elle au contraire contribuer, indirectement mais efficacement, à ouvrir les espaces de liberté et de responsabilité et inciter à y découvrir de nouveaux chemins pour la foi et l'espérance, ces vertus si fragiles et pourtant si nécessaires pour s'y engager? Comme hier, comme depuis le premier jour où il s'est reconnu, l'homme joue son destin, mais il le fait aujourd'hui avec la lucidité et les moyens sans précédent que lui donnent, ou tout au moins que peuvent lui donner, les trois derniers siècles de vie scientifique qu'il vient de vivre. Que va-t-il en faire?

## DISCUSSION

## PULLMAN

I wish to thank Prof. Germain for his very rich and dense talk. I am pretty sure that many of you would like to discuss or comment on his presentation. This paper is therefore open for discussion.

## MALU

Monsieur le Président, je parlerai en français puisque l'exposé était en français. J'ai pu comprendre de l'excellent exposé de notre collègue, le Professeur Germain, qu'il mettait en opposition d'un côté ce que j'appelle un triplet de notions concernant les sciences exactes - appelons-le comme ça: le "triplet cause, effet et raison"; et de l'autre côté, disons les sciences humaines, le "triplet finalité, croyance et criticisme ou critique". Concernant son deuxième triplet, il met les notions en association en suivant une démarche théologique, à savoir: on part d'une finalité, on veut faire quelque chose, par exemple respecter les droits de l'homme, alors on met en œuvre un certain nombre de moyens, de croyances, de façon à atteindre cette finalité; mais je rétorque qu'on fait la même chose en science, en particulier dans le domaine énergétique. L'approche théologique est aussi une approche strictement technique et scientifique. Par conséquent, le deux triplets ne sont pas totalement indépendants. C'est là la première remarque que j'avais à formuler. La seconde remarque c'est que, ma foi, pour faire de la critique il faut faire agir sa raison et que, par conséquent, par là aussi nous avons une liaison. Alors, cette distinction qui revient à remplacer "cause par finalité", et effet - c'est un peu moi qui m'avance trop loin - "effet par croyance" et "raison par criticisme" est séduisante mais sujette à discussion. Je vous remercie.

## GERMAIN

C'est vrai que l'on fait une action scientifique en vue d'obtenir quelque chose, mais on ne justifie pas l'action scientifique; quand on la justifie on démontre un théorème, on fait un protocole expérimental, la justification n'est pas du tout le but. Quand on fait un cours, on peut expliquer que l'on cherche un meilleur rendement pour une machine mais il faut le faire et la justification n'est pas du tout prise dans la contemplation du but à recevoir. Deuxièmement, c'est vrai que je n'ai pas parlé des sciences humaines. Dans les sciences humaines, je pense que, de plus en plus, il y a des démarches qui utilisent les sciences, à juste titre, qu'il y a de plus en plus de rigueur mais ce qui me paraît caractériser certaines sciences humaines, tout au moins, c'est le fait que l'interprétation fait partie du discours scientifique lui-même. Si je prends exemple la Révolution française - les historiens sont d'accord sur les faits, les dates de documents, les interventions des députés, mais la finalité du discours est très différente. Les historiens marxistes pensaient que c'était une première étape avant la Révolution de 1917. Il y en a qui donnent des interprétations de type freudien en expliquant qu'il fallait bien tuer Louis XVI parce qu'il fallait tuer le père. L'interprétation fait partie du discours; elle est même la motivation essentielle de la démarche scientifique. C'est là à mon avis qu'il y a une différence.

## ROCHE

Thank you Mr. President. I would like to address myself to Prof. Chagas' contribution. In particular since it contains a very essential definition of culture, in which he has given an anthropological "Weltanschauung" aspect which I think is the right one. In a way culture is a way of living. As T.S. Eliot mentioned in the *Notes on the definition of culture*, for Great Britain culture includes Derby Day, The Henley Regatta, Cowes, the 12th of August, a final of the Football Cup, dog races, pin table, Wenlesdale Cheese, cabbage boiled in small pieces, beets in vinegar, Gothic churches of the 19th century, and the music of Elgar. If we play the same game, the T.S. Eliot game, for



French culture, we could mention wine, the le Bastille Day, July 14, haute cuisine, la belotte, cheese before sweets, Hautes écoles, the music of Massenet - Debussy used to write "dans tout français il y a un Massenet qui dort" and Descartes' ideas and thoughts, clear and distinct. I am just giving these examples to show that culture implies a very broad set of values and ways of living and "built into technology one can always find the values and the ideas of the society that invented it". The Third World has invented relatively little in the way of technological values and data. The Academy might "se pencher sur", lean over, the fact that this is so and, perhaps, help the Third World make the transition from a traditional culture to a more modern one, in which science and technology have a great effect. Jorge Sábato, when he lived, used to say for Latin America that our purpose should be to acquire technology without abandoning the *siesta*. I think this could be a sort of background for this whole symposium. Thank you very much.

#### LAMBO

Mr. Chairman I would just like to add a little bit to the comprehensive definition and also the way Prof. Chagas has defined culture and has elaborated on the functions of culture in different societies or nations.

He quoted Nyrere, the past president of Tanzania, and I would like to just elaborate on that a little. Let me say to my colleague who spoke just now about the very little contribution which the so-called Third World or developing countries have made to material cultures such as science and technology.

But Nyrere, as quoted by Prof. Chagas, said that there was a culture or there were cultures before the colonization by the European or other nations, but that these cultures were not entirely recognized. Their functions were not entirely known and therefore they were not recognized as being valid cultures or cultures of value to the promotion of human beings in their own society.

I think it is important of course in a transition from a so-called primitive culture, or very little material culture, to a

higher plane of science and technology, that it be emphasized that the so-called Third World countries or the Developing Countries should not throw out the baby with the bath water. In other words, not just absorb the cultures from the western countries and the most valid and functional cultures for their own use. It is important for them to recognize there are certain areas of cultures which maintain their identity and have also given them support, mentally and physically, before they begin to identify which may be useful to them in science and technology in the modern sense.

RAO

I would like just to extend what was mentioned by the previous speaker. Coming from a very old country myself, there is a very serious dichotomy in the teaching of science to young people coming from interior India for example. They have their own cultural values and traditions, there are at least a few hundred different cultures of the natives of India, in the interior part of India.

But when we teach science and talk to them about development as we understand it today, we are always aware that we are doing that at the cost of something very precious that they inherit from many centuries. How exactly are we going to cross this bridge where traditional values and cultures of peoples are maintained and continue to our advantage? And at the same time modern science is something they can benefit from.

That is one point. Second, leaving those who are in the interior part of India to their own native cultures, there is also another problem. India itself for example has its own scientific tradition. It is very well known, even from mathematics and so on, and there are some advances in science which we now attribute to many of them could in fact have come from India and other parts, through Egypt and eventually to Europe. This is not very clear: as to where we lost certain traditions. But we still had what we may now consider as modern science quite some years ago. But even that tradition has been lost in India today. In fact when we talk of science in India today we only talk of

modern science as we understand it now in the 20th century. Many people ask why it is that we lost the scientific traditions of the past in surgery or biology or astronomy or even mathematics. It is very important to see that in the developing world a proper balance is maintained. Otherwise we may lose out a lot, because we will never be rich or progressist in the sense many people understand. At best we will improve the quality of life of the common man but we will never be very advanced in terms of the things that many western countries understand. It is very important to maintain these cultural values when we teach science. To bring in this concept of development without understanding these concepts would be dangerous for some of the developing countries, including India.

#### PULLMAN

I would just like to comment on what you said. Wouldn't it be exceedingly interesting to draw a balance of the contribution to modern science of all the developing countries just making an overall summation of what they have done? Maybe this could be one of the useful activities - there are others - of the Third World Academy of Sciences. Just try to establish a catalogue of contributions. Sometimes they are exceedingly striking. The invention of etc. from India. Nobody knows about it.

#### CHAGAS

By introducing the theme I brought here I am pleased that it produced such a nice reaction from Lambo, Rao and Roche. I don't have solutions for what I said. It is a very difficult subject, but one that must be considered. This is my point of view. I think that the world must be a world of many cultures and what makes the identity of a country is really its anthropological culture.

The situation is becoming more difficult every day because there are many important elements that have to be dealt with in a world in which the rules are dictated increasingly by economic interests rather than by moral principles. This is a question

which is difficult to solve. I think we must think about it, reflect upon it, and see certainly that we don't transform the Third World into a posture for the industrial and economic interests of the First World.

#### PULLMAN

Couldn't it be that in a country like India, which is a superposition of so many different cultures that are to be cultivated necessarily, science could to some extent represent a means of uniting all the people in a common suprastructure to the older structures?

#### JAKI

It may be useful when we talk about science with respect to cultures, ancient and modern, to introduce a fundamental distinction. For instance, geometry invented by Greeks, or at least organized by the Greeks, is certainly a science. Algebra, again developed by the Greeks, and in some other respects by the ancient Hindus, is also a science. But modern science is not about things that do not move, but about things in motion and this is where an essentially different picture of science comes into focus since about 400 years, especially through Newton's first law of motion. What we have today in science, either theoretically or experimentally or technologically, is about things in motion. You can take any branch, electromagnetism, dynamics, and so on, heat, everywhere we deal with things in motion. And that is where a tremendous change comes about in mathematics. For the first time in mathematics in the late 16th or during the 17th century, mathematics is developed to a point to the notion of fluxions, and the very name "fluxion" means something that flows that moves. And it is through this very new development in mathematics that a new power was placed in the hands of humans to build things in motion, and precisely because we deal with things in motion, the development of science takes on an accelerated rate.

So when we deal with Third World countries, or African countries, that come into the picture of the global world rather recently, we cannot afford the leisure of stopping time. Time flows just as things are in motion and it may be tremendous problem with respect to the cultural implications. In fact it imposes a tremendous urgency with respect to cultural applications because we deal with things in motion and we do so at an accelerated rate.

Excuse me: perhaps my remarks are useful or not. Thank you for the time.

### LICHNEROWICZ

While I would surely agree with the proposal that modern science started with the law of inertia, I still think that Aristotle's physics was honest physics. It has its laws. It wasn't just science fiction. It was physics. Wrong physics of course but physics. So science moves constantly, develops constantly, and there is no rejecting what came before the law of inertia as just something belonging to dead space.

## THE ORIGIN OF LIFE

CHRISTIAN DE DUVE

International Institute of Cellular and Molecular Pathology  
Bruxelles

All the findings of comparative biochemistry, cell biology, and molecular biology, in particular the growing amount of detailed information now being provided by the sequency of proteins and nucleicacids, converge in indicating that all existant living organisms — bacteria, protist, plants, fungi, animals, humans — are descendants from a *single* ancestral form of life. The possibility that organisms unrelated to this universal family may be present in some isolated and unusual ecological niches, such as abysmal hydrothermal vents, cannot be rigorously ruled out but is so far unsupported by any evidence.

This common ancestor — or, more precisely, *last* common ancestor, as it obviously was preceded by others — may be viewed as linking two cones joined by their apexes (Pirie, 1959). The upper cone expands upward in the direction of time, to encompass the whole, variegated tree of life. The lower cone hides the roots of the tree. According to the best available estimates, the lower cone ended and gave rise to the upper one some time between 4.0 and 3.5 billion years ago. The lower limit corresponds to the age of the oldest known stromatolites, which are stratified sedimentary rocks found in many parts of the world and believed, on the basis of contemporary evidence, to have arisen from superimposed mats of diversified bacterial colonies. Other geochemical data, including fossil imprints of bacteria-like forms dating back to that time, confirm that life was already thriving on the Earth some 3.5 billion years ago. As to the upper limit, it is set by present theories on the formation of our planet. The Earth first condensed around 4.5 billion years ago but is thought to have remained physically incapable of sustaining life until at least 4.0 billion years ago because of high

heat, intense volcanic activity, violent storms, and repeated impacts by large asteroids. This leaves a maximum span of some 500 million years for life to have originated and evolved into the ancestral form that first sent out two diverging branches whose ramifications have stretched unto this day.

What did this ancestral form look like? We have already seen that fossil traces point to a bacterial character, but they do so only in a vague and undefined manner. Actually, we have available a wealth of additional clues, written into the fabric of the life that is all around us. The very evidence that points to the existence of a common ancestor also delineates its main properties. By definition, it must have possessed *all the basic traits that existing forms of life have in common and that they could not have acquired independently during evolution*. Even the latter caveat can be largely ignored when the similarities extend to macromolecular structures, as they do in many known instances; the acquisition of significantly similar sequences by convergent evolution is extremely unlikely.

On the basis of the criteria just defined, we may visualize the common ancestor as a relatively unstructured, single-celled organism of prokaryotic character, enveloped by a membrane typically made of a lipid bilayer and of proteins, and, perhaps, surrounded by a wall. This picture fits with the fossil traces already mentioned. The metabolism of this ancestral cell followed mostly pathways that have hardly changed since and can be found in any biochemistry textbook. It depended on the catalytic activity of several thousand protein enzymes, used classical coenzymes, such as NAD and coenzyme A, and depended on ATP for its energy supply. To generate ATP, it had available substrate-level phosphorylation systems, as well as membrane-bound machineries operating by way of a protonmotive force. Its proteins were encoded in DNA and were synthesized by way of RNA on typical ribosomes. It obeyed the universal genetic code. In fact, should we meet the common ancestor today, we would most likely mistake it for a contemporary form of life, perhaps even classify it within a known group. To the extent that the properties of the most ancient bacteria can serve as indicators, it was an anaerobic, thermophilic, possibly acidophilic, sulfur-

utilizing, autotrophic prokaryote. Whether it was phototrophic or simply chemioautotrophic is unclear. Another unknown — and a topic of much debate — is whether the ancestor's genes were split by introns.

With this picture in mind, let us now look briefly at the two cones linked by the common ancestor, starting with the upper one. As already mentioned, the earliest documented bifurcation in the tree of life took place around 3.5 billion years ago, perhaps earlier. One of the resulting branches gave rise to the eubacteria. The other soon split again into two ramifications: one remained prokaryotic and led to the archaebacteria; the other evolved toward a eukaryotic type of organization. Carl Woese, the main architect of his three-pronged reconstruction, has recently proposed the term “domain” for the three super-kingdoms it defines (Woese *et al.*, 1990). In this new classification, the three domains would be named Archaea, Bacteria, and Eucarya instead of their earlier appellations (also due to Woese) of Archaebacteria, Eubacteria, and Eukaryotes. One may wonder whether the restriction of such an established name as “bacteria” to one of the two main prokaryotic groups will be easily adopted. In this paper, I will keep to the old nomenclature to avoid confusion.

Many important events undoubtedly occurred in the course of the long evolution of the two prokaryotic lines. These events included the colonization of many different surroundings and, especially, the sprouting by the eubacterial branch of an oxygen-producing, phototropic offshoot: the cyanobacteria. This far-reaching innovation resulted — in a span of half a billion years, probably between about 2.0 and 1.5 billion years ago — in a radical modification of the environment offered to life by the Earth's surface; it forced drastic metabolic adaptations on all the living forms that did not take refuge in an oxygen-free niche. All these changes, nevertheless, have not obscured the basic kinship between eubacteria and archaebacteria. Despite some profound differences, the two groups remain easily identifiable as prokaryotes, sharing a number of properties that they have presumably inherited largely unchanged from their common ancestor.

In contrast, the eukaryotic line underwent a remarkable series of progressive changes that, over a period of about one



billion years, converted a simple prokaryote into a huge and highly complex cell, the parent of all visible organisms and of much invisible life as well. Much thought and evaluation of data has been devoted to the fateful prokaryote-eukaryote transition, to the point that a plausible sequence of events can now be envisaged, even though the mechanisms involved and the driving forces behind them still remain highly speculative. What initiated the process was probably the progressive development of an intracellular membrane system from invaginations of the plasma membrane, accompanied by a parallel development of cytoskeletal and motor elements. The cells undergoing these modifications lost their outer walls, grew considerably in size — up to ten-thousand times, or more, their original volume — and acquired an increasingly differentiated cytomembrane network, with parts adapted to the import and breakdown of exogenous materials and others functioning in the synthesis, processing, and export of endogenous secretory products. Their genome underwent a commensurate increase in complexity and came to be fenced off within an envelope derived from the cytomembrane system and to depend on an intricate mitotic machinery for division. The acquisition of phagocytosis and of intracellular digestion, which probably accompanied the early phases of membrane development, may, through the independence it conferred, have been one of the selective driving forces of this evolutionary process.

The primitive protoeukaryote that arose in this manner may be pictured as a large, motile, compartmentalized, phagocytic cell. The most ancient protist, such as the diplomonads and the microsporidia, are thought to be derived from this cell. It took another billion years, together with the upheaval caused by the appearance of oxygen in the atmosphere, for the protoeukaryote to develop into a typical eukaryote possessing membrane-bounded organelles embedded in its cytoplasm. These organelles are of at least three different types: the peroxisomes and other microbodies, the mitochondria, and the plastids. It is now virtually certain that at least the latter two — possibly also the former — originated from eubacteria that were taken up by some primitive phagocyte and became established as endosymbionts

within their host cell. Most likely, a number of distinct such events took place in different cell lines. Microbodies were probably adopted first. Then came the mitochondria, now found in all eukaryotes except for the most primitive ones. Finally, the acquisition of plastids, which descend from cyanobacteria, gave rise to the first green algae and, through them, to the whole world of green plants. Note once more the importance of phagocytosis in this next major step of the prokaryote-eukaryote transition.

These mechanisms are discussed in detail elsewhere (de Duve, 1990); I shall not consider them further. Nor shall I examine the later evolution of eukaryotes and the appearance and development of multicellular organisms, as these topics are covered in a multitude of works. Instead, I now wish to turn briefly to the lower of the two cones, that is, to the origin of the primeval ancestral cell population. Three types of answers have been offered to this question: 1) instant creation; 2) import from outer space; and 3) progressive development on Earth. The first explanation falls outside the realm of science and cannot serve as the basis of an inquiry. The second one has some distinguished proponents, including — in very different versions — Sir Fred Hoyle and Francis Crick. It is, however, largely gratuitous at present and, in addition, does not solve the problem but only shifts it to some other celestial body or bodies, where the first germs of life must have developed before they reached the Earth. Thus, to the scientist, the problem of the origin of life consists in devising a plausible sequence of events that could have led to the appearance of a population of recognizable prokaryotic cells within an acceptable time frame and under acceptable physico-chemical conditions. If we take it as most likely that the process took place on the Earth, the term “acceptable” can be defined to some extent by what is known of the early history of our planet.

Many models have been proposed to account for the origin of the first living cells. They can roughly be divided into two categories: the improbable and the probable. This distinction may be illustrated by a consideration of the mechanisms whereby the first replicatable, informational macromolecules,

most likely RNA or RNA-like substances, are thought to have first appeared. This appearance is viewed by many as a key event in the origin of life because it allowed Darwinian competition and selection to operate for the first time.

One large group of scientists, among them the many adherents of the theory of an initial, proteinless "RNA world" (Gilbert, 1986), assume that a few molecules of some oligonucleotide somehow arose by random chemical reactions. These workers freely acknowledge the very low probability of such an event but point out that it need have happened only once somewhere in the prebiotic world if a crude replicating system had been at hand to rescue and amplify the rare oligonucleotide that had formed. The whole RNA world could thus have been launched, perhaps in a unique, never-to-be-repeated way. This theory fits within the more general views of those who, with Jacques Monod (1970), see life as an extremely improbable product of chance, with which the universe "was not pregnant" or of those who, following Ilya Prigogine (1980), interpret the origin of life in the framework of the theory of "dissipative fluctuations", random events that get caught by chance in a self-stabilizing configuration supported by an entropy-generating flux of energy.

There are many who do not accept such explanations. They emphasize that the spontaneous formation of even a single molecule of an oligonucleotide in any sort of plausible setting is not improbable, but impossible. In their opinion, the possibility that molecules of a specific pentose and of two complementary bases could somehow have arisen at the same time in the same place and further assembled together and with phosphoric acid into chains of nucleotides strains credibility. Even the spontaneous formation of just D-ribose is viewed as extremely unlikely by some (Shapiro, 1988), in a more general way, it is argued that, if life is the product of natural processes, its development can have occurred only by way of a very large number of successive steps. The point is further made that, unless the vast majority of the steps in this long sequence had a high probability of happening under the prevailing conditions, the process would necessarily have aborted, however many

times it had been initiated. According to this school of thought, therefore, life is the outcome of a highly deterministic chain of events; it is bound to arise wherever conditions permit, as they did on the prebiotic Earth.

Together with most of the biochemists who have given some thought to the problem, I find the probability argument incontrovertible. An occasional step in the direction of life may conceivably have had to await some chance combination of circumstances before it could take place. But this could have been no more than a slight and surmountable obstacle on an essentially deterministic road. Within such a conceptual framework, tracking the origin of life amounts to reconstructing a chain of many successive events, of which each, or almost each, was virtually bound to happen under conditions that might have prevailed somewhere on our young planet around 4.0-3.5 billion years ago.

Most of the workers who have attempted this exercise have relied on organic chemistry, prompted by the celebrated experiments of Stanley Miller who, in 1953, reaped a surprising crop of amino acids and other typically biological compounds under simple laboratory conditions designed to mimic a likely prebiotic situation. These efforts, have allowed the abiotic synthesis of an increasing number of biological substances, though only at the price of increasingly contrived experimental conditions. As already mentioned, they have not succeeded in bridging the immense gap that extends from Miller-type precursors to the first RNA molecules; and they are not according, to most experts, likely to do so in a foreseeable future. If this pessimistic pronouncement is true, another tack must be taken. My suggestion is that biochemistry, rather than organic chemistry (not to be neglected, of course), should be our guide in this attempt.

Briefly summarized, my model depends on primitive "proto-enzymes", qualitatively similar to today's enzymes, to trace a network of "protometabolic" pathways resembling present-day metabolic pathways. It relies on thioesters, either arising oxidatively or forming spontaneously in a hot, acidic milieu (which favors such a process thermodynamically), to provide both the energy and the catalytic powers needed for such a

development. The central energetic role of thioesters is abundantly documented in all living organisms, where such substances are involved both in key reductions and in important phosphorylations. There is no doubt that thioesters could alone, via known pathways, have fuelled the whole protometabolic development that I postulate. Experimental studies have confirmed that thioesters can play such a rôle under simple, possibly prebiotic, conditions. As to the contribution of thioesters to primitive catalysis, I attribute it to the ability, again well documented in living organisms and readily reproduced under simple laboratory conditions, of thioesters of amino acids and other difunctional acids to assemble into multimeric compounds. A major unknown in this scenario is whether the many different catalysts required by my model would have been present at effective concentrations among the products of a random assembly process of this sort. As I have argued elsewhere (de Duve, 1990), several cogent reasons make this possibility far from implausible.

According to the proposed model, therefore, the gap between the Miller type of abiotic world and the RNA world would be bridged by a "thioester world". I do not wish to dwell further on the details of the model nor to consider the many theories that have been proposed to account for the further evolution of the RNA world, up to a DNA world and, finally, the first cell. I would rather like to consider briefly, in conclusion, what may be termed, with due diffidence, the philosophical aspects of the model.

The key word, here, is "deterministic", not in the doctrinal sense that has stirred and continues to stir endless debates, but in the purely phenomenological sense. The model implies that life was virtually bound to arise under the conditions that prevailed on our planet a little less than four billion years ago and, as a corollary to this, that life must similarly arise wherever the same conditions obtain. The model even goes further. It predicts that the life that would thus originate elsewhere would closely resemble life as we know it, not in all its outward manifestations, which obviously owe their existence to many chance factors, but in its basic fabric. This does not necessarily

mean that life exists, has existed, or will exist anywhere else in the universe. The answer to this question depends on the probability of biogenic conditions prevailing elsewhere, a subject on which cosmologists have voiced very different opinions. Even the most pessimistic assessments, however, view it as probable that the Earth is not unique among planets, even in our sole galaxy, in having provided conditions suitable for the development of life. Where authors mostly differ is in their estimates of the likelihood of life actually developing where conditions are appropriate (see, for instance, Feinberg and Shapiro, 1980; Rood and Trefil, 1981). In this respect, my model is unequivocal. Together with all the other deterministic models that have been proposed, it evaluates this likelihood as being very close to certainty. In other words, it implies that life is part of the universal pattern. Contrary to Monod's assertion, the universe *was* pregnant with life.

## References

- CRICK, F., 1981. *Life Itself*. New York: Simon and Schuster.
- de DUVE, C., 1990. *Blueprint for a Cell*. Burlington NC: Neil Patterson Publishers. *Construire une Cellule*. Bruxelles: De Boeck Université; Paris: InterEditions.
- FEINBERG, G. and SHAPIRO, R. 1980. *Life beyond Earth*. New York: William Morrow and Company.
- GILBERT, W., 1986. *Nature*, **319**: 618.
- HOYLE, F. and WICKRASAMINGHE, N.C., 1978. *LifecLOUD*. New York: Harper and Row.
- MILLER, S.L., 1953. *Science*, **117**: 528-529.

- MONOD, J., 1970. *Le Hasard et la Nécessité*. Paris: Editions du Seuil.
- PIRIE, N.W., 1959, in: *The Origin of Life on the Earth* (A.I. Oparin, A.G. Pasynskii, A.E. Braunshtein and T.E. Pavlovskaya, eds.), London: Pergamon Press, 76-83.
- PRIGOGINE, I., 1980. *From Being to Becoming*. New York and San Francisco: W.H. Freeman and Company.
- ROOD, R.T. and TREFIL, J.S., 1981. *Are We Alone?* New York: Charles Scribner's Sons.
- SHAPIRO, R., 1988. *Orig. Life Evol. Biosp.*, **18**: 71-85.
- WOESE, C.R., KANDLER, O. and WHEELIS, M.L., 1990. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **87**: 4576-4579.

## LES ORIGINES DE L'ÊTRE RÉCENTES DÉCOUVERTES EN BIOLOGIE

JÉRÔME LEJEUNE  
Institut de Progenèse  
Paris

Monsieur le Président, puisque notre confrère Monsieur de Duve vient de nous parler des origines de la vie, je parlerai plus modestement des origines de l'être. Vous avez terminé en disant que Monod croyait que le monde n'était pas gros de la vie; Monsieur de Duve propose, lui, que l'univers était gros de la vie. Mais si la vie et l'univers sont si étroitement liés, il serait plus court de dire que la *Vie* créa l'univers. Ce serait une façon d'arriver au début. Le début que je voudrais étudier n'est pas celui de la vie, mais celui de chacun d'entre nous. Pour la vie on peut dire qu'elle continue toujours. Se transmettant de vivant en vivant, elle n'est que continuité et n'a donc pas de début. Pour chacun de nous, ce raisonnement ne m'a jamais satisfait; même arrivé à mon âge, je ne crois pas avoir des millions et encore moins des milliards d'années. Ce serait fort désobligeant pour nos compagnes! Chaque être commence, et c'est ce début de l'être qui nous intéresse pour l'instant.

Autant que j'en puisse juger, la matière vivante n'existe pas. Il n'y a pas de matière vivante; la matière ne peut pas vivre; la matière ne peut pas se reproduire; nous ne pouvons même pas reproduire un électron. Tout système de reproduction est en fait un transfert d'informations dont la matière est le support, mais ce qui est reproduit n'est pas de la matière. Il n'y a pas de matière vivante, mais nous sommes constitués d'une matière animée. Toute la génétique est une sorte de quête pour essayer de saisir sur le vif ce qui anime le brut.

Finalement, on arrive à la notion "il y a quelque chose d'écrit dans la matière, ce quelque chose est dans la vie, et ce quelque chose est la vie". Pour analyser ce quelque chose, nous



possédons maintenant des moyens d'une puissance extraordinaire et je ne dirais qu'un mot des différents progrès qui datent des deux dernières années pour ne pas remonter trop loin et ne pas être trop long.

D'abord, l'énorme entreprise du génôme humain que nous commençons à déchiffrer. La tâche sera complexe. Il y a des répétitions, des redondances qui rendront les analyses finales plus difficiles peut-être que nous ne le croyons aujourd'hui. Mais, a priori, cette entreprise titanesque n'est probablement pas hors de notre portée, tout au moins pas tout à fait. D'ici un nombre d'années, que personne ne peut prévoir avec exactitude, dix ans peut-être, nous aurons dans des machines une séquence de bases de l'ordre de six fois l'Encyclopédie britannique où on trouvera écrit simplement TCAGG et ainsi de suite. Nous aurons aussi à notre disposition d'autres machines qui liront dans la machine les séquences qui nous intéresseront et enfin d'autres machines qui synthétiseront, à la demande, la séquence que l'on voudra étudier. Il y faudra des machines à construire les machines, mais ce n'est pas totalement impossible. Ce qui va changer et ce qui a déjà changé, depuis deux ans, nos estimations sur la possibilité d'analyser le génôme humain et de comprendre ce qui se passe dans les cellules humaines, n'est pas une modification fondamentale de nos concepts mais une application pratique. Une découverte majeure datant de je ne sais combien de temps (il faudrait demander à Monsieur de Duve la date exacte) fut faite par un bacille capable de vivre à des températures extrêmement élevées. Pour ce faire il inventa une polymérase capable de fonctionner à une température proche de l'ébullition. Découverte fort ancienne qui, pour les hommes, n'est connue que depuis quelques années! Utilisée en grand que depuis deux ou trois ans, cet enzyme permet la PCR ou "polymérase chandered action". En plus de cette polymérase qui résiste à la chaleur, on se demande comment un organisme vivant est parvenu à sélectionner les protéines thermostables qui lui permettent de vivre à 95 ou 96 degrés, dans des eaux très acides, et comment il a modifié son ADN pour qu'il ne se défasse pas sans arrêt en deux chaînes séparées! A coup sûr une performance surprenante!

Voyons maintenant la méthode d'utilisation. On chauffe l'ADN au-delà de 90 degrés, les deux chaînes s'ouvrent, on met en présence tous les nucléotides nécessaires et la merveilleuse polymérase qui résiste à la température; immédiatement la synthèse se fait sur les deux brins. On abaisse alors la température pour que les brins synthétisés s'accolent bien, pour que la polymérase se fixe à nouveau, puis on rechauffe pour que les brins se rouvrent et qu'un nouveau cycle recommence. Il suffit de chauffer et refroidir successivement, sans rien toucher, pour qu'en quelques 12 à 15 heures on ait multiplié *un million de fois* la quantité d'ADN que l'on avait mise au début. Bien sûr, je simplifie. Il faut mettre quand même au début des petites séquences primaires, des amorces, qui indiquent l'endroit sur lequel on veut que se fasse la reproduction. Mais finalement, quand aujourd'hui on se promène dans un laboratoire de cytogénétique, où on voit des gens qui fabriquent des sondes pour marquer un endroit particulier de chromosome, la PCR est une technologie d'une simplicité étonnante. A condition d'être soigneux pour éviter des contaminations, on fabrique à volonté tel ou tel morceau d'ADN. Il y a deux ans, on s'envoyait d'un laboratoire à l'autre une petite séquence d'ADN qu'on avait laborieusement introduite dans une bactérie. Il fallait alors cultiver ces bactéries pour en extraire ensuite ce précieux fragment d'ADN. Dans un an, on s'enverra simplement une série, écrite sur une carte postale, ou par FAX, de 12 ou 15 signes qui décriront le primaire d'un côté, et 12 ou 15 signes du primaire de l'autre côté et un collègue biochimiste obligeant synthétisera ces amorces. Dès lors une machine à PCA, munie d'un peu d'ADN retiré en bloc de l'organisme qui nous intéresse, sortira le gène désiré et le fabriquera à la demande. Nous saisissons mal aujourd'hui l'extraordinaire explosion à laquelle nous allons assister! Il ne s'agit plus d'avoir une possibilité d'analyse — nous l'avons déjà — il s'agit d'une simplification si remarquable qu'elle s'appliquera à toute la biologie. Les analyses bactériologiques vont se faire tout le temps à la PCR, pour tous les virus, toutes les bactéries, les parasites. Cette méthode s'appliquera aussi à toutes les maladies génétiques. Il n'y faudra pas dix ans!

Le développement sera explosif, les progrès seront foudroyants, nous le savons déjà; mais l'homme, lui, sera-t-il foudroyé? C'est la question qu'on est obligé de se poser aujourd'hui.

L'intelligence de l'unicité de l'être était déjà démontrée par toute la génétique lorsque finalement, très récemment, Monsieur JEFFREYS mit au point une invention technique qui nous met sous les yeux le fait que chaque être humain est unique et irremplaçable. Sa méthode est très simple: il a utilisé un marqueur qui sélectionne des fragments d'ADN qu'on a coupés par les enzymes de restriction et qu'on a fait migrer sur un support approprié. Le résultat présente un aspect tout à fait familier, qui correspond exactement à la lecture du code-barre qu'on voit sur les étiquettes dans les supermarchés. La largeur des lignes et leur écartement permet de définir une séquence que décèle une tête de lecture électronique, pour envoyer l'information dans un ordinateur. Le calculateur du supermarché affiche immédiatement la qualité, la quantité du produit et son prix. Le code-barre que nous observons avec la méthode de JEFFREYS définit chacun d'entre nous: chacun de nous a son code-barre absolument spécifique, une carte d'identité infalsifiable qu'on a toujours sur soi. Mais l'immense différence avec le code-barre du supermarché, c'est que la machine ne nous dira jamais le prix d'une vie humaine!

Mais elle nous dit déjà que le caractère unique de chacun est en fait composé de deux séquences de barres qu'on retrouve immédiatement chez le père ou chez la mère de ce sujet-là. On voit que telle bande du sujet vient de son père, telle autre de sa mère; véritablement chacun reçoit moitié de papa, moitié de maman. Ce n'est plus de la théorie, ça se lit avec un lecteur électronique banal de supermarché.

La plus importante, je crois, des découvertes récentes (et je ne fais que les citer pour qu'après nous puissions en discuter, je ne voulais pas du tout faire un exposé trop théorique) nous la devons à plusieurs collègues: nous la devons à SURANI, à SWAIN, à HOLLIDAY pour ne citer que quelques-uns. Il faut avouer qu'exactly comme pour les gènes coupés en morceaux découverts il y a une dizaine d'années, personne n'avait prévu la découverte de SWAIN, de SURANI et de HOLLIDAY.

Cette découverte a modifié une grande partie de ce que nous savions en génétique: ce qui est vrai de l'homme n'est pas vrai de la drosophile; ce qui est vrai de la bactérie n'est pas vrai de l'éléphant!

Tous les professeurs de génétique ont enseigné partout que la séquence des bases constitue l'information génétique (celle qu'on va séquencer dans le plan du génôme) qui définit tout l'être. Et bien non, c'est plus compliqué que ça chez les êtres supérieurs. Chez les mammifères, mais pas les insectes, une "empreinte" est superposée au code de l'ADN par une méthylation systématique de la cytosine sur certaines séquences et pas sur d'autres. On savait depuis longtemps qu'il y avait des méthylations de l'ADN mais on n'avait pas compris à quoi ça servait. Essentiellement la découverte de SWAIN et de SURANI a été la suivante: l'homme en tant que mâle, ou le mâle dans une autre espèce - c'est vrai dans toutes les espèces de mammifères - marque avec une méthylation de la cytosine son "empreinte" sur l'ADN. La femelle de son côté et dans notre espèce la femme - marque elle aussi son "empreinte", mais à des endroits différents. Tous les hommes marquent les mêmes séquences; toutes les femmes marquent les leurs. Ces deux "empreintes" règlent chacune un ensemble de fonctions. Par exemple, en manipulant un ovule de souris, SURANI enlève son noyau légitime et met à la place le noyau d'un spermatozoïde et puis le noyau d'un autre spermatozoïde. Le nombre voulu de chromosomes est reconstitué et la quantité d'ADN est suffisante, mais tout le message porte l'empreinte masculine et pas d'empreinte féminine. Le résultat n'est pas un être souris, ce n'est pas, ne devient pas une souris. La "chose" se met à se diviser et fabrique des vésicules, des membranes, et rien d'autre. Ça ressemble à une grappe de raisins et c'est exactement ce que nous connaissons en pathologie humaine sous le nom de "Môle hydatiforme" qui résulte d'un échec de la fécondation. Nous savions depuis longtemps que dans notre espèce, la môle hydatiforme ne contient que des chromosomes mâles. Il n'y avait pas d'ADN venu de la mère dans cette masse qui prolifère et peut devenir d'ailleurs un cancer redoutable: le "chorioepitheliome".

La seconde expérience de SURANI est inverse: on extrait de l'ovule son noyau légitime qu'on remplace par deux pronuclei féminins. Cela rétablit aussi le nombre normal de chromosomes et la quantité normale d'ADN, mais est porteur de l'empreinte féminine, exclusivement. Ce n'est pas un être non plus. Ça se met à se diviser mais ne fabrique pas un nouvel être, ça ne fabrique que des pièces détachées de poil, de la dent, de la peau, de l'os et tout ça dans un désordre informe, abominable. Nous connaissions déjà cette pathologie dans notre espèce: le "kyste dermoïde de la jeune fille", sorte de tératome, de cancer embryologique de l'ovaire. Et l'on savait déjà, dans notre espèce, que les chromosomes étaient exclusivement d'origine maternelle.

Ces deux observations expérimentales de SURANI ont brusquement expliqué ces deux anomalies prodigieuses de la reproduction humaine. Les séquences d'ADN, marquées par un méthyle sur la cytosine, ne sont pas les mêmes chez les deux sexes. Il faut recevoir non seulement tout le contenu génétique, tout le contenu informatif de la séquence génétique des bases de l'ADN, mais il faut posséder aussi, dans la première cellule, une séquence marquée à la façon masculine, une séquence marquée à la façon féminine, pour constituer un être. Dans la première cellule de l'être humain nouveau juste après la fécondation, cette sphère d'un millimètre et demi de diamètre se trouve contenue toute l'information nécessaire et suffisante pour fabriquer non seulement un être humain nouveau, mais cet être humain-là, celui qu'on appellera plus tard Pierre, Paul ou Madeleine, (et non pas un autre - les bandes de JEFFREYS nous le démontreraient au besoin).

Dans ce minuscule espace d'un millimètre et demi de diamètre on voit déjà inscrit par la méthylation de l'ADN cette répartition des tâches qui nous est si familière: à l'homme c'est la construction de l'abri et la quête de la nourriture, à la femme l'élaboration de l'enfant. Ce qui est souligné dans l'ADN, à la façon masculine, c'est l'art de faire les membranes et de construire le placenta. C'est bien l'abri et la quête de la nourriture. Et ce qui est marqué, souligné par la méthylation de l'ADN chez la femme, c'est l'art de différencier les tissus, c'est bel et bien l'élaboration de l'enfant.

Cette méthode d'investigation (la plus pointue que nous ayions aujourd'hui pour étudier la méthylation de l'ADN) nous donne ainsi une explication - je dirais tout à fait touchante et en même temps très surprenante - d'une chose que la civilisation judéo-chrétienne a toujours connue, à savoir, pourquoi il est dit, "honore ton père et ta mère *afin de vivre longuement*". L'être qui n'aurait pas un père et une mère ne vivrait pas longuement, il ne serait pas conçu du tout. Dès lors l'être qui est conçu, lui, doit effectivement honorer son père et sa mère car il faut nécessairement recevoir l'information humaine portant l'empreinte de l'homme, et en plus l'information humaine portant l'empreinte de la femme pour être un être humain. Pour le généticien moderne, "honore ton père et ta mère" est bien un commandement divin, la nature lui obéit.

S'il y avait ici des journalistes, je leur confierais un scoop que j'ai déjà confié à beaucoup de journalistes, mais qu'ils n'ont jamais publié, à savoir que nous savons aujourd'hui qu'on ne pourra pas manipuler un œuf humain pour obtenir, après une énucléation puis insertion de deux spermatozoïdes, un nouvel être à partir de deux homosexuels mâles. Ça ne serait pas un être humain. Ça serait un chorioépithéliome, une tumeur. De la même façon, on ne fera pas une fécondation entre femmes. Ce serait un tératome. Mais de la même façon aussi, on peut considérer comme totalement dévolue la spéculation du milliardaire qui imaginerait faire fabriquer un clône à son image pour lui transmettre en un temps son patrimoine génétique et ses intérêts financiers! Ce n'est pas possible. Le clonage est possible chez les êtres inférieurs, pas chez les êtres véritablement supérieurs.

Et cependant, c'est au moment où, au cours des deux dernières années, une véritable révolution s'est produite dans la génétique humaine, où brusquement ce qui était enseigné en théorie - l'unité, l'unicité de chacun - devient enfin visible grâce à JEFFREYS, et où nous commençons à déchiffrer la diversification sexuelle de l'ADN, c'est à ce moment que nous assistons à de très curieux déportements procréatifs.

La mode est au bébé en bouteille, et, en ce domaine, je suis obligé de noter une extraordinaire "furie française". En 1989 on

a fait en France 19.000 fécondations extracorporelles. On en a fait 7.043 en Angleterre et 14.619 aux Etats-Unis. C'est-à-dire que les français ont tenté cinque à six fois plus de fécondations extracorporelles que les pays anglo-saxons dans lesquels ces techniques ont commencé. Il y a là une engouement d'autant plus extraordinaire, que la méthode ne réussit que dans 4 à 5% des cas. On ne retrouve pas souvent cette donnée statistique dans la littérature générale.

Pour pallier ce taux de réussite très bas on a proposé quelque chose de redoutable - et c'est là-dessus malheureusement que je vais être obligé de finir. En prétendant qu'il y avait des hommes en trop, des êtres surnuméraires, certains proposent de fabriquer *in vitro* des embryons "en trop". Une injection hormonale induit une superovulation et on récolte cinq, six, sept, dix ovules. Après fertilisation *in vitro*, on en implante quelques uns et on met les autres au froid, on les met au frigidaire. — A propos de la discussion de ce matin sur la science moderne qui serait enfin la science du mouvement opposée à la science statique d'autrefois, je ferais remarquer qu'on aperçoit ici une forte régression due au progrès technologique arrêtant le mouvement. Nous employons le même mot pour définir la durée qu'on mesure avec des horloges ou la chaleur qu'on mesure avec un thermomètre; nous disons le temps et la température; le temps c'est le flux du réel qui passe, la température c'est la vitesse des particules. Quand on abaisse la température et qu'on ralentit le mouvement des particules, on arrête le temps local. Quand on plonge des petits embryons dans une bouteille qui contient de l'azote liquide à -1800, on dit qu'on les a congelés. C'est vrai, mais en fait on les a enfermés dans une enceinte où le temps lui-même était arrêté. Et c'est tellement vrai, que si on les réchauffe prudemment, ils vont se remettre à foisonner comme auparavant, alors que si on avait arrêté définitivement la vie, elle ne pourrait pas reprendre. Donc on n'a arrêté que le temps et non pas la vie. Il suffit en effet d'utiliser des substances qui permettent que la congélation se fasse en un gel qui produit des cristaux de glace pour détruire la merveilleuse, l'extraordinaire architecture qui soutient le message de la vie. Monsieur de Duve nous en a montré une image tout à l'heure. Si l'on n'a pas

détruit l'information, on n'a pas détruit la vie, et la vie se manifestera à nouveau sitôt la chaleur revenue et le temps retrouvé.

Ici, permettez-moi une allusion strictement personnelle. Il y a à peine un an, j'ai dû témoigner de ces choses devant un tribunal américain. C'était à Maryville dans le Tennessee. Un homme et une femme comparaissaient devant la justice pour une affaire de divorce. Un an avant, ils désiraient désespérément des enfants. La femme était stérile (elle n'avait plus de trompes) et on avait fécondé *in vitro* neuf embryons dont deux avaient été replantés dans son uterus. Malheureusement, ces deux petits ne survécurent pas (c'est le cas de 95% de ces implants), et les sept autres avaient été mis en temps suspendu. Ces deux parents divorçaient parce qu'ils ne pouvaient pas s'entendre sur cette procréatique industrialisée. Phénomène psychologique profond; ils avaient supporté énormément de choses, depuis dix ans, souffrant de n'avoir pas d'enfants, mais à partir du moment où ils en eurent sept dans le frigidaire, le divorce survint. Le juge avait à trancher un cas sans précédent. Dans la juridiction moderne il n'y a que deux catégories dans un cas de divorce: les biens que l'on peut liquider et les êtres humains que l'on confie à garde. Ces sept espérances, mises dans cette enceinte concentrationnaire, étaient-ce des êtres humains qu'il fallait confier à l'un des parents ou, au contraire, étaient-ce des choses qu'on pouvait liquider, remplacer par de l'argent?

A la fin de ma déposition, où j'expliquai que la congélation permettait de suspendre le temps sans détruire la vie, l'un des avocats m'a demandé, "Quel conseil donneriez vous au juge? Que doit-il juger?" Et j'ai répondu que j'étais tout à fait incapable de suggérer à un juge quelle devait être sa décision mais que j'avais cependant un souhait. La mère avait dit, "Si la loi ne me donne pas la garde de mes enfants que je voudrais essayer de mener à terme, qu'au moins on ne les conserve pas indéfiniment au froid, qu'au moins on les confie à une autre qui peut-être les mènera à la vie". Et j'avais simplement dit au juge, "Cette femme a offert à ces embryons qui sont en temps suspendu l'abri de son propre corps, c'est elle qui leur donne la meilleure chance possible. On ne peut pas la leur refuser, et on ne peut pas lui refuser à elle puisqu'elle veut d'abord la vie des



enfants". Et, en terminant, "J'espère que la justice sera, cette fois encore, du même côté que Salomon". (Car ce procès a été jugé il y a plus de 3.000 ans; c'est celle qui veut la survie de l'enfant qui est le vrai parent auquel l'enfant doit être confié.) La justice trancha comme Salomon, mais l'affaire est passée en appel (qui est suspensif) et se trouve maintenant devant la Cour suprême.

Je ne suis pas sûr de la décision des hommes, car un autre phénomène s'est produit cette année, très exactement le 8 février 1990 à la Chambre des Lords et le 23 avril 1990 à la Chambre des Communes. Le Parlement britannique a adopté un projet de loi — qui passera en dernière lecture ces jours-ci — disant qu'il était possible et légal d'expérimenter sur des embryons humains de moins de 14 jours. Cela veut dire que les sujets britanniques très jeunes seront soumis à la vivisection expérimentale, et si, ce qu'à Dieu ne plaise, la Reine d'Angleterre signe cette loi — ce qu'elle peut encore refuser. La Reine se trouve être la dernière personne au monde à pouvoir protéger ces enfants. Si cette loi est votée et si elle est signée, cela veut dire que des êtres humains de moins de 15 jours d'âge — calculés depuis la fécondation — seront soumis à la vivisection expérimentale. Cela veut dire — j'allais dire en bon français, je devrais dire en bon anglais — que si cette proposition est votée, la loi anglaise signifierait que "l'être humain de moins de 15 jours est un animal". Je pense — et c'est là-dessus que je finirai, Monsieur le Président, parce que ça ouvre la discussion — je pense que nous sommes là devant un choix fondamental de notre génération. Je l'ai dit en commençant, nous savons que le développement de la génétique humaine est foudroyant, mais j'avais peur que l'homme en soit foudroyé. Si nous oublions une règle de conduite qu'on apprenait dans les collèges autrefois, je crains que l'homme effectivement ne soit broyé. Autrefois, on apprenait une règle quasiment de grammaire qui disait "timete dominum et nihil aliud" (craignez Dieu et rien d'autre). Je dirais aujourd'hui, "Ne craignez pas la technologie, elle est bonne, mais craignez d'oublier qu'il y a un créateur qui vous dit de respecter sa créature. Si tous les hommes, hommes de science et hommes loi, observent cette crainte-là, alors ils n'auront plus rien à craindre des avances de la technique.

## DISCUSSION AFTER DE DUVE, LEJEUNE

## ARBER

I would like to give some complementary information to the very deep and interesting presentation of Christian de Duve. We have heard in the first part how living beings, in a slow evolutionary process, developed in the course of time. It is thanks to molecular genetics and mainly microbiological investigations during the last fifty years that we do indeed know today lots of detailed reactions which can help us to understand how the evolutionary process works.

As we know, biological evolution depends on mutation on the one hand and on selection on the other hand. Particularly the mutation processes are becoming more and more understood. It is on this insight that I base my personal conviction that many of the processes involved in biological evolution are enzymemediated. I consider this to be an important point. These enzymes do not have the properties which one usually expects from enzymes, namely to reproducibly give the same product each time they catalyze a reaction. These enzymes have another strategy which I call the strategy of a variety generator in that they produce mutations at various places on the chromosomes and of various characters.

We and other colleagues too have studied some of these processes. It is amazing. Many actually give rearrangements of existing nucleotide sequences and thereby often produce some new gene configurations which can provide an advantage to the organisms concerned under normal natural selection.

To my mind, this is a very important message to us. Still today many biologists consider spontaneous mutagenesis, i.e. the production of spontaneous mutants, as a consequence of errors of nature. However, if enzymes are engaged, how can one call this an error? It was said by Christian de Duve at the end of his presentation that he finds that there is a pattern in the universe which promotes reactivity. This statement can be directly applied to spontaneous mutagenesis. It is the role of

some enzymes to make a lot of different varieties in the genetic information, rather than to do it by error. This not only applies to genetic rearrangements, but also to nucleotide substitution which occurs with some low probability in the DNA replication. One has known quite well for a long time that nucleotides have not always the same structure. Short-living tautomeric forms of nucleotide bases have another structure than "normal", and upon DNA replication such a tautomeric form can become correctly incorporated into a growing DNA chain according to the chemical rules as seen from the enzyme doing the job. Later on, when the base has shifted back to its normal form, the base pairing is not any longer correct. But this again is not properly speaking an error which would have occurred in the enzymatically catalysed incorporation. Rather it is a consequence of the chemical nature of nucleotides.

In view of a number of enzymes and organelles as well which can be considered to act as variety generators and thus as promoters of biological evolution, I become more and more convinced that there are two basically different kinds of biological functions encoded in the genetic information of living organisms: One big class of functions which are usually looked at by biochemists, by medical doctors and as a matter of fact by almost everyone, is formed by those functions which serve the needs of individual lives, which make each individual able to live. A bacterial cell as well as a plant or a human being needs a lot of biological functions all the time. In contrast, a second class of enzymes which I mentioned above are not needed for this purpose; they are needed for the long-term maintenance of life in populations. They are here to promote genetic changes once in a while in large populations. This can ensure that populations always contain a few organisms which have the appropriate genetic information allowing them to adapt to changes in the living conditions. This process renders evolutionary changes possible. The classification given here is not always strictly followed. Indeed, some biological functions serve both purposes and fulfil needs of individuals and of long-term adaptation of populations.

It seems to me important to realize that we carry in our chromosomes genes which are not serving our own personal lives, but which ensure the maintenance of life for long periods of time. It is only in this way that the steady evolution of living beings can happen. I think it is wonderful that we understand that there exist enzymes for this purpose, that these are encoded, and that evolutionary adaptation is neither a mystery nor a consequence of errors. It is not just a random happening. It is something which is in-built into our genetic blueprint, although using randomness sometimes in a strategy to provide variation.

### TOWNES

I wanted to ask Professor de Duve whether he could say anything about this path by which life is formed and whether he could say anything about the conditions required; how probable they are on a planet like the earth which has many advantageous properties.

### DE DUVE

There are two points I should perhaps tell you about. The pathways I envisage from the very smallest organic molecules which can be made by random chemistry, as Stanley Miller and others have found, the pathway from those small molecules up to, say, an RNA molecule followed essentially the same lines as metabolic pathways today. In other words, instead of invoking some sort of very special type of organic chemistry which is known as abiotic chemistry, I think we have to look at biochemistry to find the way these molecules were made. Of course, this needs catalysts, and therefore my model involves small primitive catalysts which are small multimers that were formed at random but among which the seeds of all present-day enzymes would be present. You need energy and the energy source, I find either thioesters, because if you know biochemistry, you know that thioesters are really the most primitive and earliest high-energy bond. It comes before the biophosphate bond. Thioester bonds are easy to make with primitive materials. All

you need is the thios, acids and some source of energy. With thioesters you can provide energy for all your metabolism and you can provide the multimers, because some of the most primitive peptides in bacteria are not made by ribosomes, they are made by enzymes that use amino-acids activated as thioesters, and not as AMP derivative.

The second question you asked was what kind of environment. The environment that I envisage - and this is supported by studies on primitive bacterias - is the kind of environment that Dr Lejeune described, that is, very hot, very acidic, sulphur-rich and anaerobic, no oxygen present. This kind of environment you will find in some high temperature, hydrothermal vents, or volcanic sources. It does not look like a very appealing cradle for life but that is probably where life started. I am not telling you that this is all known with certainty. That is my guess.

#### TOWNES

One of the big problems, as I am sure you are quite aware, is how many times that life might have formed on earth. The fact that we are all left-handed molecules, so to speak, would indicate a very improbable event, some passing conditions on earth. Volcanoes have been here for a long time, but there are some conditions which must have been changing rapidly. This is a general supposition among physical scientists.

#### DE DUVE

One point I should make clear is that the model I propose does not require an enormous length of time.

#### POLANYI

There seems to be a suggestion, Dr de Duve, in what you were saying, that what happened was bound to happen. I was listening in your remarks for some hint as to what was the

cookbook which guided these events along this inevitable direction and I did not here any.

#### DE DUVE

This is part of, my anywer to Dr Townes. The cookbook is in the thioesters. They play a very important part in my cookbook. Out of the thioesters come the catalysts that are needed, the building blocks that are needed and the energy. So provided you have the right environment where these thioesters would form and unite, I think the pathway would follow more or less automatically.

#### CHAGAS

Moi je veux poser une question à Lejeune. D'abord je vous félicite pour la clarté de votre exposé et pour votre français qui me fait penser toujours à la Comedie Française. La question est la suivante. Les expériences de microbiologie sont vraiment extraordinaires, sans aucun doute, mais je me demande et je suis sûr qu'elles ont apporté cette notion fondamentale: que ce sont certaines assises, certaines bases qui sont méthylées qui portent le caractère humain, disons, au masculin ou au féminin. Parce que, d'autre part, le fait qu'on avait besoin de substances qui viennent des spermatozoïdes et d'autres de l'œuf, étaient à refaire. Alors c'est comme vous avez dit, que les experiences de microbiologie changent complètement l'aspect de la génétique. Je suis un peu étonné, et tout de même surpris.

#### LEJEUNE

J'ai dit qu'il changeait, je n'ai pas dit qu'il contredisait. On n'avait pas prévu que lorsque nous recevons un gène, le fait de le recevoir du père ou de la mère était différent. Jusqu'ici, lorsqu'il ne s'agissait pas des gènes liés au sexe, on pensait que pour une information donnée ce qui arrivait du père ou ce qui arrivait de la mère était sous la même forme. Et soudain, on s'est aperçu qu'il n'en était rien. Mais cela va plus au fond. Cela explique une

différence prodigieuse entre les métazoaires dits supérieurs, les "cordés" et les insectes: les insectes ne connaissent pas ce système. Les insectes sociaux, par exemple — qui sont tellement malins et intelligents — c'est extraordinaire de faire une ruche ou une termitière — n'utilisent pas la méthylation de l'ADN. C'est quelque chose que l'on ne rencontre que dans les formes supérieures. Mais on s'aperçoit, par exemple, que chez nous cela nous donne la clé de certaines maladies. Je ne me suis pas étendu parce que je ne voulais pas être trop long, mais cela change quand même beaucoup la façon dont nous concevons la génétique humaine par exemple. Nous connaissons aujourd'hui des enfants qui souffrent d'une maladie redoutable alors qu'ils ont reçu les gènes normaux, et des chromosomes normaux mais que le deux éléments chromosomes d'une des paires sont venus d'un seul des parents, soit le père soit la mère, au lieu d'en recevoir normalement un de papa et un de maman. Bien que l'information soit normale sur ces chromosomes, cela donne deux maladies différentes, en miroir, selon que le chromosome vient du père ou de la mère. Cela modifie tout ce que nous savions jusqu'ici. On ne pouvait pas croire que cela existait. Maintenant on le sait. Aucune découverte ne vient contredire ce que l'on avait bien établi depuis certaines années, mais, brusquement, un fait nouveau permet de comprendre tout un pan de l'ignorance qui n'était pas expliqué par la théorie précédente, pas trop complète. Mais la nouvelle théorie ne sera pas non plus suffisamment complète. Dans deux ans, on en reparlera et ça sera encore plus intéressant!

### CHAGAS

Non, j'ai employé le mot "change" parce que j'ai pensé en portugais, et là il y a une autre signification.

### LAMBO

I wonder how far have the other dissidents helped to support their theories. I am thinking now in terms of anthropological findings, of mammals, of geology. How far have

these been able either to support or to reject some of these theories that they hang on to so passionately?

DE DUVE

As far as I am concerned, I do not think there is any geological or paleontological evidence that would support one or the other because we are dealing with phenomena that are much earlier and that happen on a different level in nature.

ARBER

J'aurais juste aimé donner un complément d'information concernant la méthylation. On sait depuis 25 ans que les bactéries marquent leur génôme d'une manière propre à chaque souche de bactéries par la méthylation. C'est donc un phénomène très semblable à ce marquage.

LEJEUNE

Oui, Je voudrais juste dire un mot parce que, effectivement, chez les bactéries ce n'est pas utilisé pour la même chose. Chez les bactéries, ça permet que les enzymes de restriction, que fabrique la bactérie, n'attaquent pas justement la séquence qu'elles ont protégée par la méthylation, si j'ai bien compris.

ARBER

Ça dépend un peu de comment on interprète l'utilité des systèmes de restriction qui réside dans la possibilité de réduire à un taux tolérable l'échange horizontal d'information génétique. L'ADN provenant d'une souche bactérienne donatrice est coupé en morceaux après avoir pénétré dans une souche receptrice. Jusqu'au moment où ils sont complètement dégradés par des exonucléases, des morceaux d'ADN ont des fois une chance d'être intégrés dans le génôme bactérien et de donner ainsi leur information à la souche receptrice. Ceci est un promoteur très important de l'évolution biologique.



## MALU

Monsieur le Président, quand on parle de l'origine de la vie comme l'a fait le Professeur de Duve et de l'origine de l'être comme l'a fait le Professeur Lejeune, je me pose toujours dans mon esprit le problème de la place de l'intime conviction comme source de connaissance. J'ai toujours l'impression que l'intime conviction que l'on a influence les presupposés et donc les résultats. Ainsi une probabilité devient une quasi certitude et les lois se déterminent également en fonction de cela. Nous touchons ici l'élément culturel, et je souhaiterais que les deux intervenants cet après-midi puissent commenter sur cette affirmation.

## LEJEUNE

Je crois effectivement que notre ami Malu pose une question très grave. C'est que notre conception même de la science n'est pas indépendante de notre conception de l'être et de la nature. C'est vrai qu'il y a deux façons de parler d'une probabilité: celle de dire qu'elle est extraordinairement petite et celle de dire qu'il y a tellement d'événements qui pourraient se produire que bien qu'elle soit petite, elle devient très vraisemblable. Si vous me permettez, je m'en tirerai par la réflexion de Chesterton sur l'optimiste - qui croit que ça va se faire absolument, nécessairement - et le pessimiste qui croit que c'est tout à fait impossible et qu'il est très étonnant que cela soit arrivé. Et Chesterton disait (mais n'y voyez aucune allusion personnelle), il disait: l'optimiste est un imbécile heureux, le pessimiste est un imbécile malheureux. Le scientifique n'est ni heureux, ni malheureux, il essaie de ne pas être un imbécile.

## DE DUVE

Permettez-moi quand même d'ajouter une chose. Je suis entièrement d'accord avec Monsieur Malu. Nous sommes tous des hommes, nous avons tous nos préjugés, nous ne sommes donc jamais parfaitement objectifs; l'objectivité parfaite n'existe pas. Je suis heureux d'être un imbécile heureux plutôt qu'un

imbécile malheureux, j'ai au moins une chose dont je dois me féliciter. Mais permettez-moi quand même de dire que si je dis "ça doit s'être passé comme ça" c'est un raisonnement statistique qui me le fait dire et qui se résume en ceci. Si ça ne s'était pas passé d'une manière à peu près déterministe obligatoire, ça ne se serait jamais passé. Et alors là on peut discuter, on ne va pas commencer à aligner des chiffres.

JAKI

I would like to return to the question of life and the very favourable physical conditions that Professor Townes mentioned, and then to the fact that you pointed out that those very favourable physical conditions should operate within a relatively very short time. It may be that there are such possibilities in the fact that we have known for about twenty years that the solar system passes, in a cyclic way, through the main plane of the galaxy and each time it goes through the main plane of the galaxy it suffers enormous physical catastrophes. These physical catastrophes, largely due to meteoric bombardments, create conditions for life that are very different from the steady conditions prevailing during the previous 26 or 32 million years. These conditions produce their effects in very short times, so we see in the geological record the sudden extinction of, say, eighty-five to ninety per cent of all forms of life, and the sudden rise of an enormous number of new species.

If we go back in geological history and we know that the solar system has been going through this cyclic motion for the previous four billion years if not five billion years, these conditions that prevail during those short transitional periods should change. So we may go back between four and a half and three and a half billion years ago in which there may have been exactly such physical conditions that your theory may demand and may find. My question is whether you know of any investigation in that direction.

## DE DUVE

I am not familiar with any work of that kind. I am of course familiar with the recent work about the extinction of the dinosaurs and other species and the big controversies about whether it is due to volcanic activity or to large meteorites.

# COSMIC EVOLUTION, PREDICTABILITY AND THE LIMITS OF SCIENTIFIC COSMOLOGY

MARTIN J. REES  
Institute of Astronomy,  
University of Cambridge

## 1. INTRODUCTION

The concept of evolution is familiar in the contexts of geology and biology, and has in those fields been part of the consensus for more than a century. As Charles Darwin wrote, in the final page of his *Origin of Species*, 'while this planet has been circling on according to the fixed law of gravity, from so simple a beginning forms most wonderful have been and are being evolved'.

Astrophysicists and cosmologists aim to trace things back *before* Darwin's "simple beginning": to set our Solar System in a grand evolutionary context stretching right back to the formation of the Milky Way Galaxy — right back, even, to the initial instants of the big bang that set our entire universe expanding. The cosmos is a unity: each atom of carbon or oxygen in our bodies was forged in some ancient star somewhere in the Milky Way; each galaxy is a kind of ecological system in which stars are continually being born and dying, their gaseous content being recycled and enriched with chemical elements as the evolution proceeds. The physical laws governing these processes are themselves imprinted in the early stages of the big bang.

## 2. STARS AND THE HISTORY OF MATTER

Stars spend most of their lives as 'gravitationally-confined fusion reactors' converting hydrogen into helium, and then 'processing' helium further up the periodic table. The essential processes involve atomic and nuclear physics; before the 1920s,

progress was hindered by our ignorance of these subjects, but over the last 50 years the structure and evolution of 'normal' stars has come into clearer focus, and is now generally well understood. The final stages of stellar evolution, however, hold many mysteries. Some stars heavier than the Sun expire violently as *supernovae*. Supernovae explosions signal the violent endpoint of stellar evolution: a star too massive to become a white dwarf exhausts its nuclear energy and then faces a sort of energy crisis. Its core catastrophically implodes releasing so much gravitational energy that the outer layers get blown off.

Nearby supernovae are rare, and an important recent astronomical event was the appearance, in 1987, of a bright supernova in the southern sky — the nearest and brightest by far of modern times — whose evolution has, ever since, been followed closely by ground-based telescopes (as well as from space, which allows observations of X-rays from shocked material, and gamma rays from radioactive nuclei synthesised in the explosion).

Supernovae, even the nearest ones, may seem remote and irrelevant to our own origins. But on the contrary, only by studying the births of stars, and the explosive way they die, can we tackle such an everyday question as *where the atoms we are made of came from*. The respective abundances of the elements of the periodic table can be measured in the Solar System, and inferred spectroscopically in stars and nebulae. The proportions in which the elements occur display regularities from place to place, which certainly demand some explanation.

Complex chemical elements are an inevitable byproduct of the nuclear reactions that provide the power in ordinary stars. A massive star develops a kind of 'onion skin' structure where the inner hotter shells are 'cooked' further up the periodic table. The final explosion ejects most of this processed material. All the carbon, nitrogen, oxygen and iron on the Earth could have been manufactured in stars that exhausted their fuel and exploded before the Sun formed. The Solar System would then have condensed from gas contaminated by the debris ejected from earlier generations of stars. These processes of *cosmic nucleosynthesis* can account for the observed proportions of different

elements — why oxygen is common but gold and uranium are rare — and how they came to be in our Solar System.

Each atom on Earth can be traced back to stars that died before the Solar System formed. A carbon atom, forged in the core of a massive star and ejected when this exploded as a supernova, may spend hundreds of millions of years wandering in interstellar space. It may then find itself in a dense cloud which contracts into a new generation of stars. It could then be once again in a stellar interior, where it is transmuted into a still heavier element. Alternatively, it may find itself out on the boundary of a new solar system in a planet, and maybe eventually in a human cell. We are literally the ashes of long dead stars.

This concept of *stellar nucleosynthesis*, is one of the triumphs of astrophysics in the last forty years. It sets our Solar System in a kind of ecological scheme involving the entire Milky Way galaxy. The particular mix of elements that we find around us is not ad hoc, but the outcome of transmutation and recycling processes, whose starting point is a young galaxy containing just the lightest elements.

### 3.GALAXIES AND THEIR ACTIVE NUCLEI.

It has been clear since the work of Hubble and Shapley in the 1920s that our Milky Way, with its  $10^{11}$  stars and scale of about a hundred thousand light years, is just one galaxy, similar to millions of others visible with large telescopes.

We don't yet have an agreed understanding of *why* galaxies exist — why stellar aggregates with these characteristic sizes and shapes dominate the large-scale cosmic scene. Theories of galactic structure are still at a similar primitive stage to our understanding of stars 50 years ago. Given initial masses of the appropriate dimensions (whose origin lies within the cosmologist's province), the physics that determines galactic morphology is nothing more exotic than Newtonian gravity and gas dynamics. But this does not make the phenomenon easy to quantify, any more than weather prediction is easy.

Some peculiar galaxies, though, are more than just a 'pile' of stars, and harbour intense *superstellar* activity in their centres. Most extreme are the *quasars*, where a small region no bigger than the Solar System outshines the entire surrounding galaxy; and the so-called radio galaxies, whose most conspicuous output is not visible light, but radio waves. In such galaxies, gas and stars have accumulated in the central potential well until gravity overwhelms all other forces and a *black hole* forms. Here we need to draw on the theory of *general relativity*: Einstein's invention of this theory was not motivated by any observational enigma, but rather by the quest for simplicity and unity; any prospects of observing strong field gravity seemed remote. But ever since active galaxies were discovered, relativists have been, in T. Gold's words "not merely magnificent cultural ornaments, but actually relevant to astrophysics".

The renaissance in general relativity in the 1960s stemmed not only from observational advances, but also from the deployment of novel mathematical techniques. Gravitational collapse, however asymmetrically it occurred, was found to lead to black holes whose properties could be exactly specified in terms of just two parameters: mass and spin. To quote S. Chandrasekhar (1983) "The black holes of nature are the most perfect macroscopic objects there are in the Universe: the only elements in their construction are our concepts of space and time. And since the general theory of relativity provides only a single family of solutions for their descriptions, they are the simplest objects as well".

It's about 25 years since the phenomenon of active galactic nuclei was first recognised. Looking back over that period, progress seems disappointingly slow. Sometimes one has the illusion that progress is rapid, but we've really had a rather slow advance, with 'sawtooth' variations superimposed on it as fashions come and go. But there *is* now a fair consensus that the central 'prime mover' in active galaxies involves a spinning black hole as massive as a hundred million suns, fuelled by capturing gas, or even entire stars. This captured debris swirls downward into the hole, carrying magnetic fields with it and moving nearly at the speed of light. At least 10% of the rest mass

energy of the infalling material can be radiated; further energy can be extracted from the hole's spin. Some of us are hopeful that these ideas can be put on a firm quantitative basis, just as our theories of stellar evolution have been. If so, this would offer real opportunities to learn whether black holes really behave as theory predicts.

Active galactic nuclei are a bafflingly varying zoo, and we need lots more data and larger samples to clarify their taxonomy. This violent nuclear activity, manifested in a quasar or a strong radio source, is thought to be a rather brief transient phase in the lifetime of a single galaxy. This means that dead quasars — massive black holes, now starved of fuel — may lurk in the nuclei of many galaxies. Quite recently, in fact, the inner parts of some nearby galaxies, including our nearest neighbour the Andromeda galaxy, have been studied accurately enough to infer that the stars nearest their centres are orbiting around a dark compact mass which answers the description of a black hole of many millions of solar masses. Such an object could be almost quiescent, but not quite. Now and again a star would pass so close to this hole that tidal forces would shred it apart. And we would then see a flare existing for just as long as it takes the debris to be swallowed or expelled from the hole's vicinity.

#### 4. THE EXPANDING UNIVERSE

The other arena where Einstein's theory is crucial is *cosmology*, the description of our universe as a single dynamical entity. Scientific cosmology has only proved possible at all because the observed universe, in its large-scale structure, is simpler than we had any right to expect. It is of course sensible methodology to start off making simplifying assumptions about homogeneity, symmetry, etc. and cosmologists did this: indeed, back in the 1920s, Friedman, Lemaitre, and others devised cosmological models based on Einstein's relativity. But what *is* surprising is that these models remain relevant, and the simplifying assumptions have been vindicated.

Cosmologists are concerned with vast intergalactic scales of distances. With a large telescope one can probe billions of light



years into space, and in this perspective even entire galaxies are just markers or test particles which indicate how the material content of the universe is distributed.

Galaxies are clustered. Some are in small groups like our own Local Group, of which the Milky Way and the Andromeda Galaxy are dominant members. Others are in big clusters with hundreds of members. Moreover, sometimes the clusters themselves are in groups, and within the last few years there has been great interest in the study of large-scale filamentary or sheet-like structures traced out by the galaxies. But nevertheless, on the largest scale the universe seems simpler and smoother. If one imagined a box whose sides were a few hundred million light years, dimensions still small compared to the observable universe, its contents would look about the same wherever we placed it. There is in other words a well-defined sense in which the universe is roughly homogeneous. The brightest million galaxies are fairly uniform over the sky, and as we look at still fainter galaxies, probing to greater distances, clustering becomes less evident and the sky appears smoother. Unless we are anti-Copernican and design ourselves a privileged central position, this apparent isotropy implies that the universe is roughly isotropic around any galaxy, that the universe is homogeneous, and all parts evolved in the same way and had the same history.

The apparent expansion of the Universe — the proportionality between redshift and distance first noted by Hubble in 1920 suggested that galaxies would have been crowded together in the past, and that there was some kind of “beginning” 10 or 20 billion years ago. This assumption was however not mandatory (and was, for instance, completely evaded in the steady state theory). However, the big bang concept was vindicated by the discovery in 1965 of the *microwave background* radiation. This was hard to interpret except on the assumption that it was indeed a direct relic of the hot primordial fireball. As the universe expanded, the radiation would have cooled, its wavelength being stretched, until it was now in the microwave band, making the temperature of intergalactic space still about 3 degrees above absolute zero. This discovery, together with calculations that the big bang could account for the longstanding

problem of cosmic helium, led to a sudden shift in cosmological opinion in favour of the big bang (just as sharp as the transition in geophysical opinion towards the concept of continental drift in about the same year).

The background radiation, whose spectrum has now been established by the COBE satellite to have a very precise black body spectrum, has bought the early universe within the framework of quantitative scientific discussion. It is, moreover, exceedingly isotropic over the sky — no intrinsic deviations from isotropy have yet been discovered, even at the level of a few part in  $10^3$ . These observations enhance our confidence in the applicability of the simple cosmological models based on general relativity; they also, by offering direct evidence of an early phase when the universe was smooth and structureless, bring into sharper focus the problem of how galaxies and cluster emerged.

The gravitating structures in the present universe could have evolved from small-amplitude perturbations — regions of slight initial overdensity which lagged further and further behind the mean cosmic expansion, and eventually condensed out into bound systems. The first galaxies formed when the universe was perhaps 10 per cent of its present age. An exciting observational development in recent years has been the possibility of directly observing objects whose light set out at the epoch when galaxies were first forming. Quasars, the most highly luminous active nuclei of galaxies, are now being seen (in some cases) so far-away that the light from them set out when the universe was less than one-fifth of its present scale. (These objects are so redshifted that the Lyman alpha line, emitted in the far ultra-violet, appears in the red part of the visible spectrum). Observations of quasars reveal that the cosmic scene was much more violent when galaxies were young. The runaway catastrophes that create massive black holes mainly happened early in galactic history when less gas was locked up in stars and more was still available to fuel the central monster. Galaxies without hyper-luminous nuclei (*ordinary* galaxies) are exceedingly faint at these same great distance, so we know less about them. However, the latest

sensitive detectors have recently revealed huge numbers of objects close-packed all over the sky which are probably young galaxies, at the stage perhaps when protogalactic clouds are still contracting to form a disc. These remote protogalaxies appear merely as faint smudges and nothing else. It was hoped that the Space Telescope, immune to the blurring effects of the Earth's atmosphere, would image these objects sharply enough to show their shape and form; but because of its optical problems this is now less likely. Nonetheless astronomers aim eventually, in effect, to get 'snapshots' of groups of galaxies at different distances and different evolutionary stages, and thereby directly trace how galaxies — ellipticals, discs and the rest — emerged from their amorphous beginnings at high redshifts and early epochs.

## 5. DARK MATTER

The Sun, 4.5 billion years old, is now about half way through its active life, and will exhaust its hydrogen fuel in about 5 billion years, it will then swell up into a red giant, engulfing the inner planets including the Earth, before settling down to a quiet demise as a white dwarf. At about that same time, the Andromeda Galaxy, now falling towards our Milky Way, may collide with it, creating as the merger product a vast amorphous elliptical galaxy. But what if we look further ahead still? Will our entire universe expand forever, and the galaxies fade and disperse into an ultimate heat death? Or will it recollapse, so that our descendants share the fate of an astronaut who falls into a black hole, the firmament falling on their heads to recreate a fireball like that from which our universe emerged? It is straightforward to calculate that, if the mean cosmic density were more than 3 atoms per cubic metre, the expansion would eventually come to a halt, to be followed by collapse to a big crunch. On the other hand, were the average density below this "critical" value we would expect expansion to continue forever.

If all the stars and gas in galaxies were spread uniformly through intergalactic space, they would contribute less than 0.1 of an atom per cubic metre, which falls far short of the critical

density. But could there be more material that is less conspicuous? There is, after all, no reason why everything in the universe should shine conspicuously.

Over the last fifteen years, astronomers have indeed become convinced that there is about 10 times as much material in 'dark' form as we see directly. Studies of galactic rotation, and the motion of galaxies in groups, suggest that the luminous part of a galaxy is embedded in a much more extensive halo, weighing 10 times as much. What could this dark matter be? One possibility is *low mass stars*, less than a tenth as heavy as the Sun, which would be very faint because their centres would not get hot enough to ignite nuclear fuel. Alternatively, many *black holes* could exist, as remnants of a generation of big stars which were bright when the galaxy was young but have now died. Astronomers are attempting to find evidence for such objects, via gravitational lensing, or infrared observations. The fact that 90 per cent of their mass is unaccounted for is a rather embarrassing stumbling block to our attempts at understanding galaxies.

To physicists, low mass stars or black holes are rather dull options for the dark matter. There are many other possibilities. The big bang may have left not just atoms and radiation, but other particles as well. In particular, according to the standard big bang theory, neutrinos are almost as abundant as photons: there would be about a hundred million of them for every atom in the universe. Even if they had a very tiny individual mass, their cumulative effects on the dynamics of the cosmos could be important. It is however still controversial whether they have any mass at all. (This question may soon be clarified, incidentally, by astronomical observations of a very different kind — searches for neutrinos from the core of the Sun).

Neutrinos have the virtue of being known to exist, but inventive particle physicists have come up with a long shopping list of relics that *might* exist. The most theoretically-favoured option is some kind of electrically weakly interacting massive particles, WIMPs for short, which might be as common as ordinary atoms, and each weigh a few times as much as an ordinary nucleus. Experimental searches for such particles,

which would pervade all of space, are currently being planned, and are among the most potentially important high-risk experiments in physics today. Even the optimists carrying out these experiments would not rate the chance of success as being as much as 50 per cent. On the other hand, detection of WIMPs would not only reveal a new class of elementary particle, but also tell us what 90 per cent of the universe was made of — it would be at least as momentous a discovery as that of the microwave background in the 1960s.

If the dark matter were in such an exotic form, cosmic modesty would need to be taken one stage further. Copernicus dethroned the Earth from a central position. Shapley and Hubble showed that even our Sun is not in any special place. But now even 'particle chauvinism' might have to go. We ourselves, along with all the stars and galaxies that astronomers study, may be just traces of sediment or puddles in a universe whose large-scale structure is controlled by the gravity of quite different, and so far unknown, particles.

## 6. THE LONG-RANGE FORECAST

Dark matter is important for understanding galaxy formation, and determining what holds galaxies in equilibrium. But what does it imply for the universe? Even if we include all the dynamically-inferred dark matter in galaxies and clusters, the mean density still falls short of the critical value by a factor of about 5. But there could be some still more elusive material between clusters and galaxies. Until our knowledge of dark matter candidates is less incomplete, we will not know whether the mean density of the universe is as high as the critical value or not.

It is interesting, therefore, to consider both eschatologies. What would happen if the universe were to recollapse? The redshifts of distant galaxies would then be replaced by blueshifts, and the galaxies would crowd together again. Space is already becoming more and more punctured as black holes form from dense stars and galactic nuclei. But this would then just be a precursor of a universal squeeze to a big crunch where

everything gets engulfed. Galaxies merge, and the stars move faster, just as atoms in the gas would move faster, as the compression proceeds. Surprisingly, what eventually destroys the stars is not collisions with others, but the problem they face when the night sky, the blueshifted radiation from everything else, becomes hotter than their interiors. The final outcome would be a fireball like that which initiated the universe expansion, but more lumpy and unsynchronised. When will this happen? If the density were about twice the critical value, it would be about 50 billion years from now, so our breathing space would be at least ten times the future lifespan of the Sun. If the density exceeded the critical value by just a tiny amount, the cycle would last much longer, and stars might all have died out before the collapse.

But what about the other case when there is not enough gravitating stuff ever to halt the universal expansion? The universe then certainly has enough time for all processes, even the slowest, to run down. Throughout cosmic evolution, there is an inexorable trend for gravitational binding energy to be released as stars, galaxies, and clusters progressively contract. This trend can be delayed by rotation, nuclear energy, and the sheer scale of astronomical systems which makes things happen slowly and staves off gravity's final victory. But if the universe expands indefinitely then even the slowest processes can run their full course. Even the most slowly-burning stars will die. Galaxies will experience slow evolution, black holes will grow. Even protons may not live forever, and black holes eventually decay via a process called 'quantum evaporation', the mass-energy of everything they ever swallowed being recycled back into radiation.

Will our descendants have the opportunity to survive an infinite future, or will they be extinguished in the big crunch a few tens of billions of years hence? We need a more complete inventory of what is in the universe, by observing in all wavebands, searching for black holes, and understanding all kinds of exotic particle, before we can pronounce a reliable forecast for the next undred billion years.

## 7. THE VERY EARLY UNIVERSE

Although these two alternative futures seem very different, the initial conditions that could have led to anything like our present universe are actually highly restrictive compared to the range of possibilities that might have been set up. We know that our universe is still expanding after 10 billion years. Had it recollapse sooner, there would have been no time for stars to evolve.

Indeed, if it had collapsed after less than a million years it would have remained opaque, precluding any thermodynamic disequilibrium. On the other hand, the expansion cannot be too much faster than the critical rate. Otherwise gravity would have been overwhelmed by kinetic energy and the clouds that developed into galaxies would have been unable to condense out. There is therefore a sense in which the dynamics of the early universe must have been finely tuned. In Newtonian terms the initial potential and kinetic energies must have been very closely matched. It is like sitting at the bottom of a well and trying to throw a stone up so that it just comes to a halt at the top. This requires careful adjustment of the initial speed.

Why was the universe set up expanding in this special way, rather than expanding too fast or recollapsing very soon? The answer to this question lies, if it lies anywhere, right back in the initial instance of the big bang.

I have already outlined the evidence for a big bang. How strongly should we believe it? My personal assessment is that one should place 90 per cent confidence on extrapolation back to times of order 1 second, when, according to the theory, helium and deuterium were made. Despite this confidence, one must not be *too* dogmatic. As evidence has firmed up over the last 20 years, the theory has indeed displayed gratifying consistency. We have not found any stars vastly older than the Hubble time; there are no objects whose helium abundance is definitely below about 23 per cent; and no species of neutrino is known to have a mass in the keV or MeV range (which would imply that relic neutrinos contributed far more than the critical density. But self-consistency does not guarantee truth. Our satisfaction may be

as illusory as that of a Ptolemaic astronomer who has just fitted a new epicycle.

One cannot be so confident about extrapolating still further back, because, as conditions become more extreme—with progressively higher energies, temperatures, and densities—one has less confidence in the adequacy or applicability of known physics. Explanations of why the universe contains the observed mixture of matter and radiation, and why its expansion was ‘fine tuned’ close to the critical rate, must be found, if anywhere, in a better understanding of the earliest phases of the big bang. Moreover, these phases are interesting to particle physicists because there is no other location where energies were achieved high enough to test crucial aspects of unified theories.

We are accustomed to situations in astronomy when we are held up by not knowing enough of the relevant physics. For instance, in the 19th century Lord Kelvin did not know what would keep the Sun shining for the long lifetime that had already been inferred by geologists and biologists. The Sun could not have lasted for more than 10 million years, he claimed, unless there were some other power source in the ‘vast storehouse of creation’. We now know that there is such a power source, nuclear fusion. Our present ignorance of the physics governing the first microsecond of cosmic expansion has some analogy with the way ignorance of atomic structure stymied 19th century speculations about the Sun. But there is one important difference: atoms and nuclei were subsequently probed in the lab, whereas the early universe is the *only place* manifesting the ultra-high energy phenomena relevant to cosmology. This makes it hard to test unified theories, but at least offers cosmologists a relationship with their physicists colleagues that is symbiotic rather than parasitic.

Some theorists believe it is no longer premature to explore what physical laws prevailed right back at the Planck time, where quantum effects on the gravitational field itself are crucial. Space-time on this tiny scale may have a chaotic foam-like structure, with no well-defined arrow of time. We must certainly, in discussing this early era, jettison cherished commonsense notions of space and time. One idea which generated euphoric



optimism a few years ago and is still being actively pursued, is that on the tiniest scale space may have extra dimensions. These dimensions are not manifest in the everyday world because they are 'compactified', rather as a sheet of paper, a two-dimensional surface, might look like a one-dimensional line if rolled up very tightly.

Studies of the early universe now engage the interests of many leading physicists. Scientists normally focus on small bite-sized aspects of the world, because only thereby can they make progress. But it now is not just cranks who try to solve all the fundamental problems of physics in one go.

What is the chance of answering fundamental questions about the structure of the universe? Is it absurdly presumptuous even to try? I don't think so. It is in one sense remarkable that any progress has been made at all in cosmology. This is because the laws of physics we study in the lab, and which our brains are somehow attuned to understand, apply not just here but in the remotest quasar, and in the early universe. Were this not so, were there not a firm link with local physics, cosmology would descend to the level of *ad hoc* 'just so' stories.

But there is another ground for optimism. It is complexity, and not sheer size, that makes things hard to understand. We know less about the centre of the Earth than about the centre of the Sun. Condition in the Sun are more extreme which means that no complex chemicals can survive. By extension, in the earliest universe, everything must have been broken down into its simplest constituents. The early universe may therefore be more amenable to mathematical description than many small and familiar, but more complex phenomena.

## 8. FINE TUNING?

I mentioned earlier the evidence for apparent 'fine tuning' in the way the universe was set up expanding at just the right rate. This has led some physicists to highlight other apparent coincidences in the physical laws, and to develop the somewhat controversial theme of 'anthropic cosmology'. I will not enter this subject here, except to remark on the crucial role played by *gravity* in the cosmos.

Gravity holds together individual stars and entire galaxies, and two peculiar features of this force are crucial for the cosmogonic process. The first is that gravity drives things *further* from equilibrium: as gravitating systems *lose* energy, they get *hotter*. A homely instance of this is the way an artificial satellite speeds up as it spirals downward due to atmospheric drag. To give another example, if the Sun's radiative losses were not compensated by nuclear fusion, it would contract and deflate, but would end up with a *hotter* centre than before. To establish a new and more compact equilibrium where pressure can balance a stronger gravitational force, the central temperature must *rise*. From the initial big bang to our present Solar System, this 'anti-thermodynamic' behaviour has been amplifying density contrast and creating temperature gradients, a prerequisite for the emergence of any complexity.

The second key feature of gravity is its *weakness*. In a single hydrogen molecule, the force of gravity is about 36 powers of 10 weaker than the electrical binding forces. However, whereas in any large object the positive and negative electric charges almost cancel, everything has the same sign of gravitational charge. The relative importance of gravity grows roughly as the two thirds power of the mass involved. A body must therefore contain about  $10^{54}$  atoms before gravity starts to crush it. This corresponds to about the mass of the planet Jupiter, and anything much larger than this would be compressed and would in effect become a star. It is because gravity is so feeble that stars are so big. If gravity were somewhat stronger, for instance 20 rather than 26 powers of 10 weaker than microphysical forces, a small scale speeded up universe could exist, in which stars (gravitationally-bound fusion reactors) had  $10^{-15}$  of the Sun's mass, and lived for less than a year. This might not allow enough time for complex systems to evolve: there would be fewer powers of 10 between astrophysical timescales and the basic microscopic timescales for physical or chemical reactions. Cosmic structures, moreover, could not get very large without themselves being crushed by gravity. Our universe is vast and diffuse, and evolves so slowly, because gravity is so weak. Its

extravagant scale is necessary for interesting complexity to evolve.

A force like gravity is essential if structures are to emerge from amorphous beginnings. But, paradoxically, the weaker it is, the grander and more complex are its consequences. For life like us to evolve, there must be time for at least one generation of stars to have evolved and died, to produce the heavy elements, and then time for the Sun to form and for evolution to take place on the Earth. This takes several billion years. When the universe is that old, it will of course be several billion light years across. The extravagant scale of the universe is necessary to allow enough time for life to evolve on even one planet around one star.

This is an example of 'anthropic reasoning', the general line of argument that the Copernican principle, cosmic 'modesty', should not be taken too far. We may not be justified in assigning a central position to ourselves, but it may be equally unrealistic to deny that our situation is privileged in any sense. In its mildest form, anthropic reasoning is simply a proper allowance for observational selection. Given the brute fact that we are a carbon-based form of life slowly evolved around a G-type star, there are some features of the universe, some constraints on physical constants, which can be inferred quite straightforwardly. Some theorists go a step further, and regard it as worthy of note that a universe exists around us where the physical laws and constants permit *anything interesting* to have happened, whereas one might have imagined a 'stillborn' universe where nothing could evolve. Can we justifiably go beyond a subjective expression of surprise that the requisite delicate balances seem to prevail?

The eventual status of anthropic arguments will, I think, depend on what the laws of nature are really like. If these laws turn out to involve some random or statistical element, then the idea of an ensemble of universe could be put on a serious footing. It could then be natural selection, not a mere accident, that our universe (that is the part of space-time that we can observe) has the particular values of physical constants that we measure. Some theories involving symmetry-breaking at high

temperatures just after the big bang indeed suggest that different universes, or different parts of an infinite universe, could have cooled down after the big bang ending up governed by quite different laws. An infinite universe could be divided into domains in each of which the physics could be different. Complex evolution would occur only in "oases" where the constants, the numbers of dimensions, etc. have propitious values. Our oasis must then be at least 10 billion light years across because the physical laws seem the same everywhere our telescopes can probe. But the desert regions beyond may in principle be observable in the remote future, when, maybe  $10^{12}$  years or more from now, light from the edges of our domain has had time to reach us. This time delay is, to be sure, a practical impediment to empirical tests. But in its conceptual status the situation is no different from the conjectures of early cosmographers about continents beyond the horizons of the then-known world. The ensemble of such domains could encompass all possible values of the fundamental constants, and even different dimensions.

Others think of the different universes as having some kind of temporal ordering, or even being causally quite disjoint from ours. The most sophisticated version of this is due to the Soviet physicist Linde. According to his version, our "universe", itself extending far beyond the 10 billion light years we can so far see, may be just a 'bubble' linked to others in a magnificent infinite ensemble.

Some physicists, however, believe that the real universe is not allowed the statistical freedom and randomness envisaged by Linde. If there were a unique theory, determining uniquely the strengths of the forces and the masses of elementary particles, then there would be no role for anthropic natural selection. But it would then seem oddly coincidental, or even providential that the constant determined by high energy physics happened to lie in the narrowly-restricted range that allowed complexity and consciousness to evolve in the low-energy world we inhabit. The intricacy of the consequences allowed by the unique laws might seem astonishing, but we would have to accept that our reaction would be no less subjective than that of a mathemati-

cian surprised at the intricately-interrelated deductions stemming from a few simple axioms, or by the discovery that something as amazingly complex as Mandelbrot's set can be specified by a two-line algorithm.

Even if all the basic laws could be subsumed to a single set of equations, there would still be a philosophical mystery about *why* there *is* a universe. And these equations, even if we know them and could write them down, would help us not at all in tackling most of the challenging questions we can ask about the natural world. These mainly involve old-fashioned atomic and nuclear physics. The subnuclear world and its uncertainties are generally irrelevant to larger-scale phenomena, just as the atomic structure of liquids provides no practical clues to the unexplained complexities of turbulent flows in the air and ocean. We are not dealing with a tower or ladder where weakness at the base imperils all deductions about higher-scale structures. We can in principle write down the equations (essentially Schrödinger's equations) governing any everyday physical process but we cannot solve these equations even for single molecules, let alone for anything larger. Nor, even if we could, would the initial data be accurate enough to permit useful predictions. So even 'reductionists', who believe all phenomena can be reduced to physical fundamentals cannot hope to be 'constructionist', in the sense of deriving a full understanding of complex systems from their atomic constituents. Sciences will always be in a hierarchy where each level of structure entails new irreducible concepts.

All that has happened in the universe over the last 10 billion years, the emergence of galaxies, the formation of their constituent stars, and the intricate evolution on a planet around at least one star that has led to creatures able to wonder about it all, may indeed be implicit in a few simple equations. But exploring all the consequences of those equations is an unending quest: a challenge to our intelligences, and to any other intelligences that may evolve.

## DISCUSSION

## MOSHINSKY

I have had the occasion of meeting Professor Weisskopf in many places and times, and now I am here. I heard him in 1967 in Stonybrook and at that time the quark hypotheses were relatively new and he told us that he would be very disappointed if one had to invent a third spectroscopy besides the atomic and the nuclear one. Certainly this was invented and he was one of the inventors. So my question is whether this is not an indefinite task, that is, whether there will not be a fourth, a fifth or a sixth spectroscopy, if there is any chance that some time we will get a real final theory of elementary particles.

## WEISSKOPF

The question which you ask me cannot be answered. You can express hopes, you can have beliefs in this. It is perhaps interesting to observe that the very famous scientists always believed that there is a final theory. Heisenberg spoke about the world formula. Einstein was looking all his life for the final formulation. I personally — I am not in this group — but I do not believe in this. I think, but this is a purely personal belief, that nature is inexhaustible. The more we look the more we find, in all directions, the intensive and extensive directions. Therefore, I think, if you really want to know my personal opinion that has no scientific grounding, it is that there will be a fourth, a fifth and sixth spectroscopy, whether it will be a spectroscopy, I do not know, but I think the deeper we go, the higher we go, the more we will find.

## MALU

I wonder, Mr President, if Professor Weisskopf will agree with the following proposition concerning the change he talked about. I quote: "The biggest challenge that has occurred in

physics and in related sciences is the fact that we have discovered that complexity is in the heart of many situations we considered previously as simple". If you agree with this proposition, what are the cultural implications of that acceptance?

### WEISSKOPF

That needs many hours to discuss. I would say that I would not quite express it the way you say, namely that the simple processes have become complicated. There are simple processes in nature. If there were not, science would not have developed. We can, for example, in the laboratory isolate certain regions, making experiments, excluding influences, and then get to very simple resources, in electricity or in any field, atomic physics, even particle physics. The question only is how special is that? How well does that apply to nature in general.

Then comes the question of what you are interested in. Certainly, if you look at nature, you see an enormous diversity of phenomena and the further science develops, the more we are able to understand, or get near to an understanding, of more complex phenomena. So complexity in a way is in the beholder, not outside in nature. Nature is the way it is. If something is complex to us, it means we are not able to understand it. Since science has developed so fast in the past decades, we are aware of more and more complex situations. There is hope that we can understand them. Indeed, we have to because — and I come now to the more practical things — naturally those things where we really suffer, where we have to improve the world, are usually very complex situations. This is where we are in a way forced to get hold of the complex.

### LEPRINCE-RINGUET

Je voudrais demander a Monsieur Rees: "Vous n'avez pas parlé des neutrinos comme matière noire. Or, des neutrinos, on ne connaît pas la masse. Est-ce qu'elle est nulle, est-ce qu'elle n'est pas nulle? On a des incertitudes. Est-ce que, éventuellement, la masse des neutrinos présents dans l'Univers peut inter-

venir dans l'expansion ou au contraire dans le collapsé de l'Univers?

REES

As you know, we do not have a measure of the mass of the neutrino. It was traditionally thought it might be zero. In order to be important for the dynamics of the universe, one species of the neutrino must have a mass between 10 and 100 electron volts. This is consistent with all observations and experiments, but at the moment we do not know empirically whether neutrinos have that mass. The reason why even such a low mass ( $10^{-7}$  -  $10^{-8}$  that of a proton) could be cosmologically important is that, according to the big bang theory, there are about as many neutrinos in the universe now as there are photons, quanta of radiation, and therefore both these species outnumber the ordinary atoms by a big factor of order  $10^8$  -  $10^9$ .

JAKI

Professor Dicke and I had a small conversation about the oscillating universe, and he pulled out a little unpublished paper from his drawer. He said, assuming certain factors and constants, it can be calculated what is the total energy of our actual universe, and assuming a certain entropy loss in each expansion-contraction cycle, our universe has at most 16,000 cycles. This means that even the oscillating universe is not really oscillating but a linear type of a universe in a somewhat hidden form. Could you please comment on this.

REES

I think there are some problems. In the bounce between the collapse of one phase of the universe and its rebound phoenix-like into a new cycle, the physics is so extreme that we do not really know what is conserved. It is not clear how to apply thermodynamics to that bounce. Also, now we know that particles can be created, and baryon number is not conserved.



We do not really know how the size of the universe is related to its contents.

There are still some conceptual problems with the oscillating universe, but I do not think one can say anything dogmatically about whether it is possible or not. The main worry I have is that the whole idea of the direction of time, and of time's arrow, may not persist in the extreme conditions prevailing in the bounce. Therefore it may make no sense to think in terms of a temporal ordering. In fact, the diagram I showed of Linde's idea is rather like that, but Linde is careful to point out that you cannot directly think of these universes as having any special temporal order.

#### LEJEUNE

Pardonnez-moi, Monsieur le Président, de saisir l'occasion de manifester mon ignorance. Je voudrais poser la question de l'âge de l'Univers. Est-ce qu'en ce moment c'est bien 15 milliards d'années, quelque chose comme ça, et dans ce cas - si c'est à peu près quinze milliards d'années, que signifie le mot "année" qui est le temps que met la terre pour faire le tour du soleil au moment où il n'y a ni terre, ni soleil?

#### REES

Obviously the measurements of time has to be based on something like an atomic clock. I would like to make two comments. First the time since the big bang is uncertain by about fifty per cent because we do not know the cosmic distance scale very well and also we do not know the deceleration. But people talk about an age of between ten and twenty billion years. It is gratifying that the age of the oldest stars, which we can calculate, is of that order but no older. So there is consistency.

In terms of defining the age, I do not think there is a fundamental problem until you get back to the initial microsecond where not even atomic nuclei exist. But certainly you do not need to have anything like a planet. As we extrapolate closer to

the initial instant, progressively more robust and compact "clocks" must be envisaged.

### WEISSKOPF

May I add to this that you do not need to use the earth going around the sun. You can use the electron going around the proton, or the quark moving around in the proton. So there is a transfer of time units which you can use, except you go to the real very beginning where gravity problems come in and then the time loses completely its sense.

### REES

It is a remarkable thing about the world that there are clocks which do agree with each other. If it were the case that different kinds of clock did not change in step, then this would be a problem. There have been speculations along such lines. In fact there was an old theory due to Milne that different kinds of clocks got out of step, one kind depending on the logarithm of the other. It is an important discovery, that as far as we can tell, all clocks do seem to keep the same relative ticking rate. Were that not the case, then there would be a deeper conceptual problem than I believe there is.

PART II

THE RECEPTIVITY OF THE CULTURES  
OF VARIOUS COUNTRIES  
TO SCIENCE AND TO ITS APPLICATIONS

PARTICULARITÉ DE LA SCIENCE  
DANS LE CONTEXTE DE LA CULTURE HUMAINE

BERNARD PULLMAN  
Institut de Biologie Physico-Chimique  
Paris

Monsieur le Président, Mes Chers Confrères,

La culture représente l'ensemble de la production de l'esprit, ce don unique fait par Dieu où l'évolution (selon le point de vue que l'on adopte) à l'Homme. La Science en est une composante importante. La question que je voudrais évoquer ici, brièvement, c'est en quoi elle est particulière, différente des autres composantes, telle la musique, la peinture, la littérature, l'architecture etc., qui par ailleurs lui doivent beaucoup.

La différence la plus évidente, celle qui saute aux yeux, que beaucoup ont remarqué, est que la Science est universelle alors que les cultures, elles, sont diverses. Certains aspects de cette situation ont d'ailleurs été évoqués lors de notre réunion plénière de 1988 sur "la Responsabilité de la Science" par notre confrère Paul Germain, dans sa conférence au titre provocateur "La Science est-elle totalitaire?".

Mes propres réflexions d'aujourd'hui, si elles partent de la même évidence, se proposent d'en approfondir certaines particularités que je crois pertinentes au Thème de notre réunion actuelle.

La caractéristique essentielle de la Science paraît donc être son universalité, sa globalité, sa cohérence qui font que, quelles que puissent être des discussions ponctuelles ou même des querelles de théories à propos de tel ou tel phénomène ou problème, elle représente un édifice commun, une construction cohérente, une mosaïque dans lesquelles s'agglomèrent harmonieusement, s'emboîtent, se fondent les contributions des hommes de Science, de tous les hommes de Science, de tous les temps et de toutes les origines. Certes c'est un édifice, une construction, une

mosaïque en évolution permanente, comportant constamment des modifications des parties déjà formées mais dont l'aspect dominant est une indiscutable *dynamique interne d'extension*, de développement, de perfectionnement, de progrès (bien que je me méfie beaucoup de ce dernier mot). Bien sûr ce développement, ce perfectionnement ne se font pas d'une façon régulière, linéaire, il y a des hauts et des bas, des âges d'or et des périodes noires, mais dans l'ensemble qui pourrait nier que la Science d'aujourd'hui, la connaissance scientifique d'aujourd'hui est plus complète, supérieure à celle de l'antiquité ou de la renaissance ou même à celle d'il y a un siècle?

A la différence de cette globalité, de cette unicité de la Science, les autres formes de culture paraissent être, au contraire, beaucoup plus individualisées, d'une signification plus personnalisée, aléatoire. Elles s'additionnent certes pour constituer le trésor commun de l'humanité mais pas sous forme d'un édifice cohérent, d'une construction globale, mais plutôt comme une juxtaposition d'éléments gardant foncièrement leur individualité originelle. C'est l'union libre plutôt que le mariage. De plus, les évolutions de ces autres formes de culture n'ont pas ce caractère directionnel, perfectionniste de l'évolution de la Science. Qui oserait dire que la peinture d'aujourd'hui est supérieure à celle de la renaissance, ou que la musique d'aujourd'hui est supérieure à celle du 18ème siècle?

Cette différence dans la structure du contenu et la nature de l'évolution entre la Science et les autres formes de culture se rattache, et c'est là que réside je crois l'un des caractères les plus distinctifs de la Science, à la *différence fondamentale quant au rôle des hommes*, créateurs de ces différentes formes de culture. Sans vouloir en rien diminuer le rôle historique des grands génies scientifiques dont les découvertes révolutionnaires, fulgurantes, illuminantes jalonnent les progrès les plus spectaculaires, les avances brutales, explosives, de la Science, je risquerais néanmoins l'affirmation que la Science est essentiellement impersonnelle en ce sens que, pour peu que l'on considère un *temps suffisamment long*, et à moins d'une catastrophe cosmique ou biologique qui arrêteraient brusquement l'aventure humaine dans son ensemble, son développement conduirait inéluctable-

ment à un même bilan total, une même somme des connaissances. Comme l'a si bien dit notre confrère Louis Leprince-Ringuet lors du Symposium sur "La Science et le Monde Moderne", tenu à l'Académie Pontificale en 1978: "Tout ce qui est accessible par la science sera pris par la science". Le rôle des génies, des grands découvreurs est surtout de donner des coups d'accélérateur, de faire prendre des virages prometteurs, de déchirer des voiles qui obscurcissent l'horizon. Ils sont l'instrument important certes d'un destin dont l'accomplissement néanmoins se ferait de toute manière. Ainsi, si Copernic n'avait pas découvert le mouvement de la terre autour du soleil, qui peut douter que quelqu'un d'autre l'aurait fait? L'Eglise en sait quelque chose, elle qui a essayé d'empêcher la terre de tourner. Si Watson et Crick n'avaient pas découvert la double hélice de l'ADN, d'autres l'auraient sûrement fait et ce *serait la même découverte*. Seul "le style" serait différent.

A propos, d'ailleurs, de cette dernière découverte, si décisive pour l'histoire de la biologie moderne, il peut être intéressant de citer, d'une façon anecdotique, quelques remarques de certains des principaux protagonistes qui d'une manière ou d'une autre y ont été impliqués. Comme on le sait, la proposition de l'appariement par liaisons hydrogène des bases adenine-thymine et guanine-cytosine à l'intérieur de la double hélice, élément fondamental de la découverte, est due à Jim Watson. Avec une modestie surprenante et louable, Francis Crick écrit dans un article publié le 26 Avril 1974 dans le célèbre hebdomadaire britannique Nature: "If Watson had been killed by a tennis ball, I am reasonably sure I would not have solved the structure (of DNA) alone". Avec une franchise non moins surprenante et toujours aussi louable, il y écrit aussi: "Rosalind Franklin was only two steps away from the solution". Point de vue partagé par Aaron Klug qui écrit dans le N° du 24 Août 1968 de Nature: "When one studies her papers and notebooks (one) realizes how close she herself had come in the progress of her work to various features of the structure contained in the correct solution". Dans le même numéro de Nature où s'exprimait Francis Crick, Linus Pauling, visiblement plus tourmenté par son propre échec dans la détermination de la structure de l'ADN,

dû en partie à son idée que celle-ci devrait comporter une triple hélice, hésite plus sur ce qui aurait pu se passer, en y écrivant d'une part: "I cannot say what would have happened if I had made the other assumption, that of a double helix, or if I had succeeded in getting access to the diffraction photographs of DNA that had been made by Wilkins. There is a chance that I would have thought of the Watson-Crick structure during the next few weeks", mais quelques lignes plus loin: "I myself think that the chance is rather small that I would have thought of the double helix in 1952, before Watson and Crick made their great discovery". D'autre part, que dire du manque de chance ou de perspicacité d'Edwin Chargaff qui avait découvert l'équivalence compositionnelle de l'ADN en adénine et thymine d'une part et guanine et cytosine de l'autre, données chimiques analytiques essentielles pour pouvoir concevoir et proposer tout au moins le principe de l'appariement des bases, mais qui ne l'a pas fait, laissant involontairement, très involontairement, ce privilège à Watson.

Ainsi, si le rôle des individus a été important, la découverte elle-même était néanmoins inévitable et probablement à brève échéance. En fait, Crick pose explicitement dans son ouvrage récent "What Mad Pursuit. A Personal View of Scientific Discovery" la question (p. 75) "There is the question of what would have happened if Watson and I had not put forward the DNA structure", pour y répondre quelques lignes plus loin (p. 76): "Had Jim and I not succeeded, I doubt whether the discovery of the double helix could have been delayed for more than two or three years".

Combien est différente la nature même des autres composantes de la culture humaine, en particulier de toutes celles qui ont trait aux différentes formes des arts. Tout à fait à l'opposé de la Science où, *a la longue*, personne n'est indispensable, dans les arts (la musique, la peinture, la littérature, la sculpture etc.) la personnalité du créateur représente le don providentiel du sort, *irremplaçable* dans sa spécificité, créant une contribution personnelle, individuelle, *unique*. Si Beethoven n'avait pas existé il n'y aurait pas de 9<sup>ème</sup> Symphonie, ni d'ailleurs les huit précédentes. De même, je ne peux m'empêcher de penser à toutes les

merveilles que nous aurions eu si Mozart avait vécu 10 ou 20 ans de plus et qui sont *irréremédiablement* perdues, pour toujours, par sa mort précoce. Même si les grands génies des arts créent parfois des écoles, influencent des élèves, imposent certaines orientations, chaque création artistique est une pièce unique, un monde en soi. Dans ce domaine la notion même d'une construction globale, ordonnée n'a point de sens. Comme n'a pas de sens la notion de progrès. La sculpture d'aujourd'hui est-elle supérieure à celle de la Grèce antique ou les gratte-ciels artistiquement supérieurs aux cathédrales? La comparaison même n'a pas de signification. Si le développement de la science à une dimension d'inévitable, celui des autres formes de culture est essentiellement aléatoire.

Cette différence concernant le rôle des créateurs, entre la Science et les autres formes de cultures a-t-elle toujours la même acuité? On peut en discuter. Ainsi la Science comporte, globalement, deux aspects, celui de la découverte et celui de l'invention. Si mes remarques sur le rôle, à la longue interchangeable, des artisans des découvertes, de ceux donc qui ne font que dévoiler le mystère de la nature existante, celle que Dieu a créée ou tout au moins amorcée, paraissent justifiées, on peut se demander s'il en est tout à fait de même des inventeurs, de ceux dont l'imagination créative va au-delà de ce qui existe vers des nouveautés que Dieu a négligées ou peut-être n'a pas eu le temps de créer pendant les six jours qu'il y a consacré. Les inventeurs certes ne peuvent se servir que des éléments que les découvreurs ont mis à leur disposition mais est-ce que la manière dont il le font correspond à une même nécessité directionnelle et inéluctable que celle de l'évolution de la découverte du monde créé? Les inventions de la radio, de la télévision, de l'avion, du laser seraient-elles faites de toute façon, un jour, par d'autres pionniers? Je pense que oui, que la dynamique du futur inventif a effectivement, à la longue, le même aspect de nécessité inéluctable que celle de la découverte de ce qui existe. Je reconnais, toutefois, qu'il y a là matière à discussion.

MAIS, et c'est un mais lourd de conséquences que j'écris en majuscules dans mon texte et qui nous mène au cœur des discussions du thème II de notre réunion, si la Science est uni-



verselle, elle n'est certes pas égalitaire. Si après la vision historique, olympique, multimillénaire de la Science que j'ai évoquée plus haut, on revient à l'actuel pour en avoir une vision instantanée, ponctuelle, force est de constater que la Science est plus universelle pour certains que pour d'autres et que son niveau et son développement sont répartis d'une façon essentiellement hétérogène sur la surface de la Terre. La construction de la Science moderne, l'accumulation des découvertes fondamentales et aussi le rythme, l'envergure et la qualité du développement de recherches de pointe sont l'apanage d'un certain nombre de pays dits développés, parmi lesquels en premier lieu l'Amérique du Nord et l'Europe Occidentale, ceci sans vouloir négliger le rôle important, très important ou en voie de le devenir de l'Union Soviétique, du Japon, de l'Inde, d'Israël pour ne pas citer que des grands pays, etc. A l'opposé, certains pays et même continents, sont, à de rares exceptions ponctuelles près, absents du domaine de la créativité scientifique. Tout porte malheureusement à croire que cette situation n'est pas prête à changer de sitôt et qu'ainsi le bien ou le surplus de bien que génère le progrès scientifique resteront longtemps l'apanage des premiers.

Or, qui dit Science dit Puissance et il résulte de cette situation une position de dominance d'une part et de dépendance de l'autre, qui est un autre aspect de la position particulière de la Science, ne serait-ce que par les retombées évidentes dans des domaines nombreux et variés de l'activité humaine tels que l'économie, l'éducation, la santé etc. Si j'en juge par les titres des exposés annoncés dans notre programme ce problème, crucial pour l'avenir du monde, fera l'objet de plusieurs communications. Je n'y insiste donc pas.

En revanche, je voudrais dire quelques mots sur la relation de la Science, toujours dans l'optique de son aspect particulier, avec une forme, une composante de la culture humaine à savoir sa *culture politique*. J'entends par cette dernière, d'une façon plutôt spécifique, *la forme du gouvernement de la Société ou plutôt des Sociétés* humaines. Je ne vous cacherai pas et j'espère que je ne vous étonnerai pas non plus si je vous dis que je classe ces formes de gouvernement selon une échelle de valeurs et que la forme la plus élevée de la culture politique est pour moi,

comme d'ailleurs je n'en doute pas pour vous tous, la démocratie, dans le sens où nous l'entendons dans nos pays d'occident.

Or, si nous jetons un coup d'œil sur la répartition que je viens d'indiquer plus haut de la puissance scientifique dans le monde, force est de constater qu'elle se confond, tout au moins dans une large mesure, avec l'existence et la distribution des états démocratiques.

Pour ceux que surprendrait la position que j'ai assignée dans mon classement de tout à l'heure à l'Union Soviétique, qui a eu de remarquables succès dans certains domaines scientifiques malgré le régime que l'on sait, je répondrai que je suis sûr que son développement scientifique aurait été beaucoup plus vaste et réussi si ce pays avait connu un véritable régime démocratique. J'ai trouvé très récemment, après avoir déjà écrit les phrases qui précèdent, un allié inattendu et illustre pour confirmer cette opinion, en la personne d'Andrei Sakharov, dont les Mémoires viennent de paraître en France aux éditions du Seuil. Je me permets de vous en citer l'extrait suivant (page 169): "Après le départ de Lavientiev, Beria me demanda comment allait le travail sur le réacteur chez Kourtchatov. Je lui répondis. Il se leva, faisant entendre que l'entretien était terminé, mais, soudain, il me dit: Peut-être avez-vous des questions à me poser? Je n'étais absolument pas préparé à une question aussi générale. Sans réfléchir, je demandais: Pourquoi nos projets, nos études se réalisent-ils aussi lentement? Pourquoi sommes-nous continuellement en retard par rapport aux Etats-Unis et d'autres pays, pourquoi perdons-nous la compétition technique? Je ne sais pas quel genre de réponse j'attendais. A la même question posée, vingt ans plus tard, dans le Mémorandum de Sakharov, Touthine et Medvedev, nous répondons que ce retard est lié au manque de démocratie dans les structures de direction, à l'insuffisance des échanges d'informations, au manque de liberté intellectuelle. La réponse de Beria fut pragmatique: C'est parce que notre recherche scientifique manque de support industriel ... Ce genre de réponse, bien évidemment, ne m'intéressait pas beaucoup".

J'ajouterai que l'aveu du rôle néfaste qu'à eu pour le développement de la science soviétique l'absence des structures démocratiques figure dans le préambule d'un décret pris récemment par M. Gorbatchev, qui souligne fortement la nécessité de "démocratisation soutenue" du système afin d'éviter le déclin de cette science. Tentative que le Journal "Le Monde" du 19 Septembre 1990 présente astucieusement sous le titre "U.R.S.S.: La Science sort du rouge".

Il est vrai qu'une remarque critique que l'on pourrait faire à la proposition d'un lien entre le développement de la Science et celui de la démocratie, est qu'il s'agit là plutôt de la distribution de la richesse que de la distribution des régimes politiques. Or, outre que cela signifie que les régimes démocratiques sont en général générateurs de richesse, cette observation n'est pas persuasive car il existe des pays riches, par exemple certains pays pétroliers, mais dont la contribution à la Science mondiale est quasi inexistante, essentiellement par le détournement de leurs richesses vers d'autres buts, beaucoup moins nobles.

Ce que je voudrais donc affirmer ici c'est que le développement de la Science est, tout au moins aujourd'hui, intimement lié à la nature de la composante politique de la culture humaine et que le grand développement de la Science moderne est lié au développement parallèle de la démocratie. La Science ne peut fleurir dans toute sa grandeur et toute sa splendeur que dans un climat de liberté. Les régimes totalitaires, non démocratiques, briment trop la liberté de l'esprit pour permettre l'épanouissement des idées scientifiques qui, pour une raison quelconque, ne conviennent pas à leur idéologie apparente. Rappelons l'affaire Lysenko, justement en U.R.S.S. et ses conséquences désastreuses pour le développement de la biologie moléculaire dans ce pays. Ou l'expulsion d'Einstein et d'autres savants juifs de l'Allemagne hitlérienne qui a durablement affaibli des nombreux domaines scientifiques de ce pays. Certes, cette importance de la liberté est vraie aussi pour d'autres composantes de la culture humaine, mais je crois qu'en matière de conséquences pratiques cette dépendance est particulièrement grave pour la Science à cause, en particulier, de ses exigences spécifiques en matière d'infrastructure, d'organisation et de collaboration,

nettement plus complexes que pour la majorité des autres formes de culture.

J'ai insisté tout à l'heure sur le fait que la relation que je vois entre le développement de la Science et celui de la démocratie est une caractéristique des temps modernes, en fait essentiellement de notre époque. J'ai l'impression qu'il serait, en effet, vain - certains l'ont essayé mais je ne crois pas qu'ils aient réussi - de chercher une relation historique générale entre le niveau scientifique et la structure sociale des nations. Comme l'écrit l'historien et le philosophe des Sciences Alexandre Koyré (Etudes d'Histoire de la Pensée Scientifique, Galimard 1973): "Aussi surprenant que cela puisse nous paraître, on peut édifier des temples et des palais, et même des cathédrales, creuser des canaux et bâtir des ponts, développer la métallurgie et la céramique, sans posséder de savoir scientifique; ou en n'en possédant que des rudiments. La science n'est pas nécessaire à la vie d'une société, au développement d'une culture, à l'édification d'un Etat et même d'un Empire" ... "Aussi ne devons-nous pas exagérer le rôle de la science comme facteur historique".

Ou encore: "Il me paraît vain de vouloir déduire la science grecque de la structure sociale de la cité; ou même de l'agora. Athènes n'explique pas Eudoxe; ni Platon. Pas plus que Syracuse n'explique Archimède; ou Florence, Galilée" ... "Ce n'est pas la structure sociale de l'Angleterre du XVIIe siècle qui peut nous expliquer Newton, pas plus que celle de la Russie de Nicolas Ier ne peut jeter une lumière sur l'œuvre de Lobatchevski".

Toutefois lorsqu'il ajoute: "Je crois pour ma part qu'il en est de même ... même pour notre temps", je pense qu'il se trompe: non seulement la science devient aujourd'hui un facteur historique primordial sinon décisif — ce qu'il concède — mais en même temps, il me paraît que la dynamique de son développement devient profondément dépendante de la structure politique et sociale des peuples.

Finalement, pour terminer, je voudrais, *a l'encontre du titre de ma conférence*, parler d'un aspect de la Science que l'on essaie souvent de présenter comme particulier, même unique, mais qui en fait me paraît l'être moins que l'on ne l'affirme. Ainsi, dans

tout ce que j'ai dit plus haut, j'ai considéré implicitement la Science comme une composante positive de la culture humaine, devant donc contribuer au bonheur et au bien-être de l'humanité. Or, nous avons eu assez de discussions dans cette Académie, à plusieurs occasions, sur la Responsabilité de la Science pour savoir combien, en fait, les scientifiques sont conscients des effets néfastes que peuvent avoir aussi, hélas, à leur insu bien sûr, les conséquences d'un grand nombre de leurs découvertes. C'est une critique que l'on nous adresse souvent. Elle ne date pas d'ailleurs d'aujourd'hui puisque Origène, qui a vécu dans la première moitié du 3ème siècle de notre ère, écrivait déjà dans L'Homélie XVIII de ses Homélie sur les Nombres: "L'origine de toute science remonte à Dieu, mais, par la faute de la malice humaine, et aussi sous l'inspiration et l'action sournoise des démons, ce qui avait été donné pour le bien à tourné à la perte", affirmation à laquelle, à part son fragment concernant les démons, nombre d'entre nous pourrait certainement souscrire.

Sans vouloir en rien occulter la réalité de cette situation et diminuer par là le sens des responsabilités que doivent avoir les savants face aux conséquences de leurs découvertes (je me suis longuement étendu sur ce sujet dans notre réunion plénière de 1988) je voudrais indiquer que la science n'est pas particulière et encore moins unique à ce point de vue et que la même dualité potentielle existe pour d'autres composantes de la culture, même si le danger y est moins grand. Tout au moins en apparence car que dire par exemple de la Littérature? Le Capital de Marx était une bombe intellectuelle du 19ème siècle dont les effets se sont largement étendus au 20ème et, hélas, continuent à se faire sentir encore et dont le pouvoir néfaste persistant de destruction, mesuré par la somme de vies détruites et de malheurs produits, est infiniment supérieur à celui des deux explosions des bombes atomiques que le monde, hélas, a connu.

Même la composante religieuse de la culture humaine n'échappe pas, hélas (que d'hélas!) à cette déviation dangereuse de sa vocation première. Je cite, si vous le permettez, de ma propre contribution à notre Réunion Plénière de 1988: "Il y a une grande analogie dans le domaine qui nous préoccupe ici

aujourd'hui, entre la Science et la Religion: les deux ont en commun la vocation et le potentiel de contribuer puissamment au bonheur des hommes et le désagrément ou le malheur d'être souvent détournés de ce but". Avec cette différence aggravante pour la religion que lorsque la Science subit ce détournement, ce n'est en général pas par la faute des scientifiques, alors que le détournement de la religion est en général l'œuvre des Eglises elles-mêmes. Les exemples ne manquent pas dans l'histoire même contemporaine pour justifier cette affirmation.

Membres de l'Académie Pontificale des Sciences nous devons être particulièrement sensibles à ces aspects détrimen-taux potentiels de certaines composantes de la culture humaine, de la Science bien sûr, en premier lieu. En effet, il ne faut peut-être pas oublier les paroles d'un de nos confrères, décédé hélas, Albert Szent-Gyorgyi qui écrivait au Bulletin of Atomic Scientists, en Août 1975: "Life is a byproduct of the forces which created the Universe. Life can be wiped out without causing a major disturbance to the Universe".

Or, c'est en fait la Vie qui est, ou paraît être, un phénomène sinon unique tout au moins rarissime dans l'Univers et, telle qu'elle est sur la Terre, sans doute unique. S'il est possible ou même probable que personne dans le Cosmos ne s'apercevrait de sa disparition, il serait tout de même paradoxal et regrettable qu'une expérience de 4 milliards d'années se termine si tristement par l'excès même de sa réussite. Je ne peux pas ne pas songer aux paroles de Isaac Bashevitz Singer, Prix Nobel de Littérature que personne ne saurait suspecter de tendances blas-phématoires, exprimant son angoisse dans son livre SHOSHA par les paroles suivantes: "God suffers from a kind of divine amnesia that made him loose the purpose of his creation ... I see him so bewildered by his galaxies and the multitudes of laws he established that he doesn't know what he aimed for to start with. Sometimes I look into my own scribblings and discover that I began one kind of work and it turned out to be the opposite of what I intended. Since we are supposed to have been formed in his image, why couldn't such a thing have happened to him?".

On peut, si l'on veut, considérer ces pensées comme une version inversée des paroles de Saint Paul, posant dans l'Epître

aux Corinthiens, la question: "Dieu n'a-t-il pas rendu folle la sagesse de ce monde?"

J'ai vu avec intérêt qu'un de nos membres éminents, le Professeur Polanyi, se propose de traiter, de retraiter, explicitement ce thème de la Responsabilité du Savant. Je m'en réjouis beaucoup car je crois que c'est un thème qui devrait figurer en permanence à l'ordre du jour de toutes nos discussions.

Mesdames, Messieurs, j'ai toujours pensé que le rôle principal d'un Conférencier dans une réunion telle que celle-ci était de provoquer ou de stimuler une discussion étendue. Pour cette raison j'ai peut-être forcé quelque peu certaines de mes affirmations et opinions. Je puis vous assurer que je serais également content des critiques que des approbations qu'elles rencontreront parmi vous.

## DISCUSSION

## PULLMAN

I just want to answer one quite unjust objection. In no way do I underestimate the contributions of developing countries and still less what you call the potential creativity of these countries. On the contrary, I don't doubt these potential creativities. But what I want to say is that, in *the world as it is today*, these potential creativities will not be able to develop themselves otherwise than under democratic governments. As long as the developing countries do not acquire a government that is democratic, they will not be able to accede to the level of modern science. The available resources will always be used for other sakes, less noble. By those I certainly did not mean religious. I was thinking of completely other destinations to which the finances go, such as e.g. armaments.

## JAKI

I would like to say something about two points of your very interesting presentation. One, you insisted on the necessity, almost the inevitability, of scientific discoveries and progress. Take for instance Ptolemy. He depended heavily on some discoveries of Aristarchus of Samos concerning the eclipses of the moon. That was the basis of his calculation of the relative and absolute distances and sizes of the sun and the moon from the earth. We know today that Laplace's explanation of the solar system and of the origin of the moon is totally faulty. Today the general view about the origin of the moon is that it was due to what is scientifically called a totally chance collision of a large body with the earth. That large body has to be very specific in size and in mass. The collision too has to take place at a very specific moment of the earth's evolution and at a certain plain, so that the actual earth-moon configuration, which we observe in the moon's eclipse, may arise. Such is one type of objection that can be made to the necessity of scientific discoveries.



As to the other one, let me go back to my intervention of yesterday about ancient cultures, here I would like to say something about the Moslems. One hundred years after the prophet's death, the Moslems came into full possession of all Greek scientific and philosophical corpus. Not only that. They had set up systematic schools of translation. They had produced critical editions of all the great scientific and philosophical texts (we are now about 800 A.D.). And now I come to my main point. For the next five or six hundred years the Moslems produced endless commentaries, some of them very valuable and others just repetitives. There was one point about which they could not make a breakthrough. That concerns their interpretation of Aristotele's laws of motion. They are totally irreconciliable with the idea of inertial motion, which is the very basis of modern science as we know it.

I would like now to go to the next point, to another point of your presentation, namely your use of the word origin. Instead of starting with God as the origin of science, we have to talk about the incarnation as the origin of science. The reason is that the law of inertia, was not formulated by Newton, or Galileo or Descartes, but in 14th century in Sorbonne by Buridan and Oresme. Moreover they did it in a strictly theological metrix which depended on the idea of creation out of nothing.

Here I do not want to go further into the context of incarnation, as a safeguard of belief in creation out of nothing, but I think these two points deserve some consideration.

## HELLER

I would like to make a comment on your very rigid, almost deterministic, image of the scientific development. I think that there is little doubt that science is an example of a dynamic system or a dissipative system evolving from equilibrium. As we know, in such a dynamical system two forces are at work. The deterministic laws and fluctuations, which are especially important at the bifurcation points. If you look in this way at the development of science, the result is that looking backwards you

can always explain the evolution of science, by identifying fluctuations responsible for a given discovery.

Looking backwards therefore evolution looks very deterministic. Looking forwards in time it is unpredictable. The little fluctuations cannot be identified a priori. I think that we could cite a lot of historical examples to confirm this thesis: backwards in time, science looks deterministic while forwards in time it is an unpredictable system in fact.

#### DALLAPORTA

I just want to make a small remark concerning the quotation given by Prof. Pullman from Singer's book. I should say that I know that man is an image of God. But I have never heard, nor ever shall I believe, that God can be an image of man. I believe that the relationship is completely irreversible.

#### ARBER

I support very much your statement of the importance of the climate of liberty for scientific progress. You mainly defined this climate as an external constraint, I would say, and the question to you would be: "would you also in the same category accept to include internal constraint?" For example, it seems to me that scientific dogmas often inhibit the progress for decades, and it needs real courage and originality to overcome dogma. These are internally made by science then.

And now I make the point, in relation to the breakthrough, something which you then mentioned later on with religion. It seems to me that this internal constraint, which you mention in your talk, has some similarity with the internal constraint in science. Again, dogma inhibits the progress also of our religious civilization.

#### DE DUVE.

J'ai écouté avec énormément d'intérêt la très intéressante communication de Monsieur Pullman. Je me demande cepen-

dant si l'opposition qu'il fait entre science et art ne procède pas d'une vision un peu idéaliste de l'une et de l'autre. Je crois qu'il existe un élément subjectif dans la démarche scientifique et un élément objectif dans la démarche artistique. La science procède par approximations successives et je crois que le découvreur imprime en quelque sorte sa personnalité sur la découverte. Je crois qu'il ouvre une voie parmi de nombreuses voies possibles dans l'exploration de l'inconnu et que, dans ce sens-là, il influence le sens des démarches ultérieures, et peut-être si Einstein n'avait pas découvert la relativité, le même phénomène aurait pu être découvert par quelqu'un d'autre mais peut-être sous une forme un petit peu différente; et certainement en biologie je crois que le découvreur imprime très fort sa personnalité sur la découverte et la démarche. Je pense par ailleurs que les artistes n'exercent pas une créativité totalement libre. Je crois qu'ils sont influencés par ce qui a été fait antérieurement et que eux, peut-être au contraire des scientifiques, quand ils ouvrent une voie, en fait ils en ferment une pour leurs successeurs; l'art semble progressivement épuiser ses possibilités; et je me demande, personnellement, si l'art moderne, ou l'art contemporain tant en musique, que dans les arts plastique, n'est pas un petit peu une preuve de cet épuisement progressif des possibilités de la créativité artistique. Par ailleurs — c'est un tout petit détail — vous aurez compris par mon intervention d'hier que je ne suis pas d'accord avec votre phrase concernant la vie comme phénomène unique, ou sinon unique, rarissime.

## DE GIORGI

J'espère que je serai compris si je parlerai en très mauvais français. J'ai beaucoup apprécié l'attention aux relations entre la science et les droits de l'homme. Ces relations ont été explicitement reconnues par plusieurs accadémies nationales qui ont constitué des comités sur les droits de l'homme. Mais les droits de l'homme, ce n'est pas seulement la démocratie politique. Si on lit, par exemple, la déclaration des droits de l'homme de 1948, on y parle des droits de la famille, des droits des groupes ethniques, des droits des nations. Tous ces organismes ont une

certaine culture locale, la culture des familles, la culture des tribus, la culture des groupes ethniques, la culture des nations, des religions, etc. Et alors je crois qu'il serait nécessaire de considérer une sorte d'écologie culturelle, de voir quelles sont les bons équilibres entre la culture universelle et les cultures locales. Je crois que la culture universelle est nécessaire au développement des cultures locales; mais qu'aussi les cultures que j'ai appelées "cultures locales" sont nécessaires pour former la base de la culture universelle. Par exemple lorsqu'on considère la fondation des mathématiques, on trouve toujours que nous pouvons formaliser le langage mathématique jusqu'à un certain niveau, au delà duquel nous devons expliquer les termes avec le langage commun. Ce langage commun est exactement le langage des cultures locales. On peut aussi considérer la chose du point de vue politique. Certainement un grand nombre de conflits, un grand nombre de crimes ont été provoqués par un amour mal compris de chacun pour sa propre nation, sa religion, son groupe; mais on peut aussi dire que les crimes les plus grands peut-être ont été accomplis lorsque quelqu'un a pensé de faire table rase de toutes les traditions, de toutes les cultures locales préexistantes pour installer une nouvelle culture universelle qui éliminait l'harmonie avec les cultures, les traditions préexistantes. Alors, je crois qu'il est nécessaire de trouver cette forme d'équilibre, cette sorte, si je peux utiliser le terme, d'"écologie culturelle". La direction à suivre, je crois, doit être toujours le principe: "aime le prochain comme toi même"; c'est-à-dire aime beaucoup ta nation, ta famille, ton groupe ethnique ou religieux, mais aussi à la suite, aime toutes les autres familles, toutes les autres nations, tous les autres groupes comme ton groupe, ta famille et ta nation.

#### CREUTZFELDT

Although I fully agree that the basis of modern science is a democratic government, I think that one should not forget that the facts are the other way around. Science is a vehicle of democracy. Democracy is a consequence of science and scientific thinking. It is enlightenment, with the French revolution, or

Galileo and so on... I don't need to go over all the events and names involved in the history of science. That is why non-democratic, totalitarian governments try to suppress science. This is what they try to do actively. The reason is obvious; science puts into question any dogmatic model or social model which is the basis of such totalitarian power structures.

## RAO

I by and large agree with Prof. Pullman about the inevitability of many of the scientific discoveries and so on and also the importance of democracy. However, I don't think we should ignore that real, original thoughts that have revolutionised man's thinking have had nothing to do with the form of government. It has something to do with the innate desire of man, and the innate potential of man somehow, that brings out something beyond his own capability. He can stretch himself and somehow come out with something very revolutionary that affects mankind, his way of thinking, science and so on. Even in science, some of the greatest discoveries that have really changed physics, for example, had nothing to do with the form of government, in my opinion.

Coming to poorer countries, like mine for example, the real problem is how can we build up the many brilliant young people that must be there somewhere in the corner of this globe. Because we are talking now of a very small fraction of the world which has contributed to science. The large majority of the world's population doesn't even know what science is. If we can tap that, and somehow give these people the opportunity to come to the fore, or have an exposure, maybe at least people like me would be wiped out, because there are for smarter people who have not been identified.

At least there can be one example in modern science which is really fantastic: a very young Indian mathematician, who never received a university education, revolutionised the number theory, modern mathematics, working outside for the University as a clerk. He was eventually discovered by people in Cambridge. So this is something in man which makes him do

certain things. These are the people who really change science; not this modern competitive science that we do. We are adding more things to science. But I mean real phenomenal ideas, and these do not necessarily come from people who work in competitive science. I am not ignoring what we all do. I think that we should not over-emphasize the need for external stimulus coming from the form of government.

#### BLANC-LAPIERRE

Merci Professeur Rao. Professeur Polanyi, j'ai bien lu votre texte et il y a un petit paragraphe, qui commence par les démocraties, dans lequel vous paraissez redouter des poussées conduisant la science à s'enfermer du côté des applications.

#### POLANYI

I think it should be said that Professor Pullman has succeeded brilliantly in his intention of stirring up debate. He is to be congratulated. I just want to further soften the distinction between the deterministic and progressive picture of science, on the one hand, and the somewhat episodic description of art, on the other. The subject matter of the history of art, it seems to me, is precisely to detail the indebtedness of one artist to his predecessors. That is a very rich and revealing field of study.

Since time is short I will just end by saying that if we think of one of the great geniuses of science of this century, who appears to stand alone, one could say, perhaps in the spirit of what Mr. Lambo was saying, one of his enormous strengths came from his appreciation and insight into African art which he combined with western art.

#### BLANC-LAPIERRE

Je vous remercie Professeur Polanyi. Je crois que nous allons arrêter là. Je voudrais ajouter une question si vous le permettez. J'avais réfléchi en faisant mon papier sur ce problème de la réceptivité - je n'en reparlerai pas demain puisqu'on en a

parlé aujourd'hui, j'éliminerai cela - il y a une question que je m'étais posée: "dans une culture il y a quelque chose d'essentiel; c'est la langue." La langue, c'est le moyen d'échanger. Est-ce que le langage, l'art d'écrire ont une corrélation ou non avec la possibilité d'un développement scientifique? J'ai entendu dire, mais je n'ai pas d'opinion personnelle là-dessus, que dans le développement scientifique actuel du Japon les caractères utilisés, la mémoire qu'il fallait développer pour utiliser ces caractères, avaient joué un rôle - non dans le passé puisque ce développement est récent - mais dans la potentialité du développement actuel. Je ne sais pas ce qu'il faut penser de ce type de question, mais il est certain que la langue est un élément capital de la culture et peut-être y a-t-il là des corrélations plus fortes qu'on ne le croit.

#### PULLMAN

Conformément aux vœux de notre Président, je serai bref dans mes réponses.

Un fait frappant est constitué par l'absence de l'Espagne de la scène scientifique du monde au moment de la Renaissance et pendant longtemps après. C'est un exemple qui confirme ma thèse sur l'incompatibilité dans le monde moderne entre le progrès scientifique et le régime totalitaire. En effet, l'Espagne était alors certes un pays riche, par pillage d'ailleurs en grande partie, mais en même temps un pays où la montée de l'intolérance, dont l'Inquisition est la manifestation la plus frappante, détruisait toute possibilité d'expression indépendante et par là de progrès scientifique. Cette malencontreuse situation était d'autant plus regrettable que la péninsule ibérique a connu, pendant les siècles qui ont précédé le règne de Ferdinand et d'Isabelle, une période de relativement grande activité philosophico-scientifique. Il est vrai que celle-ci était due en majeure partie aux intellectuels arabes et juifs, qui (cela peut paraître curieux dans le contexte du monde d'aujourd'hui) vivaient en très bonne entente. L'Espagne, quand elle a accédé disons à son indépendance, a pratiquement détruit ce passé.

M. Arber estime à juste titre qu'il convient de condamner aussi bien les dogmes "internes" du monde scientifique que les contraintes externes. Les dogmes sont toujours mauvais et souvent le principal obstacle au progrès, où que ce soit. La chose que l'on peut dire néanmoins, c'est que dans le monde d'aujourd'hui les dogmes scientifiques internes ne risquent pas d'avoir une vie longue alors que les contraintes externes sont beaucoup plus difficiles à éliminer.

M. de Duve a évidemment raison: la coupure que j'ai faite entre les sciences et les arts était exagérément forcée. Comme je l'ai dit, je l'ai fait exprès pour stimuler la discussion. Je peux vous assurer qu'en fait je ne la crois pas aussi absolue. Lorsque l'un de mes élèves balbutie une conférence scientifique que je juge morne et médiocre je lui dis toujours que pour faire un bon exposé scientifique il faut toujours faire un peu de théâtre. D'autre part, j'espère qu'après une meilleure lecture du texte de ma conférence M. de Duve reconnaîtra que j'y ai très expressément fait allusion à l'existence d'un "style" personnel des différents découvreurs.

Concernant le problème de la vie dans l'Univers je suis certainement d'accord avec M. de Duve qu'elle apparaîtra chaque fois que les conditions appropriées seront réunies. Toutefois, ces conditions me paraissent tellement exigeantes et complexes que je doute que l'on rencontre la Vie à tous les "coins de rue" dans l'Univers.

En réponse à M. Rao, je voudrais de nouveau souligner que je reconnais volontiers avoir exagéré la séparation entre la Science et l'Art. En ce qui concerne la relation entre la découverte scientifique et le régime social ou politique, je ne peux que le renvoyer au texte précis de ma conférence où *j'insiste* sur le fait que "la relation que je vois entre le développement de la Science et celui de la démocratie est une caractéristique des temps modernes, en fait essentiellement de notre époque". J'y reconnais très volontiers qu'il n'existe pas de relation historique générale entre ces deux entités. Mais la validité de mon affirmation pour le monde d'aujourd'hui me paraît évidente. Si la grande Inde ou le petit Israël, pas riches, sont des pays qui participent au développement scientifique mondial, alors que



des riches pays pétroliers en sont absents, cela est certainement lié à la présence de la démocratie dans les premiers et son absence dans les derniers.

A M. Dallaporta je répondrai que la citation que j'ai donnée du livre de M. Singer c'est évidemment de la littérature. De la très bonne littérature, récompensée par le Prix Nobel. Comme M. Arber je dirai qu'il est bon d'éviter d'être dogmatique.

A M. Jaki je dois dire que je ne vois pas toujours très bien la relation entre ses remarques et le contenu de ma conférence. Je ne vois pas en quoi l'hypothèse que la lune est née d'un choc entre un grand corps céleste et la terre gêne mes propositions. Concernant la contribution de Jean Buridan à la naissance de la Science moderne, contribution intellectuellement remarquable surtout si on la considère dans le contexte de la première moitié du XIV<sup>ème</sup> siècle, je crois qu'il est tout de même exagéré de placer ses remarquables intuitions, ses "imagination" comme il les appelle lui-même, sur la nature mécaniste de l'Univers, en particulier son hypothèse de *l'impetus*, au même niveau que *la formulation de la loi d'inertie* par Galilée et Newton.

# PERSPECTIVES ON CONDITIONS WHICH ENCOURAGE THE DEVELOPMENT OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

CHARLES H. TOWNES  
University of California Berkeley,  
Dept. of Physics, Berkeley

I approach this subject with some reluctance and diffidence; while each of us may have very firm views about it, the real development of science and technology is complex and the effects of cultural and historical influences are in many cases debatable. There are no controlled experiments, and it is difficult to make any unassailable conclusions.

Let's begin the discussion by differentiating two different aspects of science and two aspects of technology. Much of the earliest science and some of the science we know today primarily represents observation of the world around us, with the noting of possible similarities, differences or irregularities. A later stage of science developed generalizations and mathematical models from such observations, including in particular models which predict results or allow conclusions and constructs not otherwise foreseen. Much of the power of modern science comes from this modeling and predictive ability.

A somewhat similar division can be made in technology. First, there is technology which comes from empirical trials, usually step by step or resulting from some observation of nature, or perhaps in some cases observation of accidents which allow a larger single leap than is possible in a step-by-step development. But it is a trial and error process coupled with acute observations and intuition. Then there is technology typical of a later stage which relies heavily on science, in particular theoretical concepts which can produce completely new constructs outside of human experience. These constructs allow the development of quite new technology, often taking very large steps as a result of theoretical conceptions and

predictions. In the first forms of science and technology, the two are not necessarily closely coupled. It is true that even in earlier periods, some craftsman and others who developed more or less empirical technology also made observations of nature and contributed to science. However, there was often a separateness which tended to class scientists primarily with philosophers or possibly even theologians rather than couple them with construction and technicians. In the second stage science has a powerful role in technological development. Also, at such a stage technology is likely to provide a wealth of new scientific instruments and techniques, so that the two become closely interrelated. Of course there is no complete separation of these various stages; in some fields there is still a mixture. But it is the second stage, with science and technology rather closely coupled, that has given rise to the modern, accelerated development of both.

I shall try to deal with the two stages of development somewhat separately, and hence my discussion is divided into two parts. The first concerns the historical question of influences on the development of science and technology up to what is sometimes called the scientific revolution. The second is consideration of the interaction of science, technology, and society in our present day and what social, political, or economic climates can best assist their healthy development.

We know of many early civilizations which have more or less independently developed substantial science or technology. A number of them appear to have had considerable success, then subsequently to develop more slowly or even to decline. These might include, for example, the Mayans, the Incas, the Egyptians, or the much more impressive developments in early China or in the Muslim world. I have singled out China for particular consideration. The early Chinese not only developed impressive science and technology, they did it in relative isolation from other civilizations and also produced a wealth of historic records which give us an opportunity for critical study of these developments.

I have discussed the development of science in China with historians of Chinese science and read some of their works. A

number of different explanations are given why Chinese science progressed so well as it did and yet did not flower more completely in analogy with what happened during Europe's last several centuries. Each explanation has some plausibility, but the most convincing view to me is that of the historian Nathan Sivin, who believes we simply don't know why Chinese science did not develop the scientific revolution which came about in Western Europe. The situation is too complex for us to single out clearcut cause and effect.

One favorite idea of my own, and one which has some other support, is that for a culture to take science seriously, there must be a pervasive view of a world external to humans so that it can be separated and analyzed, a world that is physically real, in some sense independent of human viewpoints, and governed by laws which can be relied on. Such a view emerges, I believe, from the Judeo-Christian tradition and is shared of course by Muslims. A world which is changeably subject to the whims of many gods and goddesses, or is so inherently a human construct that different individuals in different circumstances cannot arrive at the same conclusion, discourages a pursuit of science as we know it. Much of our early science did come from the Greeks who were polytheistic, but they did not generally assume basic laws of the universe could be changed by their Deities.

The Chinese tradition as opposed to that of Europe was to consider the individual and his world in a holistic fashion, with the two rather inseparable. It is clear that at least sometimes this led them away from any attempt at precision, the human aspect of such a scientific system being obviously rather variable and not completely predictable. The lack of precise predictability carried over into science. For example, the Chinese scientist Jia Kui wrote in 92 AD concerning astronomical calendars that "The celestial way being irregular, lacking uniformity, there are bound to be remainders [errors in prediction]. These remainders will have their own disparities, which cannot be made uniform." Imprecision to him was not simply due to imperfect knowledge but a characteristic of the universe. There seems to have been an abiding notion for the next 1500 years that the universe was simply too subtle and too closely interactive to be fully predicta-

ble. Nevertheless, in many fields there was continued effort toward refinement and further improvement of precision. Another somewhat related claim about the development of Chinese culture is that it was so inherently interested in good human relations that knowledge of the external universe as distinct from humans became relatively unimportant. Nevertheless, there were indeed Chinese scholars deeply interested in science itself. Another idea why science proceeded uncertainly is that the Chinese regarded the universe as a given with which one could not tamper to advantage and were not inclined to challenge the gods, as did Prometheus or Icarus in the Greek tradition. At times, undoubtedly the long success of Chinese tradition may have been an impediment. For example, when the Jesuits brought Copernican astronomy to China in the 16th century, it was clear to Chinese astronomers that this was superior to their previous methods and they adopted it with much interest. However, this was the time when China had been conquered by the Mongols and as a reaction scholars of the time were eager to honor the native Chinese culture and traditions. Hence the new scientific ideas, while understood and appreciated, seem to have been used to focus on the significance of astronomical information and tradition already in China and thus to emphasize the past rather than project into the future. The structure of society also certainly played a role. For example, it has been explained to me by Needham, the well-known historian of Chinese science, that an impediment to Chinese technology was that Chinese crafts and production of goods were done in the family environment with ideas and ideals which prevented enlargement to a factory of employees and which impeded anything like the industrial revolution as seen in Europe. Possibly centralization was another factor. A single strong central government in China was the primary sponsor of scholarly work. Prior to and during the Renaissance Europe was in more disarray, with many independent countries and principalities, each of which could sponsor the arts or philosophy. This helped set up competing efforts and ideas which are more likely to produce innovation.

A difficulty with any of the above explanations is that we can also find favorable factors in China and apparently negative factors within the western European tradition. There was, for example, a tradition in Christianity of some disdain for worldly things in favor of things spiritual. Accepted authority of the classic philosophers Aristotle or Plato, and the absence of systematic experimentation were major handicaps for a long time. Religious authoritarianism was a deterrent during some periods even while science was also being pursued for the glory of God. The complexity of establishing simple explanations is of course illustrated by the observation that there were indeed major scientific developments in China. While medicine was perhaps not really scientific in the modern sense or had not reached the second stage I've tried to define until the last century, nevertheless it was part of early science and Chinese medicine was probably more advanced than European medicine up until modern times. And Sir Francis Bacon, in trying to explain the Renaissance, classed gunpowder, printing, and the compass as three important contributors, saying "these three have changed the whole face and state of things throughout the world—no empire, no sect, no star seems to have exerted greater power and influence in human affairs than these mechanical discoveries." He did not seem aware that they had all originated in China.

It is clear that Chinese culture was different from that of Europe, but what differences were really crucial? In spite of the extensive amount of information available and a considerable amount of scholarly study, I do not believe anyone really understands just why modern science, that is the mathematical formulation of hypothesis and systematic experimentation, made its meteoric rise only in the West. I suspect we must look at these phenomena somewhat like chaos; while perhaps deterministic in some general sense, they may be so complex and so affected by what may have seemed minor factors or by the appearance of one or two individual geniuses, that no critical cultural causes can be isolated.

Consider now times since the east and west have been in relatively good contact, and China's scientific culture in more recent circumstances. I believe many would agree that in recent

centuries political disorder, foreign disruption, and poverty have played dominant roles in slowing the development of science and technology in China as compared with Western Europe. In parts of the Far East which have been well ordered, for example Taiwan and Japan, and where there has been adequate wealth, education, and stable governments, we see an exceedingly rapid and very successful growth in science and technology. But this brings us to modern times.

As a reminder of what tremendous changes science, technology and their coupling together have produced on the western world, we should remember that before the 17th century, most of the population of every country lived at only a subsistence level. Since the mid-18th century the effective income per capita in Western Europe has increased by a factor of about ten and at the same time the population has grown by a factor of five and life spans have doubled. In all, this represents a factor of 50 increase in productivity. Growth of the United States has also been striking, but its causes may be more complicated, being based in part on the exploitation of a new and rich continent. At the beginning of this period adequate food production for the western world required about 90 percent of the population's effort; it now occupies only about 5 percent of this effort. Some have attributed these extraordinary developments to imperialism. That may indeed have contributed, but I believe is not a dominant factor. Switzerland and Norway, never involved in imperialism, have standards of living and economies which match the best areas of Western Europe. Spain and Portugal were perhaps the most notably imperialistic countries in the early part of this period, but while they were enriched initially they have been some of Europe's less successful economies.

It is not hard to be convinced that it is the growth of science treated as useful knowledge and its close coupling with technology which is the basis for the revolution in standards of living. Science has provided a basis for accelerated growth through the acceptance of standards of truth which can be tested by observation, reason, experimentation, and replication by others. It has provided knowledge which could also be

transferred and which could be applied by some societies to their own local needs. Now, after these successes, what factors are important in the growth of science and technology? They are not the same as they were in earlier history.

The remarkable growth of science and technology have not only changed our civilization, they have changed the conditions under which they themselves can continue to flourish, and substantially modified public motivations for science. The wealth of nations today is more one of education and skills, particularly in technical areas, rather than the raw manpower and resources which were so important a few centuries ago. And it is the close interaction between science and technology that has produced the technological revolution, with a revolution in their own sociology as well as in our general culture.

I mentioned earlier the remarkable and rapid technological success of Japan and Taiwan. At the same time we see striking changes taking place in the culture of these two countries, and can sense some regret over these changes. Science, in particular technology, tends to internationalized culture. Technology also forms culture in its own image by producing social needs and demands which did not previously exist. To what extent this is a net good may perhaps be debated, but the existence of some such effects appear inevitable. While our western culture has also been changed by the same phenomena, this change has been slower and of our own creation. Perhaps for that reason it does not seem quite so rude.

Let's consider a little more the changing sociology within the scientific and technical world. There are now very strong interactions between science, technology, and economics, or between them and national security or power. There has always been some coupling between science and national power — for example — through the discovery of iron, or the use of Galileo's telescope for spotting ships. But today they are innately and strongly coupled. And science and technology are themselves so interwoven that if either will flourish, they must flourish together.

In the early part of this century, the physicist Robert Millikan handmade about 1000 lead-cell batteries in his



laboratory to produce high voltage for his famous oil-drop experiment. Now, at little expense or trouble we purchase an electronic power supply which provides the few thousand volts he used, and much more. Most of us who work in experimental science are very dependent on the availability of sophisticated equipment, and it's being available quickly and with high quality. In some scientific areas the size and cost of equipment requires a major national commitment rather than the dedication of a single hardworking scientist. This tight coupling between science and technology tends to favor areas with a concentration of science and technology, and with some variety of research and industry. While useful technical interactions can now be on a global scale, nevertheless this importance of concentration represents still another advantage of the rich over the poor.

We scientists normally think of the importance of scientific knowledge to the furtherance of technology. It provides new understanding, new ideas, and trained personnel, including in particular those trained in new fields into which technology is moving. To us it sometimes looks like a one-way street; we don't think so frequently about the important contributions of technology to pure science. One type of contribution comes about simply because intelligent investigation of any field, whether its purpose be pure or applied, is likely to turn up new discoveries. One example of this is the study of noise at the Bell Telephone Laboratories, primarily to locate its sources and improve communication. An engineer named Johnson as a result discovered the fundamental Johnson noise - eletromagnetic fluctuations present in all materials. A second engineer a little later discovered radio noise from the galactic center and intiated the field of radioastronomy. A still later study of noise at Bell made the striking and fundamental discovery of the isotropic background radiation, our clearest clue to the initial explosion of the Universe. The other aspect in which science depends heavily on technology is that the latter makes available sophisticated equipment, techniques, and instrumentation without which modern science could only limp along. In my own present field of astrophysics I think imme-

diately of infrared detectors or multipixel array detectors made by industrial laboratories, of microwave electronics and modern antennas, or of space vehicles, each of which has markedly transformed observational astronomy.

A number of conditions which encourage the successful growth of science and technology can be listed. These include: 1) a good level of education, 2) intellectual interest in general, scientific interest in particular, and a strong belief in the importance of both, 3) political stability, 4) a reasonable economic level at least among some groups in a society, and for some fields of science a very substantial national wealth, 5) the concentration of science and technology in a given locality to allow rapid and easy interaction among scientists, applied scientists, and support of the infrastructure necessary for easy access to equipment, supplies, and appropriate personnel, 6) good communications with other scientists within the given locality and also within the international community. Some of these conditions have always been required; others are a product themselves of the recent changes brought about by science and technology. Overall, the stakes for successful scientific and technical endeavors have steadily become higher. They require extensive financial support, a substantial number of personnel, and long-term commitments.

Because of the extent of commitment required for a high level of science, it must to some extent be a commitment of society as a whole, which must then have some say about its direction. Society will naturally push to direct scientific developments in those directions which will be useful to it, and the uses emphasized will be mostly material advantages rather than for cultural values. But a closely directed science is unlikely to be the most effective in leading to new discoveries. I'm sure we are all aware of extensive applications growing out of pure science in quite unforeseen ways. Close to my own field, I think of the tremendous medical importance of nuclear magnetic resonance, how the transistor has transformed our lives, or the many applications of lasers. Of other fields, it seems to me that fundamental biological studies are already

contributing enormously and applications will be rapidly increasing.

Now unfortunately, usually both politicians and industrialists are very pressed for demonstrable results and are hence usually shortsighted in planning the directions of scientific research. A politician or an industrial manager wants to see useful results during his term office, and this focusses support into rather highly directed and specific science. An industry or society must somehow have enough free resources to comfortably take a broad view of the support of science and be wise enough to make long-range commitments. Most industrialized nations can certainly afford such a long-range approach, and must somehow be constantly urged into a balance between freedom for scientific research and some moderate control of its direction. I believe society can give most effective direction by choosing very general areas which may have possible applications, and otherwise allowing much freedom in the exploration of these areas.

Given the above requirements, the smaller, incompletely industrialized countries have a particularly hard time making a mark on present science and technology. They often have a few well-known scientists doing outstanding work. But the efforts have difficulty in growing, and for substantial long-term national support these efforts must probably be associated with technological developments of industrial interest and a larger interacting group. The cost to assemble a successful enterprise of this type is large and takes time. This in turn requires a viable economy and political stability. My belief is that science and technology in South America, for example, has been much handicapped by political instabilities and lack of consistent policies over a substantial enough period of time. Difficult economic problems have of course also played their part.

In the far east, political stability has clearly been important in the remarkable technological success and industrial growth of Japan, of Taiwan, and of Singapore. Ministers of the Pacific Rim countries have recently convened and commented on the good fortune of stability in some of their countries, which has

brought industrial and economic growth, contrasting that with the unstable and difficult conditions of the middle east.

How can a relatively unindustrialized nation develop science and technology with substantial success and reap the benefits of these in terms of better health and increased standards of living?

In some cases, scientific centers specializing in areas which utilize geological, biotic, or other special local conditions can prosper well. There can also be one or more remarkable individuals who almost single-handedly make a creative scientific center. Unfortunately, a society cannot plan this latter good fortune. Individuals can indeed be critically important, but their lasting effect depends on other favorable circumstances. The first high quality modern industrial product I'm aware of which was made in Japan and which outclassed western production was photographic lenses. These were initiated by a chemistry professor interested in glass who, after successfully making glass of controlled high quality felt that Japanese craftsmen would be skillful at making lenses for the market. They were indeed, and I suspect the Japanese success with lenses, then cameras, helped give them confidence for launching later other high-quality products on the world market. But Japan had a scientific community, a high level of education, and other favorable conditions.

The importance of an interacting community of science and technology and the benefit of high concentration of these in a given area give scientists in a relatively undeveloped society a difficult handicap. But there is always the possibility of contact with the larger scientific community. The Third World Academy organized by Abdus Salam has done useful work in this direction. Fortunately, the success of science itself demands reasonable openness of its ideas to everyone, so that such contact is possible. The training of students from an undeveloped country in schools and industries of a more developed one is also an important and useful step. In some cases these students, or more mature individuals who have taught or worked in the scientific centers or industries of technically advanced nations have returned to their own countries to initiate very successful efforts

and technical groups. In other cases, industries in Europe or the United States have founded branch units in some of the less developed countries where labor is inexpensive so that industrial development has taken place as a marriage between the two countries. I believe that with thoughtful regulation, a less developed country should not have much to fear from this process, but should look at it as a natural part of making a world community. The process can later develop into a successful national effort within the less developed countries, as it has in some cases. One can see a remarkable example of this process, for example, in Taiwan, where transfers of personnel and industry from the United States have been important and where science, industry, and an increased standard of living now flourish. An interesting development is the growth of industry in Mexico near the U.S. border where many U.S. companies have branches utilizing the effective and relatively inexpensive labor of Mexico. This may possibly grow into a more national industrial center, with offshoot industries set up by Mexican nationals who have gained the needed familiarity with such operations.

In the industrially developed countries, science is in relatively good health and exciting. However, I want to mention some sociological concerns even for these countries which can prevent development of science and technology at their best.

1. The increased costs of doing science, and the increasing obviousness of its effects on the economy makes support of science as a whole increasingly dependent on economic reasons. In most Western nations this produces increased emphasis on applied science and on short-term, directed programs.

2. These same costs and economic payoffs seem to be increasing materialism among some of those attracted into science; money and notoriety become a larger part of the game and genuine intellectual interests a smaller one.

3. The misuses of technology have been closely coupled in the public mind to science. I believe this misunderstanding is now fading somewhat, but avoidance of such misuses needs substantial attention of both pure and applied scientists.

4. Very large projects are increasingly common in some scientific areas. In most cases I believe they are needed, but they are a disadvantage in the training of young people, who can frequently only participate in a small and specialized part of the project. In some cases, they also remove the scientists too far from contact and responsibility in the development of large equipment.

5. Certainly in the United States, and probably in other countries, the importance of profitable-looking balance sheets have made many large industrial firms decrease their long-range research. Thus industrial commitment to basic research has been substantially decreased over the last few decades.

6. At least in the United States, scientific education of the population as a whole is poor.

I shall not try to suggest remedies for these concerns, except to note the very encouraging trend that scientists are taking an increased interest in the social function of science and technology, and in longterm planning in those areas strongly influenced by science and technology.

## DISCUSSION

## BLANC-LAPIERRE

Merci Professeur Townes, vous avez brossé une très large fresque. Je pense qu'il y aura une discussion longue mais que je devrai un peu écouter pour ne pas priver les orateurs suivants.

## MOSHINSKY

I would like only to mention a point that you made in relation to Mexico. It is certain that these factories on the border have contributed to giving employment. In the present situation of Mexico, this is very desirable. However, they have transferred very little technology and, as far as I know, have made no contribution to the bettering of education, particularly science education. This is a point that these companies should keep in mind, and I don't think that they are doing it now.

## TOWNES

I would only remark that one should study the situation in Taiwan. The Taiwanese have quite successfully used a particular type of development. The situation might well be different in other countries but I would hope that in the long run the very successful Taiwanese example can be useful.

## LAMBO

I would like simply to probably emphasize what we constantly hear nowadays in every debate, especially of the United Nations and international organizations: the transfer of technology. A lot has been written and said about this. Every UNO effort made within the last two or three decades has failed. Why? Is it because there is reluctance or a high degrees of resistance in the developed countries or in industrialized countries in relation to transferring technologies to the

developing countries? Is it due to this or is it due to the fact that the infrastructures in those developing countries are so weak, and so on, — you mention political instability as one element and there are many others. One would like to see in a way more clearly why this particular subject, the transfer of technology, which has been rated as the most important factor in the 20th and 21st centuries, for instance, the standards of living for increasing the quality of life, and giving some sort of self-reliance to the developing countries was up to now unable to grow. And yet often up until today there is very little transfer of technology.

One can probably quote the example of Japan. It may well be that the Third World or the so-called developing countries, have to go and really catch it, or steal it, or whatever, and then more or less study and develop technology. The technological advances which have been built on the infrastructures, the local traditions of Japan, have worked considerably well. So much so, that not only have they been able to get into the market, they have almost managed to dominate it.

I think these forces have to be studied. You mention the changes of sociology and of technology. We have to really find out why in fact the so-called transfer of technology, despite the tremendous political force behind it, has failed over the years.

## LEJEUNE

Monsieur le Président, j'ai été très intéressé par les rapports entre la science et la technologie mais je voudrais suggérer qu'il y a un troisième terme qu'on pourrait peut-être utiliser que j'appellerai le bon sens. Il y a la science, la technologie et le "commun sense". Je prendrai un exemple: nous avons toute la technologie pour construire le télescope spatial, toute la connaissance fondamentale pour en espérer des résultats superbes, on a manqué de bon sens, on n'a pas regardé dans l'appareil avant de l'envoyer dans la fusée.



## TOWNES

Sur ce point du télescope "HUBBLE" une très brève remarque. Je crains que le problème ne soit beaucoup plus compliqué que simplement une question de bon sens. Je ne voudrais pas laisser croire que mes collègues de la NASA manquent de bon sens.

## DE GIORGI

La divulgation et l'éducation scientifique sont en même temps des problèmes qualitatifs et quantitatifs. Je voudrais signaler l'importance des problèmes qualitatifs. Par exemple en Italie, et je crois aussi dans les autres pays plus ou moins industrialisés, on a beaucoup d'informations mathématiques dans l'école mais non une bonne qualité d'information. La plus grande partie des gens qui fréquentent l'école, après la licence, s'ils ne deviennent pas ingénieurs ou physiciens, disent: "J'ai finalement fini avec les mathématiques". C'est le meilleur signe qu'il y a quelque chose de qualitativement mauvais dans notre enseignement scientifique. Il serait nécessaire de penser un peu. Je pense qu'il n'y a pas une bonne intégration entre l'enseignement scientifique et la culture complète.

## ROCHE

Dr. Townes has mentioned that disdain of worldly affairs is one of the negative factors for the development of science. Professor Lichnerowicz previously mentioned very briefly the big problem of Spain. There was no science in Spain, or also in Portugal, I might add Professor Lichnerowicz mentioned that this occurred in the 16th and 17th centuries. Actually it lasted in Spain until 10 or 15 years ago. With one exception, Spain has produced no major scientist. The exception of course was Ramon y Cajal who won the Nobel prize in 1906.

I could speak for hours but I shall be very brief. I think that the fault for such a state of affairs, if fault there is, must be put on the particular version of the Catholic religion in Spain. The

Spanish developed through a very prolonged struggle against the Moors, which lasted 700 years, a fiercely intolerant religion, which led to the expulsion of the Jews and the Moors, and to the famous decree of Philip II forbidding all Spaniards from studying abroad and obliging all those who were studying abroad to come back to Spain for the fear of being infiltrated by Protestant thought and anarchic thought in general.

Lewis Feuer is a man who has written about the favourable social and religious circumstances for science. In a very generalised way of course, I understand he has said that science develops in a libertarian, hedonistic atmosphere and is squashed by an authoritarian atmosphere, which has been that of Spain. That problem interests me greatly and I would be glad to speak to people here individually. I won't carry it further, because it is a very complex matter and time is very short.

## RAO

It was a very fine presentation by Professor Townes and I am very glad you mentioned the interdependence of science and technology. But the real problem is the big innovation chain between science and technology. The ones that were very good in science need not necessarily be good in technology. With all due apologies, the British example is a good one: they are excellent in science but not so good in modern technology.

The real problem of the developing world would be that they do not have a critical mass in many of the countries for either science or technology. The technology transfer mentioned earlier will never be possible, because there is no absorption capacity either for science or technology in many developing countries.

I don't know whether you have thought about this: that the sociology of the future world is going to be in a terribly desperate situation, where a large majority of the countries will never be able to come into the mainstream of science and technology. In this competitive world, in which even America sometimes has to take a back seat, I don't see any future at all, any meaningful

and just way for humanity to live, when this terrible competition has taken over and it is impossible for people to catch up.

The gap is so wide that there is no way that these people can come up, even if we do start educating them. And even if they are good in science, like in India, they have a big problem with the potential barrier of world technology.

### BLANC-LAPIERRE

Le Président Chagas veut dire quelques mots très brefs, puis Monsieur Townes répondra aux interventions.

### CHAGAS

J'ai été très intéressé, Monsieur le Président, par la présentation qui a été faite par Townes mais aussi par celles qui l'ont précédée. Je crois que Townes a, d'une certaine manière, condensé tous les problèmes qui avaient été discutés d'abord. Et il a abordé d'une façon plutôt indirecte les problèmes du transfert des technologies. Or, ces problèmes soulèvent des questions qui sont d'une grande importance. D'abord Monsieur Pullman nous a dit que la démocratie est le régime politique où la science peut se développer. Moi, je suis tout à fait d'accord que le seul régime réellement humain, viable, nécessaire, c'est la démocratie. Mais la démocratie représente la volonté du peuple. Et ce qui manque dans beaucoup de pays, c'est une décision politique pour qu'on puisse vraiment développer la science. Donc, nous sommes ici dans un certain paradoxe parce que, si le gouvernement démocratique représente la volonté du peuple, et s'il ne prend pas une décision politique, c'est parce que le peuple ne la désire pas. C'est une question assez étrange, dirais-je, mais tout de même réelle. D'autre part, Monsieur Townes nous a rappelé le transfert d'énergie. Moi, il y a certainement presque trente ans que je suis mêlé à la question du transfert des technologies. J'ai été secrétaire de la Conférence pour l'application de la science et de la technologie en 1962-63 à Genève. Qu'est-ce qu'on peut dire du transfert des technologies? En principe, c'est la volonté de quelqu'un, puissant, qui veut vendre des choses à celui qui ne

sait pas les choisir, ou ne peut pas bien les choisir. Moi-même, j'ai un cas personnel: mon premier pacemaker n'a pas marché; c'était un matériel qui depuis dix ans n'était plus produit aux Etats-Unis; ils ont vendu tout ce matériel au Brésil. Mais comment peut-on faire le transfert d'énergie? On ne peut le faire que si le pays qui reçoit a une communauté scientifique qui puisse juger de la qualité et du matériel qui lui est offert. C'est un point que, depuis trente ans, je défends, mais ce n'est pas facile de convaincre beaucoup de gouvernements. D'autre part, Monsieur Townes nous a parlé des exemples extrêmement intéressants de Taiwan, de Singapour; parce que la Japon n'est pas un exemple, c'est un cas unique, si vous me permettez. Or, dans des pays comme le nôtre et dans d'autres pays continentaux, les régions sont tellement différentes, la culture de chaque région est tellement diversifiée qu'il est très difficile d'imposer un certain nombre de règles. Et alors, les exemples quelquefois ne peuvent pas s'adapter, il faut que les pays créent par eux-mêmes leur unité scientifique, leurs capacités scientifiques et leur potentiel scientifique. Et ça c'est une tâche extrêmement difficile, extrêmement dure; il faut que les pays sous-développés le fassent eux-mêmes parce que le développement c'est un privilège national, il ne peut pas venir de l'extérieur. Nous pouvons copier, nous pouvons imaginer, nous pouvons faire beaucoup de choses, mais il y a quelque chose d'important, de très important, de très réel qui doit venir de nous-mêmes. Et c'est pour ça que les exemples sont très bien, très importants, mais qu'il faut tout de même que chaque pays prenne sa propre responsabilité. On a parlé ici de l'Espagne, et j'ai été très heureux des observations de Lichnerowicz, parce que vraiment nos pays en Amérique latine souffrent, et je l'ai rapidement dit dans mon discours, du fait que nos colonisateurs n'avaient pas la science incluse dans leur culture. Même le Portugal, par exemple, ne permettait pas la création de facultés d'enseignement supérieur dans notre pays. Ce ne fut que longtemps après l'Indépendance qu'on a pu les créer. Donc il y a des problèmes qui sont des problèmes très importants, très spécifiques et qui sont quelquefois très difficiles à mettre dans le cadre général. Il faut étudier chaque cas dans les grands pays, chaque région, pour qu'on puisse vraiment réaliser

l'idéal de tous qui est le développement social basé sur une science humaine et une technologie qui ne soit pas au service de qui plus a, de l'argent. Merci.

BLANC-LAPIERRE

Merci, Monsieur le Président. Monsieur le Professeur Townes a la parole.

TOWNES

I appreciate very much the comments made, which I think are very pertinent and helpful. I basically do not disagree. Technology transfer is a very difficult problem and one which all too frequently has been done in a very artificial manner by top administrators and not by the real actors who must solve the problem. We need people who are familiar with the local situation and with technology as well. Furthermore every country has its individual possibilities; every situation is different. I have mentioned three countries in the Far East. They are completely different.

Japan of course for some time has had a highly developed scientific and technical community and so it had a natural mode for growth. But I would like to note that it was not easy to get started, even there. I spent five months in Japan in 1956. One of the most welcomed gifts I could at that time give my Japanese friends was a small American radio. Japan was not making such radios in 1956. I asked my friends: you are so good in engineering and so good in physics, why don't you make radios? Their answer was that they had no market, the people were too poor, and they couldn't afford to make them. Of course, they found the market before long in the United States and other places, which also allowed development of a market among the prospering Japanese. We should be reminded that they too started with difficulties in spite of a very extensive scientific and engineering culture and good ground for economic growth.

In the case of Taiwan, again the situation is completely different. Many Taiwanese scientists and engineers have worked in

the United States and US industry has formed small branch companies there. Taiwan has also had substantial science and engineering for some time, and so there were a number of people ripe to start their own enterprises. Many technically trained Chinese came back to Taiwan from managerial positions in the United States and started their own factories. They also moved out of the branch factories in Taiwan and started their own enterprises. That's the way they did it.

Singapore is again different. It has relied almost entirely on attracting manufacturing; there is relatively little indigenous science or technical development.

Each of these countries has had success in its own way. One of our great problems in initiating industrialization is the all too common use of a general, vague, and idealized idea of technological transfer. Such transfer doesn't work unless it is clearly matched to the local situation. It also doesn't work unless there is adequate infrastructure, as Dr. Lambo has said.

# THE RECEPTIVITY OF VARIOUS COUNTRIES TO SCIENCE AND ITS APPLICATIONS: THE MEXICAN EXPERIENCE

MARCOS MOSHINSKY

Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México,  
México

Being one of the relatively few members of the Pontifical Academy who belongs to what is called the Third World, I would like to give my impressions on the receptivity of science in Third World countries through the experiences of my country, Mexico, and, more generally, deal with some aspects of the subject in Latin America.

In one sense Mexican culture is an ancient one, for impressive remains, occasionally, older than one or two millenia, have been found. But the Spanish conquest in 1521 erased most of the influence that these cultures could have had on later social developments, particularly those in science and technology, though some of them remain in art.

We must then study the receptivity of science in the New World, from the time the Europeans discovered, conquered and partly populated the continent. The main groups that carried out this task came from Spain, Portugal, England and France. Those sections of the region that belonged, for nearly three centuries, to the first two nations I mentioned, are now called Latin America, a French invention that superseded what more rightly should have been called Iberian America. The part colonized originally by Britain and France likes to call itself North America, again wrongly, as geographically North America includes Mexico.

Before we begin to think about receptivity of science in Latin America we must think about its appearance in the Iberian Peninsula. Spain, for example, has produced great writers like Cervantes, great painters like Velazquez or, in modern times, Picasso, but has not had scientists of comparable stature or as

great as those that appeared in the last centuries in other European countries such as England, France or Germany. Why?

The answer belongs to the historians and I am a physicist. I can simply transmit to you some of the opinions I have read or heard. Some say that the consolidation of Spain as a nation took place in the same year 1492 as the discovery of America by Columbus, and the expulsion of the Jews and Muslims, and the last two events had a negative effect on the development of science there: the discovery of America because it attracted some of the brightest and more energetic individuals to the New World, and the expulsion of Jews and Muslims because it deprived the country of many people with the same characteristics.

Others argue that Spain, which from the end of the 16th century was the center of the Counter Reformation, became too rigid and dogmatic to permit the flow of ideas that would have created the conditions for the flowering of science.

Whatever the reasons, the fact remains that only at the beginning of this century did a revival in Spanish science begin to be noticeable, which was cut short by the Civil War in the 1930's. It then took a generation before it started again to make significant contributions in this field.

If this was the situation in the Iberian peninsula for more than three centuries, one can well imagine that in their colonies the cultivation of science was completely neglected except in a few cases where it was needed directly, such as in agriculture, mining and health. Besides, science makes people think, and colonial masters don't like that their subjects think, even on abstract matters, as they may also get ideas that they consider dangerous.

Despite it all, some science did reach the Iberian colonies, as I saw from a direct experience. As an undergraduate I was once helping explore the attics of the School of Mines, an imposing structure of the end of the 18th century, to see if we could install in one of them some cosmic ray counters. In one of these attics we discovered, half-eaten by rats and insects, a collection of books of the 18th century dealing with mathematics and mechanics which must have been quite modern at the time,



including discussions on analytic geometry and differential calculus. Thus some receptivity to science existed even in colonial times.

Independence in Latin America in the early 19th century did not improve matters much. In the case of Mexico there followed almost fifty years of civil and foreign wars. The situation then calmed down during the thirty years' dictatorship of Porfirio Diaz. As the latter was relatively mild, some science developed but mainly by amateurs or high school teachers. I remember once, in the dusty archive of an old debating society, finding a letter directed to the Curies praising them for their discoveries in Radioactivity. Obviously the authors were keeping up with the progress of science, if not doing research themselves.

In 1910 came a revolution against Diaz and ten years of fighting, and then another ten years of painful reconstruction.

Thus, with the exception of research in medicine and biomedical science whose tradition is older, Mexican science started stirring in the 1930's. In physics this was caused in good part by the prodding of a distinguished researcher, Manuel Sandoval Vallarta, who left his mark in the field of cosmic rays and was for twenty years (1924-1943) professor at M.I.T.

The Institute of Physics of the National University dates from 1938, founded by one of Vallarta's students Alfredo Baños. In short order several other research institutes were established, housed in crowded rooms of the School of Mines, and with very few researchers.

A similar situation was developing at the same period in Brasil and Argentina and in some other Latin American countries.

Paradoxically the Second World War helped these budding efforts, as some American professors who were not directly connected with war effort spent long periods in Mexico, among them mathematicians of the importance of Norbert Wiener, Solomon Lefshetz and George D. Birkhoff. Brazil and Argentina had similar experiences with European refugees.

But while in the period 1930-1945 several branches of science slowly developed in Mexico, this was mainly through

the efforts of those interested, and supported from the meager salaries derived from many hours of teaching.

The real popular and government interest in science in Mexico, as well as in much of the rest of the World, was initiated by an event on a very definite date and place: august 6, 1945 in Hiroshima. Governments as such rarely care very much for the governed, but they always crave power. Suddenly they realized that science was power and thus they started to get interested in the subject.

In Mexico it reflected itself in the plans for a new Univesity City, instead of the old colonial structures we inhabited, one of which originally housed the Inquisition. Among the new campus buildings were included about a dozen research institutes in different fields, and the whole project was completed in 1952. This represented the first comprehensive research effort in the country's history and by now it has been extended to many institutions of higher education.

Not everywhere were the initial efforts so productive. In the Argentina of Juan Peron of the late forties and early fifties the interest was in producing a nuclear bomb, and a charlatan by the name of Richter was able to build an impressive laboratory in Bariloche, in which, fortunately, he failed to achieve his objective. I mention this early example of misdirected receptivity to science, because it is common today, in many countries of the Thrid World, where great effort and expense is lavished on the application of science to military purposes, while much of their population lives below their minimum requirements in food and shelter.

Returning to Mexico, one could say that during the fifties and most of the sixties there was a steady growth in the development of science, as well as in the awareness of the benefits that could follow from its application. Several institutions were able to achieve the critical mass required to produce good science and were able to prepare new researchers for themselves and other institutions, as well as to absorb those being trained abroad.

If my story ended in the late 1960's I would report to you that, at least in Mexico, science had initiated its development,

and that we expected that maybe in a quarter of a century our contributions would be significant internationally, and some of their applications would be bettering the standard of living of our population.

Unfortunately I am reading this note in 1990, about 25 years after the optimistic period that I just mentioned, and things have not worked out the way we expected.

One of the reasons lies in the, at the time, unexpected results of the application of science. Our biomedical people worked hard to erase the gastro-intestinal and lung diseases which were the main cause of death in Mexico in the first half of the century. They succeeded in most cases but, as the birth rate remained constant for many years, we grew in 50 years from 20 to 85 million people, with negligible immigration from abroad. Social services could not be expanded at the same rate, and the living conditions for a great part of the population have not improved. This problem is common to all the Third World and it absorbs resources that could have been used to improve the quality of life of the population, as well as part of those originally directed to the development of science and technology.

Other reasons are related to internal mismanagement and corruption. In Mexico we were well aware of our important oil reserves, but most of them could not be exploited economically at the pre-1973 prices. When the price increased, the government blithely borrowed to build the infrastructure required for the exploitation hoping to pay with the oil extracted. Prices fell, and we were left with a huge debt, partly because a percentage of the money borrowed was stolen or invested in unreasonable projects.

Other countries of the Third World became debtor nations for different reasons, but the net result is that all of them have barely enough money to pay interest on their debts and to attend to some of their most pressing social needs.

In most parts of the Third World where significant achievements in science and its applications were reached, a quarter of century ago, the development has slowed down. The salaries for those working in Universities have diminished, and in some cases actually vanished. The preparation of young people to

substitute the aging cadre of researchers and professors has slowed down, due to lack of sufficient numbers of fellowships but also because the bright students, looking at the problems of their professors, choose business, or bureaucracy rather than an academic life.

The brain drain, which used to be negligible in Mexico in the fifties and sixties, is now being strongly felt.

To summarize, most of the Third World has nowadays a reasonable high receptivity to science and a great desire to profit from its applications; but caught in the pincers formed by a population explosion and a heavy foreign debt, they simply don't have the funds to promote research at the level required by their societies.

## DISCUSSION

## LAMBO

What my colleague has said in his brilliant paper describes a situation that exists I think in most of the Third World or developing countries. Much of Africa and other excolonial territories have yet to recover from five centuries of colonial domination. Prof. Moshinsky mentioned the brain drain. I can just give you a figure. In Nigeria alone the transfer of talents of our people in the wrong direction: 45% of all physicians, highly trained in America and in Great Britain, have left within the last one year. They have gone to Saudi Arabia and to other countries, to Great Britain and so on. The trend is more or less continuing at the present moment.

There is what we call TCDC, meaning Technical Cooperation among Developing Countries. When the so-called developing countries have failed to get what they needed or the help in transferring technology and so on from the wealthy and industrialised countries, they have turned to countries which are near to them. For example, Nigeria has a great deal in common with, or rather has been helped by, Brazil. South to South technical cooperation. We have received more from Brazil, more technical cooperation and so on, than from Great Britain or the United States. So we can find ways of overcoming what has just been described.

I would like to also more or less stress what has been said here. We would like the Pontifical Academy of Science to give very serious consideration to this question of the transfer of technology. It is more or less like moving the people of the Third World out of slavery. If nothing is done at all, for the next five decades I don't see any hope at all. I don't see any light in the dark tunnel. I see no hope for the quality of life of the peoples of the developing country. Of the 125 wars that have taken place after the Second World War, nearly two-thirds have taken place, and still are, on the soil of Africa.

Not only are these countries in debt, therefore, but they are at each other's throats. At whichever corner of Africa you look, there are two or three countries fighting long drawn-out wars. They are wars that absorb all the energy and resources. The debt cannot be paid back. On top of the debt they already have, African countries are still borrowing in fact, but they are spending almost 90% of the money to buy arms from the developed countries so that they can fight their neighbours.

There are complications then, and these have been spelt out. As I say, the outlook is very gloomy, but not unsurmountable. It is a matter of being able to recognize, diagnose, identify the problems and probably encourage the leaderships in the developing countries to overcome them. To find new ways. When about ten years ago Nigeria decided to go to Brazil to try to get more — because Brazil really does have a great deal to do with us and a great deal of sympathy and even empathy for what is going on — we really gained a great deal. So a great deal of South/South cooperation, where the cultures are more similar, or where there is sympathy or empathy, should, I believe, be promoted. Something has to be done. We have recognized the problems but the answers are still eluding us. We have to find solutions to these problems.

#### BLANC-LAPIERRE

Je vous remercie Professeur Lambo. Est-ce que d'une autre façon, on ne pourrait pas dire que peut-être il faut essayer des solutions régionales. J'avais, lorsque je dirigeais l'école supérieure d'électricité, participé et donné beaucoup de moi-même pour la création d'une école d'électricité qui recouvrait la Côte d'Ivoire, Madagascar, etc. Je n'ai plus suivi maintenant, je ne sais pas exactement comment elle marche à l'heure actuelle, mais elle avait eu de très bons débuts. Est-ce que ce ne sont pas des solutions à envisager? Plusieurs pays voisins, ou de communautés de sentiments comme vous le dites, qui se mettent ensemble pour créer quelque chose.

## PULLMAN

Dr. Lambo and Dr. Blanc-Lapierre practically said what I also wanted to say. Obviously there is the same feeling. Never would I dare try to give any advice or counsels to the developing countries, having had the chance, or the luck, of coming myself from a developed country, had I not also some personal experience.

When I was President of the International Union of Pure and Applied Biophysics, it so happened that there was plenty of money. I wanted to spend it, and decided to spend a large amount of it on developing countries. And among the developing countries in particular South America. When people found out that this money was available, I received a number of requests from schools and professors etc. They came individually from individual countries. I said that it would be utterly absurd to try to spend this money in such a disorganized way and I tried to force these countries to make local, regional arrangements, establishing say a school of biophysics, not for one individual place but an itinerant school of biophysics. This proved to be quite successful.

I personally believe that there are two definite conditions for the standards of living and get out of the hell in which they are living. One is democracy. Definitely. Nothing will be done without democratic governments, because only democratic governments could prevent the thirteen wars which are now taking place in Africa. The second condition is regional organization. If the dispersion of efforts persists in the developing countries nothing will ever be achieved. It is true, as I think Professor Rao said, that in no way there is any possible future for these countries; no way that they can reach the level of development. It will be difficult anyway, but impossible if there is no grouping together.

Looking at ourselves, the developed countries in Europe, we know that we will lose ground if we don't establish the European Community. Of course this is even more important for countries that are underdeveloped.

## JANSSEN

I come from another Latin American country, namely Uruguay. When I was young, I was taught at school that Uruguay in 1935 was the richest country on earth with the highest income per capita. The second richest country was Argentina. Today Uruguay is called an underdeveloped country.

In 1935 Uruguay was said to be an example of democracy. It was called the Switzerland of South America. So the fact that it has become an underdeveloped country is difficult to understand for outsiders. I think that some of us would be interested to have your opinion on the subject. What happened?

## MOSHINSKY

I will answer in order. You see in connection with what you said Dr. Lambo, I have only one observation which may be of interest. You probably know about it. I am referring to the Third World Academy of Science which is promoting South-South cooperation. It is doing it, I believe, quite effectively. It has support not only within the Third World countries but also outside. So this is one point.

With reference to Professor Pullman, the thing is that there exist such schools and I was the founder of one of them, the Latin American School of Physics, which was founded in 1959. It has continued its activities. So there are regional organizations and they are the ones through which one can manage things. In the case you mentioned, maybe you were the founder.

In connection with Uruguay, and maybe more particularly with Argentina, I visited Argentina for the first time in 1952. I came there just after Peron's wife, Evita, had died. I got a very clear impression that the divisions in the society of Argentina were such that people enjoyed more just passing each other than working together and trying to improve their general conditions, as the Japanese did.

This seems to be a situation that continues and I believe it also applies to Uruguay.



## RAO

May I just say something? No I cannot keep quiet when so much is being said about developing countries. I just want to say that the sign of underdevelopment today is the self pity that we all have in the underdeveloped countries. We are so helpless. The way things are going forward, the way that technology is becoming so competitive, means that even the advanced countries are going to have many problems from now on in keeping up. In the field of electronics, or materials or whatever, I see no way whatsoever of bridging the gap that is increasing all the time. It is increasing so fast that I see no solution, unless from some international organization, some sort of community of nations effort is taken to do something about it. Failing this, the majority of the developing countries cannot even make an entry into this competitive world.

The second point is this. Many developing countries sell their natural resources; they dig and dig and sell all their minerals. Even the little food they have, the little they can spare or not spare, is sold to make money. This is the problem. There is nothing to sell. Everything is against them. There is no way that they can compete. The world has become more competitive in the last three to four years than it was even ten years ago. It is very difficult to compete when it comes to technology.

I am a student of this kind of development, and I am a bit frightened about the way that even the advanced countries are developing, the way information, technology, is developing, the entire area of electronics and so on. Imagine any country in the developing world participating in the information technology. They can only buy it. So the burden is increasing. They buy from the advanced countries constantly and increasingly. Rather than improving technology we just buy more, because we cannot do without it. It is a very peculiar problem.

As far as wars are concerned, again this is a sign of underdevelopment. We keep fighting among ourselves. Killing each other, until we realize that for survival we will have to do better than fighting wars. I think this is also part of underdevelopment.

**BLANC-LAPIERRE**

Merci Professeur Rao. Le Président Chagas a demandé à intervenir.

**CHAGAS**

I would like to make two comments. Firstly, I have lived my passion for science since my childhood on account of my father. I would say that up to the end of the first war, the second war, at the Institute Osvald de Creus we followed every month, every year, what was going on abroad. I think that Sir Percy here will tell us how good the parasitological work was there.

After, the new methodology and the new uses of biochemistry, for instance, and the new biology, established the gap, and we were no longer able to follow everything. To give you an example, one of the best institutes of parasitology in Latin America is the one in which I work, because we apply modern techniques to the study of parasites.

This is the first point I wanted to make, though I don't know how it can be solved.

The second point is that we have been so fascinated by the science of the First World that we have not used something which would attract very much even scientists from abroad. I am thinking of the natural laboratories that we have all over Latin America and Africa. These have not been explored enough because we scientists have wished to follow step by step what was going on in the developed countries. I shall give an example that shows that a lot can be done in the developing countries. The example is here with us. Johanna Döbereiner has done extraordinary work by using the classical way — I would say at the beginning classical — and how she is becoming a bit of a biologist in modern terms! She used the bacteria to live together with some plants and so made a big step forward in our agricultural work.

**BLANC-LAPIERRE**

Merci Professeur Chagas. Je vais demander au Professeur Moshinsky s'il veut ajouter quelque chose.

**MOSHINSKY**

I have really no comments. I agree entirely with the observations that have been made. I would only like to repeat one thing that I think would be useful. I am thinking of a declaration by the Pontifical Academy of Sciences on the importance of support and development of the scientific establishment in the developing countries. I think this would be useful. It is very simple and it would have a psychological impact.

**LAMBO**

I only want to emphasise what Professor Chagas has just said. We have been talking in terms of infrastructures, political stability, absolute power of the developing countries etc. etc. But Professor Chagas has just mentioned a very important point. It is extremely important: this is leadership. Whether in politics or in science there must be leadership around which something can be built, and which is above politics and so on. Leadership is also extremely important.

**GARNHAM**

I should like to emphasize very much the remarks of Professor Chagas and also of the last speaker. I actually spent 20 years in a medical research laboratory of Kenya, which he knows very well. In Latin America I have the greatest admiration for the various research institutes, particularly in parasitology, but also in other subjects. Brazil is really quite remarkable for the number of research institutes. The Institute of Bugantan in Sao Paulo which deals with research on animals, the Rio Institutes and the presently rapidly developing ones in Brasilia.

Also in Colombia and Venezuela and Mexico I have been equally impressed by the institutes which I have had the opportunity of working for, for longer or shorter periods. I feel that of course all of these institutes, at present, really deal with the individual research workers. It is not so much a national concern. I think I would stress very much the importance of the individuals in science rather than the national aspect.

### CHAGAS

I am going to say something which is going to sound a bit astonishing at least. There are some advantages in being a developing country. I don't see in Europe or in the United States an institute of biophysics working with spermatozoa. I could do it in Brazil. I don't see one because classically there are such dogmas in organizations that it is very difficult to change the gap from one moment to the other, as we have done in my country.

### CREUTZFELDT

We have heard in the previous lectures from Professor Townes the intimate relationship between science and technology. I think one of the reasons why science, inspite of very good individuals or institutions, in countries which do not have an industrial infrastructure, will not succeed, is that we are educating scientists not so much just for science but because they will find a work market in industry. If that work market does not exist, people will of course become very quickly frustrated. Of course young men are idealistic about invention and understanding the world and so on, but they have to earn a living. The successful and most intelligent and most active young people, even in the developed countries, go to the areas where there is an infrastructure that is interested in them and pays for them. I think the main problem is this, and the gap which you mentioned will I think increase, if there is no industrial infrastructure, where there is research and develop-

---

ment in industry. If this does not exist, then I believe that every effort is destined to fail.

#### BLANC-LAPIERRE

Merci. Un mot du professeur Moshinsky puis nous arrêtons.

#### MOSHINSKY

I want to stress that the institutions I mentioned in my talk are ones that have leadership and are self-reliant. They are not just imitating what is going on. In some cases, they have initiated programmes in physics in which they are concerned with actual problems such as catalysis in the oil industry in Mexico, or earthquake analysis through modern techniques. But the main point also is that the research institutes provide the opportunity for developing the professors that we need to form the people in the technical field, and who later will be the ones taking care of the problems in industry and of other aspects of development.

# PROBLEMATIQUE SCIENCE-CULTURE DANS LE CONTEXTE AFRICAIN

FELIX WA KALENGA MALU  
Commissariat Général à l'Energie Atomique,  
Kinshasa

## RESUME

Dans le cadre général du thème: "La réceptivité des cultures des différents pays à la science et à ses applications", on met en exergue un ensemble de questions qui émergent de l'étude attentive de l'histoire du déploiement de l'activité scientifique et technique en Afrique au Sud du Sahara depuis le début de la colonisation. On montre que les récentes reconceptualisations des paradigmes de base en science sont porteurs d'espoir pour une science africaine plus dynamique et plus novatrice dans le futur.

## I. INTRODUCTION

Tous les observateurs de la scène africaine, et singulièrement les africains eux-mêmes, s'accordent pour reconnaître l'échec plus ou moins massif des entreprises africaines, particulièrement en science et en technologie (Castafrica II, 1987).

Pour appréhender les causes du marasme scientifique et technique en Afrique il est nécessaire de s'appesantir sur les inter-rétro-actions entre science-technologie-culture-société, de l'époque coloniale à ce jour.

Cette analyse conduit à un premier constat, (Malu, 1989). Comme partout ailleurs, mais plus qu'ailleurs, le bon développement de l'activité de Recherche-Développement (R&D) est étroitement tributaire du bon développement de l'économie qui lui sert de support. Il faut s'équiper adéquatement, en construisant éventuellement soi-même ses propres outils et instru-

ments. Il faut rassembler des chercheurs bien formés, suffisamment nombreux et pluri-disciplinaires pour constituer une "masse critique", difficilement quantifiable à priori mais non moins réelle et indispensable à la réussite d'une entreprise de recherche de quelque envergure. Il faut organiser adéquatement la collecte, la diffusion et le traitement de l'information.

Ces nécessités, et bien d'autres encore, étaient en partie la liaison étroite qui a prévalu dès l'amorce de l'aventure scientifique moderne entre la science, la technologie et le pouvoir sous sa triple forme économique, sociale et militaire.

Ces nécessités ne sont cependant pas suffisantes pour garantir un bon développement de l'activité scientifique et technique. Le facteur culturel paraît bien plus important pour comprendre et expliquer le succès ou l'échec de l'activité de R&D dans un contexte donné, (Malu, 1989; Yehuda Elkana, 1979).

## II. QUESTIONS SUR LE RAPPORT "SCIENCE-CULTURE"

Des liens étroits et complexes existent, en effet, entre la science moderne et la culture.

L'histoire du développement de la science moderne montre, par exemple, que les grandes innovations conceptuelles en science empruntent généralement aux paradigmes dominants de l'époque de leur éclosion. Ces paradigmes dérivent, bien entendu, de la vision du Monde des chercheurs. Par ailleurs, il est évident que le secteur de l'activité scientifique et technologique constitue en soi une dimension majeure de la culture des nations modernes.

Ces deux seules constatations suffisent à rendre pertinente une foule d'interrogations sur l'interaction "science-culture" en Afrique. Ces interrogations prennent un relief particulier si l'on s'inscrit dans les vues du Père Tempels sur la vision du Monde des Luba du Zaïre, considérée par extrapolation, sans nul doute un peu hasardeuse, comme celle de tous les bantous. Malgré leur caractère encore fort controversé, les vues de Tempels font émerger un système rationnel de pensées qui se démarque sur bien de points du système de pensées européen qui soustend

l'écllosion de la science moderne au XVI<sup>e</sup> et XVII<sup>e</sup> siècle (Tempels, 1949; Van Parys, 1979; Crahay, 1965).

Ces différences suscitent une foule d'interrogations. La réponse à ces interrogations permet d'appréhender les causes qui expliquent en partie le marasme scientifique et technique de l'Afrique au Sud du Sahara (Malu, 1989). Dans cette foule d'interrogations on retient les suivantes, qui ont trait au rapport entre science et culture:

1. Dès l'abord, surgit la question de savoir pourquoi la science moderne s'est mieux développée dans la civilisation européenne de la Renaissance plutôt que dans d'autres civilisations tout à fait éminentes de l'époque, comme par exemple, la civilisation arabe, la civilisation chinoise, la civilisation africaine.

Pourquoi les grandes cultures arabes, asiatiques, africaines du passé, qui avaient été tout autant si pas plus que la culture européenne, initiatrices de progrès scientifiques avant l'ère moderne, se sont-elles laissées distancer d'une façon si nette qu'elles paraissent aujourd'hui archaïques à bien des égards?

Est-ce parce que les cultures non-européennes introduisent des contraintes dirimantes à l'écllosion d'une activité basée sur une vision trop mécaniste de l'Univers? Si oui, quelles sont ces contraintes?

Plus généralement, les différences dans les systèmes rationnels de pensées (entendus tout à la fois dans la logique et dans la formulation des pensées) dues à des visions du Monde différentes, permettent-elles d'expliquer l'évolution divergente des activités scientifiques entre la culture européenne et les autres cultures à partir du XVI<sup>e</sup> et du XVII<sup>e</sup> siècles ?

Y aurait-il, à cet égard des sociétés "préscientifiques" et "scientifiques"?

Qu'en est-il de l'affirmation qu'une différence de fond entre les cultures pré-scientifiques et scientifiques s'inscrit en général dans une conception positive de la science?

2. La science peut-elle au départ se développer adéquatement dans une vision, et donc dans une approche, d'emblée globalisante de la réalité vécue ?



En d'autres mots, la limitation de l'intérêt scientifique à la seule réalité matérielle n'est-elle pas l'inévitable condition du progrès scientifique, à ses débuts tout au moins ?

3. Pour la mentalité scientifique, les certitudes sont toujours provisoires, réformables et en principe universelles. Elles ne sont acquises qu'à partir des faits réels expérimentalement vérifiés, conduisant à des lois qui autorisent des déductions logiquement cohérentes.

D'après Tempels, la pensée africaine serait, par contre, basée sur un système qui postule implicitement l'existence de certitudes immuables, étayées sur la pensée des ancêtres et sur la transcendance divine. L'homme africain serait en prise directe avec Dieu et ses ancêtres par le concept de force et ses attributs. Tempels parle de "force vitale". Ce concept privilégierait un type de causalité particulière, essentiellement métaphysique (causalité orale), dès lors qu'il postule une dépendance permanente de la créature vis-à-vis de son créateur "quant à son existence et quant à sa subsistance", (Tempels, 1949; Van Parys, 1979).

Par ailleurs un lien étroit existerait entre les créatures. Celles-ci se trouveraient dans un rapport ontologique intime, comparable au lien de causalité qui relie la créature au créateur, et qui occulte "tout concept de la chose individuée existant en elle-même".

A la lecture des affirmations de Tempels, le système de pensées bantou paraît de prime abord difficilement conciliable avec le système de pensées qui soustend la révolution paradigmatique newtonienne.

Peut-on cependant tirer de ce constat que l'activité scientifique moderne est radicalement désavantagée en Afrique par une assise culturelle inadéquate?

Certes, se fondant sur la cohésion logique de l'ensemble des idées qui caractérisent l'ontologie bantoue, Tempels a conclu à l'aptitude culturelle des Bantous à entrer dans l'esprit scientifique moderne; ou même à survivre à l'intérieur d'une culture désormais accueillante à la science et à la technologie moderne.

Il reste cependant à préciser sous quelles conditions et de quelle manière cela est possible.

Se pose ici le problème des dissociations radicales qui se trouvent en fondement de la démarche scientifique. Il n'y a science moderne, comme elle est encore largement perçue, que si d'une certaine manière, il y a (Crahay, 1965):

\* dissociation du "sujet et de l'objet", qui condensera en elle le passage à la réflexion;

\* dissociation explicite, conceptuelle "du Moi et d'Autrui", ou se réfléchirait la rupture de la solidarité vécue, rendant compréhensible le fait même d'un problème d'autrui;

\* dissociation explicite du "Naturel et du Surnaturel", du "Sensible et du Métaphysique", rendant possible de penser correctement le naturel et le sensible;

\* dissociation de "l'Expression et de la Communication", destinée à prévenir la confusion du rapport magique et du rapport cognitif;

\* dissociation de la "Liberté corporelle et de la Liberté achevée".

Certes, la science, faisant droit aux complexités qu'elle découvre dans son évolution, atténue aujourd'hui la portée trop radicale de certaines de ces dissociations, (Prigogine, 1979; UNU, 1986; Malu, 1986). Il ne reste pas moins qu'on ne peut parler de science moderne, comme elle est généralement perçue, que s'il y a d'une certaine manière les dissociations qui viennent d'être rappelées.

4. A supposer, comme l'affirme Tempels, que la notion de "force vitale" soit la clé de tout le système informulé de concepts bantous, faut-il pour "africaniser" la science et la technologie moderne développées en Occident, pousser l'Afrique à une sorte ou une autre de "métissage culturel"?

C'est-à-dire en fait, faire adopter à l'Afrique une stratégie de développement scientifique et technologique représentant un moyen terme entre l'assimilation parfaite poursuivie bien durant la colonisation, et la contre-acculturation rigoriste qui fait du culte de la différence africaine une fin en soi.

Si le moyen terme prévaut, faut-il ne reprendre de la culture scientifique universelle que les seuls systèmes, procédés, thèmes qui viennent en renfort des particularités et des habitudes de pensée africaine, tenant dûment compte bien entendu, des préalables qui les conditionnent?

Si oui, comment procéder sans tomber dans le travers qui tend à faire de l'originalité africaine une fin en soi, et sans diminuer les possibilités de communication, et donc d'échanges inter-culturels, indispensables à un réel progrès scientifique et technologique ?

5. Le système de pensées bantou, explicité par Tempels, rejoint sur certains points les idées et concepts qui émergent de la nouvelle reconceptualisation scientifique engagée dans le monde scientifique avec la nouvelle science de la complexité, (UNU, 1986; Malu, 1986).

Peut-on voir dans cette nouvelle reconceptualisation l'occasion d'une renaissance scientifique en Afrique, qui permettrait aux africains de faire mieux que la mauvaise copie de la science coloniale qui a prévalu à ce jour?

6. Les blocages mentaux, religieux, économiques et autres n'ont pas manqué dans l'Europe de la Renaissance au moment de l'éclosion de la révolution scientifique moderne, consacrée par les percées conceptuelles de Newton. Si la science moderne prend corps et se développe en Europe malgré ces blocages, c'est parce qu'on assiste aux XVI<sup>e</sup> et XVII<sup>e</sup> siècles à une mobilisation des énergies suite à l'éclosion d'une bourgeoisie capitaliste particulièrement entreprenante. Celle-ci trouve dans l'entreprise, commerciale d'abord, industrielle ensuite, les instruments d'une nouvelle prépondérance à la fois économique, et bientôt politique, grâce à l'action des nouvelles instances délibérantes qui voient le jour avec ou sans l'assentiment des royaumes, (Morazé, 1979).

L'alliance objective des bourgeois capitalistes, des parlementaires contestataires, des savants hardis conceptualisateurs et d'artisans ingénieurs, permet de mettre en lumière l'intérêt pour le progrès de la société européenne de l'association "concept-expérience", (Hamburger, 1986). Cette association prend ainsi progressivement le pas en Europe sur les anciennes

démarches de caractère holiste, qui continuent encore à dominer les analyses dans les cultures non européennes.

Au vu de ce constat historique, il convient de se poser la question de savoir si un type semblable d'alliance est possible, ou simplement nécessaire, en Afrique, pour sous-tendre l'éclosion d'une science plus endogène et plus dynamique.

En d'autres mots, un type d'alliance, ou de situation, qui met en jeu les préoccupations de profit des bourgeois, l'ingéniosité et le dynamisme des artisans, la curiosité et l'audace conceptuelle des savants qui s'en remettent à la seule raison critique, est-il possible, ou simplement nécessaire, pour assurer l'éclosion en Afrique d'une science moderne plus performante?

7. La science constitue-t-elle une catégorie à part, ou est-elle une dimension de la totalité de la culture humaine au même titre que l'art ou la religion par exemple?

L'importance de cette question pour le propos qui nous concerne réside dans ses rapports avec le problème des sources jugées légitimes de la connaissance dans la société africaine.

Au regard de cette question sur la dimension culturelle de la science une opinion fort répandue dans les pays industrialisés, estime que la science et la technologie constituent aujourd'hui l'essentiel de la culture moderne. Cette opinion élimine, en fait, les dimensions traditionnelles de la culture comme inutiles, et même nuisibles, au progrès de l'homme et de la société.

On peut juger cette conception du rôle et de l'impact de la science et de la technologie comme arrogante et technocratique. Elle s'inscrit, cependant, dans la logique de l'affirmation de l'universalité de la science face à la diversité des situations culturelles particulières.

Elle oppose la rationalité scientifique au caractère intuitif, voire irrationnel, des manifestations culturelles traditionnelles; le caractère versatile, voire marginal et ésotérique, des activités culturelles. Elle s'inscrit, pour tout dire, dans la logique de l'efficacité à tout prix.

Ces vues prennent un relief particulier dans le contexte des pays industrialisés. La pré-éminence de la science, et l'impact de la technologie sur la société, y sont à ce point marqués que le

secteur de l'activité scientifique et technologique semble, en effet, s'y substituer à la totalité de la culture.

Les dimensions traditionnelles de la culture apparaissent de plus en plus dans les sociétés industrialisées avancées comme obsolètes, inutiles, ou au mieux d'importance tout à fait secondaire et marginale pour le devenir de l'homme-moderne.

Ces vues ignorent, cependant, le fait que l'homme, dans ses attitudes comme dans ses raisonnements, est toujours à la fois rationnel et irrationnel. Il faut donc, soit postuler que la finalité du développement socio-économique est l'élimination de toute forme d'irrationalité dans la conduite de l'homme et du corps social, ce qui n'est envisageable que dans un univers de machines; soit admettre que la science et la technologie ne constituent que deux dimensions parmi d'autres de l'expérience humaine (UNESCO, 1974).

Cette seconde alternative se défend d'autant plus facilement aujourd'hui que la science moderne découvre dans la logique mathématique ses limites rationnelles, tandis que la physique dans sa version quantique met en évidence les limites de l'exactitude dans la mesure physique.

Ces contraintes viennent en renfort de l'opinion qui voit dans la science et dans la technologie des systèmes culturels parmi d'autres, à la recherche, comme les autres, d'une signification particulière à l'expérience vécue.

Sans nul doute, la science moderne fonde sa légitimité principalement dans l'épreuve expérimentale, ce qui lui permet d'affirmer qu'elle colle à la réalité vécue. Mais des disciplines entières de la science moderne comme la cosmologie, la paléontologie et même la physique théorique, sont, pour le moins, des sciences interprétatives. On y invoque, au même titre que l'artiste ou le théologien, l'intuition pour la mettre au service de la raison, faisant ainsi de l'imagination une source non négligeable de la connaissance.

Dans l'analyse des rapports entre science et les autres dimensions de la culture, on rencontre ainsi le problème important des sources jugées légitimes de la connaissance.

Ce problème ne peut être résolu que dans un contexte culturel donné et à une époque donnée, en se référant à des images de

la connaissance définies socialement, et en prenant en compte la connaissance déjà acquise, les valeurs et les normes de la société, les idéologies qui ont cours, ainsi que les pressions politiques et sociales, (Yehuda Elkana, 1979).

La discussion précédente motive la question suivante:

Au regard de la primauté de la méthode expérimentale comme source principale de la connaissance en science moderne, quelles sont, parmi les sources classiques de la connaissance que sont la pratique expérimentale, l'autorité, l'analogie, la compétence, la tradition, celles qui sont jugées légitimes dans les sociétés africaines, et comment se hiérarchisent-elles?

La réponse à cette question permet, à l'évidence, d'éclairer d'une lueur particulière le problème du retard scientifique et technologique que les cultures africaines ont pris sur la culture occidentale.

8. La dynamique du changement dans une société s'inscrit comme résultante d'une suite d'étapes qui est généralement la suivante:

\* Les idéologies, les normes de comportement, les valeurs sociétales et les contraintes socio-politiques et socio-économiques influencent les images de la connaissance, c'est-à-dire les opinions conscientes sur la connaissance et sa légitimité dans la société;

\* Les images de la connaissance déterminent la sélection des problèmes de recherche et des questions sociétales qui méritent une attention particulière;

\* Le choix des problèmes de recherche et des questions sociétales jugés importants influencent la métaphysique. Celle-ci contribue, avec les intérêts socio-politiques et socio-économiques du moment à influencer les opinions individuelles sur la société et finalement sur les idéologies politiques, les normes de comportement et les valeurs sociétales, (Yehuda Elkana, 1979).

La boucle qui vient d'être mise en évidence introduit un effet cumulatif duquel dépend soit la croissance, soit la régression, soit la stagnation de la société. Il importe par conséquent d'étudier de très près les paramètres qui conditionnent la dynamique de changement dans une société donnée.

Quels sont donc les paramètres qui conditionnent la dynamique de changement dans la société africaine?

Pour appréhender ces paramètres il importe de s'appesantir sur un certain nombre de questions qui portent:

- \* Sur l'importance des audiences qui, en Afrique, se partagent des images de la connaissance données;

- \* Sur la localisation des images cognitives sur le continuum "séculaire-sacré", particulièrement important en Afrique. Où s'arrête en Afrique le "sens de Dieu" et où commence le "sens commun" dans la connaissance du monde?

- \* Sur l'efficacité des images de la connaissance et donc sur l'effort consacré par la société africaine à leur objectivisation dans la conscience collective;

- \* Sur la stabilité comparée dans le temps des images de la connaissance, des sources de la connaissance et de leur hiérarchie (par exemple l'autorité ou la tradition opposée à la pratique expérimentale comme source de connaissance).

- \* Sur l'influence réciproque des images de la connaissance et des normes et valeurs sociales. Ainsi par exemple les travaux de Francis Bacon de Verulam, considéré comme l'initiateur de la pratique expérimentale moderne, ont dû attendre l'Angleterre Victorienne pour s'affirmer.

9. Pour qualifier de scientifiques les résultats de l'activité cognitive de l'homme, il faut s'accorder sur un critère de "scientificité".

Quel pourrait être le facteur déterminant dans l'élaboration d'un tel critère dans le contexte culturel africain?

Sans conteste, la "méthode expérimentale", entendue comme la conjugaison des procédures expérimentales et des percées conceptuelles, dont notamment le concept mathématique de fonction, représente le facteur le plus important dans le grand mouvement d'émergence de la science moderne en Europe au XVII<sup>e</sup> siècle.

Ce constat historique autorise à avancer, tout au moins, que durant la période de gestation et d'émergence d'une nouvelle discipline qualifiée de scientifique, la méthode expérimentale,

bien conduite, est le facteur déterminant du critère de scientificité, (Hamburger, 1986).

Mais est-ce également le cas pour une discipline en pleine maturité?

La situation est ici plus difficile et moins claire. Cette difficulté résulte du fait qu'il n'est pas facile d'établir une liaison claire et nette entre les deux types classiques d'analyse causale des phénomènes qu'on étudie: d'une part l'explication des phénomènes par une cause "efficiente", qui se situe dans la lignée d'Aristote; et d'autre part, l'explication "déterministe-aléatoire", qui se traduit mathématiquement par l'écriture d'un système (équation) différentiel(le) dont la solution est déterminée par des conditions initiales appropriées.

A cette difficulté s'ajoute, plus généralement, le problème de l'interprétation scientifique des faits expérimentaux complexes, eu égard à deux fascinations opposées liées aux deux types d'analyse causale: la fascination "métaphysique" liée au premier type d'analyse causale; et la fascination "déterministe-aléatoire" liée au deuxième type d'analyse causale.

Comme la grande majorité des scientifiques modernes, s'inscrivent dans la lignée des vues logiques du philosophe K. Popper, on pourrait pour résoudre les difficultés énoncées plus haut retenir le critère de ce philosophe comme critère de scientificité dans le cas d'une discipline en pleine maturité. Rappelons que Popper rejette l'induction comme critère de vérité.

Au vu de ce qui précède, la question suivante surgit:

La méthode expérimentale et le critère de Popper sont-ils acceptables, sans réserve, pour les structures mentales africaines, eu égard à diverses contraintes signalées plus avant et singulièrement à celles liées à l'importance de la tradition orale en Afrique, et aux caractéristiques de la philosophie bantoue entendue dans son sens vulgaire?

#### 10. En guise de synthèse.

Les quelques interrogations qui viennent d'être présentées s'inscrivent dans le contexte d'une même certitude: les concepts de base en science moderne, et à fortiori les évolutions conceptuelles dans l'histoire des sciences, sont pour une grande part,



relatifs au cadre culturel. De ce fait, ils nécessitent, pour émerger, un consensus social. Ils doivent donc être conformes à une certaine représentation sociale ayant cours au moment de leur éclosion.

Bien sûr, cette hypothèse (ou conception), dite externaliste du développement de la science, co-existe toujours avec l'hypothèse, dite internaliste. Les influences sont mutuelles. Mais, comme le démontre à suffisance l'histoire des sciences modernes, l'hypothèse externaliste est prédominante dans la phase de démarrage. La science ne prend vraiment une dimension internaliste que bien plus tard dans son développement (Morazé, 1979).

Tout en représentant une rupture, la mentalité et l'esprit scientifique ne sont donc pas radicalement indépendants de la mentalité tout court, et de "l'esprit du temps".

A ce propos, il est instructif de remarquer qu'à l'époque de l'éclosion de la science moderne en Europe, les sciences dans le monde non européen auraient bien pu produire les révolutions conceptuelles de Newton, si ce n'est faute peut-être d'une mentalité et d'un "esprit du temps" adéquats.

Les considérations qui précèdent expliquent pourquoi la science est, d'une certaine manière, à la fois internationale et incarnée dans une culture donnée. Elle est donc dépendante du cadre culturel pour son (mal)développement. Reste à savoir si le constat de mauvais développement de la science et de la technologie en Afrique légitime les appels à un changement de mentalité, à une révolution culturelle, de façon à induire un "esprit du temps" plus favorable.

### III. CONCLUSION: LES NECESSITES D'UNE NOUVELLE APPROCHE

L'étude des inter-rétro-actions entre science-technologie-culture-société en Afrique autorise, par ailleurs, à affirmer que l'échec de ce continent est imputable, pour une bonne part, à des stratégies de développement inadéquates, conçues et mises en

oeuvre par des esprits trop marqués par la pensée réductionniste de l'Occident que sous-tend le paradigme dominant en science.

Le paradigme dominant en science moderne, depuis ses origines en Europe, est en effet celui de la simplification et de la réduction. Depuis le positivisme, et jusqu'il y a peu, la science a fondé et justifié son succès par sa caractéristique éminemment réductionniste, et donc simplificatrice.

Appliqué au processus du développement de l'Afrique, ce paradigme "analytique, déterministe (ou pseudo-déterministe), disjonctif et substantif (au sens Hégélien)", revient à formuler la thèse qu'il est nécessaire et suffisant d'appliquer au contexte africain les recettes réductionnistes de la pensée occidentale pour obtenir un progrès socio-économique similaire à celui de l'Europe.

L'échec de l'entreprise de modernisation de l'Afrique post-coloniale dément cette assertion. Manifestement la situation africaine est plus complexe qu'on l'imagine, ou qu'on le souhaite.

Elle est complexe par le jeu de superstructures mentales et sociétales particulières. Elle est complexe par l'influence d'une philosophie dominante largement tributaire d'une pensée non réductionniste, non disjonctive, non simplificatrice. Elle est complexe parce que l'important en Afrique n'est pas, aujourd'hui comme hier, "l'identification sélective des formes ou des états", exercice que privilégie le paradigme de "l'analyse, de la disjonction, de la séparation", mais la (re)connaissance des "actions" pour un développement plus performant, qu'il importe, par ailleurs, de définir correctement.

A ces complexités typiquement africaines, induites par le substrat socio-culturel, s'ajoutent celles qui résultent de l'ambivalence de la science et de la technologie. La technologie en particulier peut être à la fois la corne de l'abondance et la source d'asservissements divers. Cette ambivalence impose de disposer d'une pensée capable de comprendre la complexité qui se trouve au coeur même de la science et de la technologie.

De toutes les manières, là où l'Occident a pris des siècles pour aboutir, l'Afrique se propose d'y parvenir en quelques décennies. Ce télescopage temporel augmente, on s'en doute, la

complexité de l'entreprise de modernisation de l'Afrique. Elle justifie, à elle seule, que l'on se démarque des modes et des canons de développement occidental pour acquérir au-delà d'une "intelligence du mouvement", aujourd'hui largement acquise, une "intelligence de l'action" efficace. Il importe de noter ici que l'intelligence du mouvement et l'élaboration des instruments nécessaires à en fournir une représentation fidèle ont été les principaux obstacles à la modernisation des sciences avant Galilée et Newton.

Si l'enjeu du développement reste le même pour l'Afrique d'aujourd'hui comme pour l'Europe du XVIIe siècle, les stratégies doivent être par nécessité différentes. L'Afrique a, en effet, principalement besoin d'instruments qui lui permettent d'élaborer une représentation valable de l'action efficace dans la poursuite d'un développement qui doit être perçu dans toute sa complexité. C'est dire que le processus de développement de l'Afrique n'est pas entièrement justiciable d'une "science réductionniste/disjonctive", mais plutôt et plus largement d'une "science de la complexité".

Ainsi pour cinq raisons différentes, et à cinq niveaux différents, on rencontre la notion de "complexité". La complexité est une notion nonpositive par excellence, que l'on confond trop souvent avec celle de "complication". Son étude implique des glissements des référentiels épistémologiques sur lesquels se fonde la recherche scientifique. De nouvelles notions, comme celles de causalité bouclante, de non-séparabilité, de conjonction, d'incertitude, de contradiction, d'ambiguïté ou de paradoxe doivent être introduites. Aux modèles fondamentaux traditionnels de la réalité en science classique, s'ajoutent de nouveaux modèles moins déterministes, moins réductionnistes, plus ouverts, plus instables, (UNU, 1986; Malu 1986).

Les considérations qui précèdent montrent à suffisance que discourir à bon escient des rapports entre science et développement en Afrique impose de s'appesantir sur une première question de fond: QUELLE SCIENCE?

Il s'agit ensuite de s'interroger sur les objectifs socio-économiques que se propose la communauté africaine:

QUELLE SCIENCE, certes, mais pour QUEL DEVELOPPEMENT?

Il s'agit enfin de s'accorder sur une méthodologie dans les deux exercices précédents:

"QUELLE SCIENCE, pour QUEL DEVELOPPEMENT, par QUELLE METHODE"?

résume ainsi à bien des égards la problématique "science, culture et développement" en Afrique.

## REFERENCE

1. Castafrica II: Science, technologie and endogenous development in Africa: trends, problems and prospects; Unesco document SC87/Castafrica II/3; 18 may 1987; 91 p.
2. Crahay F., Le "decellage" conceptuel: condition d'une philosophie bantoue; dans *Diogène*, 1965, n° 52; pp. 61-84
3. Hamburger J.; *La philosophie des sciences aujourd'hui*. Académie des Sciences; Gauthier-Villars, Paris, 1986, 187 p.
4. Malu wa Kalenga, Epistémologie, physique et développement: l'influence de Niels Bohr; dans "*Malu wa Kalenga (éd.)*, 25 ans de recherche nucléaire au Zaïre; Presse du CGEA, 1986, p. 230-256.
5. Malu wa Kalenga, Science et technologie en Afrique: histoire, leçons et perspectives, 240 p. Document non encore publié.
6. Morazé C.; *La science et les facteurs de l'inégalité*. Paris, Unesco, 1979, 276 p.
7. Prigogine I. et Stengers E.; *La nouvelle alliance*. Galimard, Paris, 1979, 435 p.
8. Tempels P.; *La philosophie bantoue*. Présence africaine, 1949.
9. Unesco: *La science et la diversité des cultures*. Presses universitaires de France, Paris, 1974, 350 p.

10. Université des Nations Unies (UNU); *Science et pratique de la complexité*. La documentation française, 1986, 436 p.
11. Van Parys J.M.; Aspect de la philosophie aujourd'hui en Afrique; *Etudes scientifique*. Caire, juin 1979. 30 p.
12. Yehuda Elkana; La science comme système culturel: une approche anthropologique: dans *La culture scientifique dans le monde contemporain*: ed. Mathieu V. et Roni P.; Scientia, Milano, 1979, p. 287-311.

## THE RESPONSIBILITY OF THE SCIENTIST

JOHN C. POLANYI

Department of Chemistry, University of Toronto,  
Canada

Mr. President, Colleagues: As many of you should be aware I have made a career out of talking on subjects about which I know little. However, it is a particularly humbling thing to discuss ethics in these surroundings, and before this audience.

On the question of morals, I do not think we have much difficulty in finding common ground. That it is moral to be humane, and caring of others, we would all agree.

But when it comes to translating morals into action and deciding on the proper compromises which constitute ethics, that is an endlessly elusive quest. It is one that was touched on by Professor Lejeune earlier in this plenary session when he spoke, with passion and eloquence, about the fact that, in Britain, the decision is on the point of being made that embryos of less than fourteen days can be the subject of research and study.

The fuller picture is that the members of the House of Commons and the House of Lords who are involved in this decision, are people with the same moral strengths and weaknesses as us, who are grappling with a very difficult question raised by modern science; a technical and also an ethical question as to what should be regarded as a living person and what should not. We are no longer sure. Neither at the beginning of life nor at the end of life are we sure. These parliamentarians are engaged in trying to balance the benefits that would come to mankind from greater understanding of human development, as a consequence of the study of the early days of division of a cell, against the dangers of an inhuman act.

Science does not answer these ethical questions, but raises them with force and in ever changing contexts. As a consequence ethics is a developing field.

On the subject of ethics the physicians are really about two thousand years ahead of the rest of us. This still leaves them at a very primitive stage. But they have at least tried for those two millenia to tackle the question of ethics.

As I understand the Hippocratic oath and what derives from it, it really has a central component which is more moral than ethical. This is that it is the duty of the physician to do no harm, but to alleviate suffering. However, when it comes to translating these precepts into action, all sorts of difficulties arise. Those difficulties are becoming more acute as a result of rapid developments in biological science.

If you say, as you may well say, that it is the duty of a physician (and you can translate this into broader realms of science) to extend human life to whatever extent technology permits, that can be a very cruel precept indeed. If you say, as the Hippocratic oath initially did, that the physician should not, under any circumstances, procure an abortion or terminate a pregnancy, you are going further than probably anyone in this room would wish to go.

I am pointing to the agonizing nature of these dilemmas. I might add something about their inescapable nature.

Following the explosion of the first atomic bomb, Robert Oppenheimer made a remark that many of us recall. It was a remark that was, I think, widely misunderstood. He said that "the physicists have known sin".

From what I know of Oppenheimer, he did not mean that he regretted his involvement in the development of the atomic bomb. What he meant was that the power of science had reached the point where it was inevitable that the scientists move out of their professional cloisters to become a part of the political process. In this wider arena they would come face to face with the terrible compromises that ethics impose morality.

The epitome of all such tragic compromises in our lifetimes was the moment when Albert Einstein, a lifelong pacifist, found himself ethically obliged to set in motion the development of the most fearful weapon mankind has ever produced. This he did by writing a letter to Roosevelt that resulted in the Manhattan project.

That is the world we live in; it is a new world for scientists.  
However, let me step back for a moment.

In the summary of this talk I distinguished "professional ethics" from "the ethics of the profession". That may now need elaboration.

What I meant to say is that in considering our responsibilities we can look inwards at our metier and ask what we owe to that profession in order that it shall be healthy. Alternatively, we can look outwards and ask what it is that our profession owes to the society of which we scientists are a part, in order that we shall do our duty as citizens rather than as scientists.

Following the introductory remarks that I have just made, I should like to cast my eyes, briefly, in each of these two directions; inwards at science and outwards at society.

Even in the short compass of these remarks something should be said about our duties to our profession. The health of science matters. It matters to us, and it matters to humankind.

Our first duty is to acknowledge and proclaim the worth of what we do.

There is a tendency, particularly when I meet with young people to address their concerns about science, to forget to say what a splendid and ennobling activity science is. It constitutes the major avenue in this century (and the next) to the truth; the truth about ourselves and the world we briefly inhabit.

There is only one such truth, however one may seek to approach it. That is why this Church, in common with any other, cares so deeply about science.

Science is a magnificent undertaking. The discoveries that have been made about the architecture of the atomic nucleus, or of the living cell (consider what we were looking at yesterday on the screen in Christian de Duve's presentation), or the architecture of the universe (set out for us in Martin Rees' talk), these discoveries compare in every way in their beauty and content with the explorations in art, architecture, music and religious imagery that are wonderfully evident here in the Vatican.

We can devote ourselves passionately to the pursuit of science, and we can do so in good conscience.



But what is it that we owe to science in order that it remain in good health?

The first thing we owe is to strive to strike a balance between the passion that we admire in the quest for discovery as against the dispassion which Professor Pullman was describing yesterday, quite correctly, as being an essential element in science. The dispassion is more often noted than the passion. Yet if we say that we admire Madame Curie it is not in the first place because of her unwavering objectivity, but because of her vision and courage, and her persistence in the face of fearful odds. In these surroundings I have no need to explain that this can be properly described as 'passion'.

To balance passion against dispassion is a difficult thing. It is relevant in the context of these remarks since it represents an ethical dilemma.

We failed to achieve this balance in the past year in the episode of the alleged discovery of room-temperature fusion. We lost our way. I do not want to elaborate on that. I just do what other speakers did; I throw things out. In discussion they will doubtless come bouncing back.

A second duty that we owe to our profession is to resist pressures from any source to fabricate scientific findings.

Fortunately, with the demise first of Fascism and then of Communism, those pressures have abated, and that is a wonderful thing. Such pressures have in the past, however, not only emanated from political systems but also from religious ones. In either case the scientist is rewarded if he or she produces what is delicately called "normative science", and punished if he does not.

Such pressures are never totally absent. We must remain alert, therefore, to the possibility that science may be slanted so as to win approval from powerful commercial, political or religious groups.

If I were asked to identify the most insidious political pressure on the scientific community today I would point in a direction that may surprise you.

I believe that the constant need to represent fundamental science as being the same thing as applied science, in order to

obtain funding, can cause the misdirection of scientific support and a weakening of the roots from which science draws its sustenance.

We should not be a party to disguising the fact that the pursuit of understanding is a different activity from the pursuit of utility. Both are enormously important and worthwhile, both are enormously challenging, but each is different. If, in order to please our political masters, we disguise that difference and pretend when we are seeking understanding that we are doing work which we have selected for its socio-economic potential, we shall do damage to the splendid enterprise of science.

We are constantly being asked to accede to the proposition that one can marry at the same time for love and for money, and make a good job of both. But one cannot. Particularly if one does not know the bride's income and is not going to know it until some decades after the marriage has been effected.

I am arguing here for freedom in fundamental science. What I have in mind is the freedom to look for discoveries where nature at any given time allows them to be made. That is what is needed for the health of the enterprise. It seems to me that it is a part of our responsibility to proclaim that fact, even though it comes as unwelcome news to our sponsors.

When I say this to young people who are thinking of entering science or stand on the brink of becoming scientists, they ask me (somewhat crossly at times) whether I really believe that science should be that free. Are there not, for example, questions that science should be encouraged to ask?

I admit that there are; namely questions resembling those that have yielded important answers in recent times. But don't expect that you can guide science to success after success through such unimaginative means, any more than you can continue to make fortunes by drilling for oil in the environs of existing oil fields.

"But are there no questions that the scientist should be debarred from asking?", my students ask.

I have thought about that. I cannot think of any questions that should not be asked. I can, however, think of questions that

are highly charged, that are delicate—questions whose answers are liable to be misused by contemporary society.

Let me essay an example: Is there a gene which predisposes people to criminal behaviour? Is that a question one should be permitted to ask? It is a question that was in fact being researched ten years or so ago. The answer, for the moment, is that there is no identifiable gene. But the question, it seems to me, was a proper one.

The caution, and it is an important one, is the following. If you are going to research in an area where the potential for abuse is high, then you are under an obligation to phrase your question with precision, and your answer with caution.

I turn now to the scientist as a member of society; I look outwards from the enterprise of science, instead of inwards.

As members of society we share the qualities — the strengths and the weaknesses — of every citizen. Nonetheless there is something special about us, namely that we are possessed of a form of literacy that includes numeracy.

That literacy represents a privilege given to us by society, as well as by our Creator who gave us the requisite aptitude to benefit from education. Society lavished upon us wealth in the form of training, and then accorded us a place of honour patting us on the back for doing the job we most enjoy. All of this imposes an obligation upon us.

Indeed, anybody who can do so much as read has an obligation to those who cannot — for example they should be obliged when in the presence of the illiterate to read out loud warning signs which say 'Caution'.

Everything that I am saying, though only superficially thought through, has been tested in an important laboratory; the lecture theatre.

Here again I recall that in talking to students on this subject, they looked imploringly at me and said; "But surely your obligations go beyond those of a citizen with special privileges of education? Should you not, as a scientist, see to it that science develops in a way which is beneficent, along directions most likely to have humane and advantageous consequences?"

I have to tell my questioners that I do not know of any way of doing that, and I think it grossly misleading to pretend otherwise.

If, for example, you respond to the fact that nuclear weapons have put the future of mankind in jeopardy, by saying that nuclear research should be terminated, or slowed down, you damage science. To some that will seem to be a price worth paying. But it will not appear so when they realise that they have bought nothing.

So long as society at large is committed to the proposition that differences between nations can be solved by the extermination of populations — as if they were a pestilence to be dealt with by insecticide — so long as this appalling notion of mass destruction is current, any branch of science can be put to use in killing, and will be. If, therefore, you attack the body of science and attempt to amputate its *nuclear* extremity, it will respond by growing other types of arms: directed-energy rays, chemical weapons, biological weapons, radiological weapons, and so on.

The criminal, in fact, is not science but society. The only thing you can do — and in desperation we may come close to it at times, as our young people vote with their feet against science — is to slow down the whole enterprise. And that seems like a very sad response to our predicament. Human dignity is ill served by the wearing of a blindfold.

H.G. Wells, the great optimist about science and its civilising effects, wrote a satirical novel in which he described a society that regarded sight as a dangerous condition best cured at birth by removal of the eyes. That is obviously a horrific proposition, and one that he rejected. Halting science is not the answer.

We should trust ourselves and our fellow beings at least to the extent that we believe knowledge to be beneficial, and ignorance abhorrent.

I might add something else in the way of mistaken notions regarding the obligations of the scientist. Once again I am responding to what young people say to me.

They may accept what I have just said, but then they say: "You have another responsibility. You are in a position of power

where you can affect public policy directly by compelling the rest of society to behave responsibly". It is true. We could, for example, exert this kind of influence by organising ourselves for widespread strikes. Our services are indeed needed.

But if we were to do this, we would be punished by the rest of society. And rightly so. One section of society cannot assume the right to dictate to the rest, on the assumption that it has a monopoly of wisdom.

There is a corollary to this. Not only do we scientists not have the right to seize the levers of power, we do not have the obligation.

We cannot be criticised for failing to subvert the process of debate, by which policy is properly determined.

I should elaborate a little on that.

This answer having been given, the students say to me; "But what about the 8,000 scientists who stated that they would not accept money for research on the Strategic Defence Initiative? Do you reject them?" The answer is no. I was one of them. "Is there not a contradiction here?", my students ask: "Were you not involved in an attempt to coerce the rest of society by withholding your services?"

No, not in my view.

The objective here, as I saw it, was to make a gesture; a gesture designed to draw attention to deeply held beliefs. It was a gesture entirely equivalent to that made by people who lie down in the path of a tank in order to draw attention to their views, but without any expectation that armies will thereupon disband. Having gained the attention of the public through their gesture they must go on to win their case by argument.

It was compelling argument, and not the withdrawal of services, that ultimately sealed the fate of the SDI. The political process was not subverted.

All this says something about the obligations we do *not* have.

What about the obligations that we do have?

The obligation that we do have is one that I have hinted at strongly in the course of these remarks. It is to pay the tax of citizenship to the rest of society; a tax on our time, a tax on the

wealth of knowledge that is ours. We must be willing from time to time to leave our laboratories in order to contribute our particular type of literacy to the public debate of some of the wide range of issues that have a technological component.

What is it that we have to offer?

We have an understanding of how science advances. We know, at first hand, that there is no moment of scientific discovery, but that there is an accumulation of evidence which eventually, as in a court of law, convinces reasonable people.

Many who lack direct experience of science believe that at the moment of proof a bell rings. Later they discover that a supposed proof was invalid, and they begin to lose faith in the scientific process. Had they realised that proof represents no more than diminished uncertainty, they would also have understood that risk is inescapable.

It is a damaging thing if society at large demands that risk be abolished. What we have to do, and it is enormously important that we do it, is to "prioritise" risk, so that we do not waste our wealth in the attempt to diminish trivial risks, while overlooking risks of great moment.

Here, at last, I am pointing to our obligations as members of the scientific community.

Am I implying that we have a poor record of fulfilling those obligations?

I do not think we have a shameful record. I do think, though, that our present performance falls short of what is required for survival.

A major landmark in the appreciation of our obligations as citizens came with the dawn of the nuclear age. We can take pride in those scientists who before there had been any demonstration of nuclear explosion were drawing attention to the fact that the nature of warfare, and consequently the nature of the relations between nations, had been transformed. They made it clear that the future of the world depended as never before upon global cooperation, since no other future was possible.

Those were farsighted individuals from within the scientific community, and we salute them. We would wish to emulate

them. They were, however, an exceedingly small group. In addition, human imagination being limited, their focus (and mine too) proved to be too narrow.

Their concern with the arms race led to an organization of scientists that deserves mention; the Pugwash Group. It spawned other organizations of concerned scientists and physicians.

Pugwash deserves to be mentioned as a pioneering venture, and also because it now has its headquarters here in Rome, in the hands of Dr. Francesco Calogero.

Pugwash was, and remains, the prime international organization of scientists to address the problems posed by modern weapons of mass-destruction. Those problems assuredly remain with us despite the ending of the Cold War.

What we now realise, however, is that the power of modern science has transformed the world in a much more extensive way than is represented by the emergence of weapons of mass destruction. There is another highly explosive situation, namely intolerable inequities deriving from the expanding population of the world, expanding energy consumption, and depleted resources.

Each one of these underlying problems requires our active attention as citizens educated in science, even though it will be at the sacrifice of some of our life in science.

The Renaissance, evident at every hand in this Vatican City and the city of Rome, represented a modest transformation compared with that which science and technology have brought about in recent decades. We scientists, being in the centre of the cultural stream which is presently reshaping the global landscape, have an obligation to offer our services, not as messiahs but as interpreters between the language of science and that of society.

Ours is a powerful language but, let it be admitted, a narrow one. We have much to teach, and more to learn.

## DISCUSSION

## MARINI-BETTÒLO

Yesterday we were received by His Holiness the Pope and it is the custom that after the audience the Academy sends a telegramme of thanks. I have the following text to submit to you.

"The members of the Pontifical Academy of Science, meeting in Plenary Session, wish to express their profound gratitude for the honour which Your Holiness has conferred upon them in receiving them at a solemn audience. They wish to express an even stronger gratitude for the important allocution which Your Holiness addressed to them and to which they were most attentive. Particularly valuable an indication of a programmatic nature, and which were given towards the furthering of a more effective Academy. Indications which may be considered to be a further development of the allocution which Your Holiness pronounced on October 28, 1986, on the occasion of the 50th anniversary of the constitution of the Academy. The Pontifical academicians will make every effort to contribute to the full unfolding of the Academy's activities in accordance with the orientation which Your Holiness has deigned to provide".

Do you agree? Thank you and I return the floor to Professor Blanc-Lapierre.

## LICHNEROWICZ

Deux mot seulement. Je voudrais dire mon enthousiasme pour l'intervention que nous venons d'entendre. Elle correspond totalment et indépendamment à une initiative qu'un certain nombre d'entre nous soutiennent: de créer un institut mondial des sciences dont la principale activité doit être d'assurer une information. Le premier de nos futurs devoirs c'est de créer une information objective, faite avec la même probité de la science et une information qui soit publique, car, actuellement, même un scientifique ne peut pas savoir, dans un certain nombre de cas, ce qu'il voit à travers la presse. Et même la presse spécialisée est correcte. Nous avons donc un premier devoir qui est d'informer



la société des humains de ce qui est de la science, de ce qui n'en est pas, de ce qui sont des espoirs, ce qui sont des hypothèses, ce qui sont des résultats, ce qui est de la science, ce qu'est la science et ce qui n'est pas de la science, Merci.

### LAMBO

I am sorry to have to intervene but Professor Polanyi started his intervention with medical ethics. Here of course we have a very rigid code of conduct and code of ethics, in our practice as technicians and so on.

I would just say that there is no doubt that as far as medical ethics are concerned, and the moral issues, especially in human experimentation for example, on the whole, we adhere as much as possible to the ethical procedures. At the same time too, historically, the Hippocratic Oath and so on, and all these things, are very sacred to the practice of medicine and looking after our patients.

But I must also say that when Professor Polanyi said that scientists must be part and parcel of the political process, this is very important. This is where some scientists have shied off, from being part of this process of their society or country. During the Nazi regime a great deal of violation of that Oath took place, and also of the ethical process. These were things that were more or less ignored by the Nazi doctors who practised in the war camps. If you take more recently the example of genetic engineering, when the area became fashionable, the World Health Organization to which I belonged at the time, as well as many other institutions of scientific research in medicine, like the NIH in Bethesda, we all set up committees to look at the long term implications of genetic engineering. What the fall-out effects would be, or the by-products that could be avoided and so on. This is very important.

Now we can go on to the scientists. I feel myself that any scientist who has a moral fibre and capacity, should certainly be part of the political process. He cannot probably stop any government or society from abusing or misusing the effects of science. There is very little you can do with governments. They

tend to go on and there are people who probably will support the government's abuse of the findings of a scientist who is really against the misuse of abuse of his findings.

I would just mention that in the book on scientific humanism, Cardinal Rospi and Cardinal Newman, Ruskin and even more Rossof, have been shouting about this for decades. That we should be in a position from time to time for reviewing the whole code of behaviour and the relationship between scientists and society.

What has been said by our colleague in terms of Pugwash is a good thing, but we need to find other tools by which we can impose sanctions on politicians and others who allow the abuse of the findings of the scientific world. I think that it is important that all this, whatever the situation in the past, Nazi Germany, or rays or genetic engineering etc., should not stop the advancement in fundamental research. We should still pursue with vigour and insight and also with a great deal of commitment the fundamental science, despite the fact that its misuse or abuse is possible.

I think, as Professor Polanyi says, the track record on the wall is not too bad. But this should not stop us from finding or establishing institutes of some organisms etc. to continue looking into how to prevent the abuse and misuse of scientific findings.

#### DE DUVE

I would like to congratulate Dr. Polanyi on a most remarkable intervention and on the socratic way in which he used his students to ask the questions and leave us to provide the answers. I have just one or two comments.

The first concerns the extent to which scientists should be given political power. I would say as little as possible, because I would say from my experience and from that of a few other people, very few of the scientists I know have the kind of qualities that are needed for political leadership. That of course is a purely personal opinion. Obviously they have to be involved as advisers, but I don't think they are fit to exercise that kind of

leadership, which requires more pragmatism than most scientists are capable of expressing.

The second question is perhaps a little more basic. We have long been told that certain truths are not good to tell. Now we are being told by certain forces that certain truths are not good to seek. I think this is really an extremely important problem. You haven't given your own answer to that problem actually; you have only raised it. Or perhaps you have, and I misunderstood. But I would like even to hear reactions from this particularly interesting audience to those questions, because this is I think a very very basic problem.

As a scientist, I simply cannot imagine that there may be truth not good to seek. That is our whole vocation in life: to seek truth. As a human being I can see that there may be things that mankind may not want to know about itself. There is a very delicate balance between those two demands, and I think that this is a point that really would deserve further discussion.

## LIONS

Vous avez, Professeur Polanyi, évoqué très justement dans votre excellente intervention la question de la position par rapport aux militaires: Strategic Defence. Peut-être faudrait-il ajouter une autre interrogation qui est liée aux coûts des grands programmes, aux coûts des projets, aux coûts de "cost". C'est une question que je rencontre personnellement dans mes activités, étant un peu mathématicien et un peu responsable du Programme spatial français. Il est hors de doute que nous, en tant que scientifiques, nous sommes habitués à répondre de ces questions à un niveau national, lorsqu'elles nous sont posées, mais que dans un cadre international cela pose des problèmes politiques assez délicats, voire des problèmes de secrets, et je ne parle pas là de secrets militaires mais de secrets industriels, donc de compétition industrielle.

## REES

Two comments. First, regarding the rather stark alternative that the speaker presented between science advancing on all

fronts and, as it were, blinding ourselves by throwing up the entire enterprise. It seems to me that just as funding decisions can properly be made to accelerate research in areas where it is reasonable to believe that there will be beneficial consequences, so also it would be quite proper to remove funding from areas where one believes that the results may in practice have adverse or troublesome consequences. Like the genetic issue you raise. It seems to me that there is not such a stark choice. Just as one accelerates areas, one can slow down others, even though not stopping them.

My second comment concerns the episode of cold fusion which you alluded to briefly in your talk. Although in some ways that is an embarrassing episode for science, I think there is an important lesson to be learned, which is that openness did lead to a very quick repetition of the experiments and so the issue was settled to most people's satisfaction. The initial claims were quenched fairly quickly. The lesson from that is that even though peer review failed, openness led to clarification very quickly. The problem arises more severely in issues where commercial or military secrecy would allow some claim to survive for longer without being checked.

Finally, perhaps I could mention that at the most recent Pugwash conference, there was a working group on precisely these issues, ethics and science, and I was the rapporteur for that group and have a copy of its report. It might be of interest to some of you and I could pass it around.

BLANC-LAPIERRE

Merci, Professeur Rees. Je pense que la plupart d'entre nous seraient intéressés par votre procès-verbal. Professeur Rao.

RAO

Professor Polanyi has made a very fine presentation this morning. Coming from a country like India I would like to present some of the practical problems of scientists. As a scientist working in a laboratory, I could really work with great

passion and excitement in my own work, and keep myself very busy just doing that, because I am very much interested in what I am doing.

However, when you look at the tremendous population of illiterate citizens, and poverty and hungry everywhere, you feel there is something more you have to do. People like myself in developing countries cannot just get by being scientists in the country, unless they do something immediately of importance, in the field of education, solving problems of everyday for mankind. I feel that it is a very important thing. Here it is also essential that at least the major senior scientists in countries like mine take an interest in policy making with the government, but never join the government. To join the government as a scientist in my country, one would always come to grief. I think it's better to keep out of governments, but that it is important that scientists should exert as much influence as they can.

Here I would mention something more than national issues. We are a supranational culture as scientists. There is something else that we will have to do internationally. Let us take for example the energy crisis, what is happening in Iraq today, the petrochemical problem. Today we are depleting the petrochemical resources. Will we have a natural source of carbon for another century? Half a century? I don't know that we pay enough attention to such very serious problems affecting the world, the globe, for long enough. People make comments and then forget about them. I don't know of any forum at any place where scientists are worrying about really major issues facing mankind in the long run. I just mention the petrochemical problems, which are required from drugs, medicine and so on, is they are all burnt up, man will eventually have to go to inorganic carbon to make things and so on.

Lastly you referred to this point, but I think we have a lot to contribute as a modern force, a model conscience, on many other issues. If scientists can be a sort of model conscience of humanity, I don't know if this is too much to ask, I think that many of the wars, many of the things that people indulge in destructively, could at least be avoided. We should at least make our point clear. There is religious fundamentalism, there are

wars in various countries right now, and many scientists are simply not taking a stand. Not that it would make any difference to the politicians, but I think that people should know that important people, whom the politicians respect, scientists are respected amazingly, have taken a particular stand. Politicians should know that we do not respect this war, or this religious fundamentalism destroying humanity. I think that this type of model conscience, in which scientists express themselves, no matter what the practical results may be, is very important.

#### PULLMAN

I would just like to support Professor de Duve's statement about the unacceptability and, I would say, indecency of forbidding to seek. I would add that besides the unacceptability and indecency, there is also the absolute futility of such an interdiction. In this particular place, may I remind you of the famous story of the contemporary of Galileo, who refused to look into his telescope because he was afraid that what he would see through the telescope would contradict his faith. What he was looking at was the moons of Jupiter, if I remember rightly. You know what happened.

#### LEJEUNE

Monsieur le Président, je voudrais dire en toute amitié à Monsieur Polanyi combien je suis en désaccord absolu avec deux points de son discours. Le premier c'est lorsqu'il a dit que nous savions de moins en moins quand commence la vie et quand survient la mort. En tant que médecin, je suis obligé de dire que chaque année nous en savons un peu plus sur le début de la vie et un peu plus sur sa fin. Le second point sur lequel je suis en désagrément avec lui, c'est lorsqu'il a laissé entendre que Hippocrate était démodé. L'homme qui a fait jurer à ses élèves: "Je passerai ma vie et j'exercerai mon art dans l'innocence et la pureté." n'est pas démodé. Et il a dit: "Et je ne donnerai pas de poison, même si l'on m'en priait et m'en suggérerait pareil usage, et je n'avorterai pas une femme". Dans ces deux cas, où il

a refusé l'extermination des adultes ou l'extermination des très petits, il n'est toujours pas démodé.

## TOWNES

You have heard an excellent talk and I agree with most of it. My present remarks probably fit the talk well, but are at least a little bit different in emphasis.

I believe the scientist, even though he himself is primarily interested in knowledge per se, nevertheless always has an obligation to think about applications. Some of these applications may be bad, as is often suggested, and some of them may be good. The work that he does may affect the good of mankind, and he has an obligation to search for the good as well as to avoid the bad. Furthermore, in obtaining money for research, I believe he has the obligation to state where it might possibly be useful, even though there cannot be certainty. Society has the right to know. The scientist uses society's money and it is appropriate in informing society about the areas to which the research might possibly contribute, while at the same time being honest that the particular interest of the scientist is primarily to find out facts, or knowledge.

There can be various ways in which a scientist's work contributes and in my view the scientist has an obligation to try to foresee and explain this. Furthermore, I believe it is very useful for at least some scientists to be in good contact with applications or technology, so that they understand where their own work and its applications may lead and thereby envisage developments which might otherwise not be realized.

I believe we must keep in view our obligation to the rest of society as we carry out our primary interest to try to understand things, which includes an obligation to consider the possible uses of knowledge. Some scientists will go more in one direction, and do work which perhaps at the moment has no conceivable use, while others will do work which clearly has uses. These various tendencies should be known, recognized, and supported as such.

## POLANYI

There have been so many points made and most of them I agree with. Perhaps I should not take up your time by agreeing with them one by one. Dr. de Duve said that scientists should not become politicians. He was slightly tongue in cheek, so I give him a tongue in cheek answer, which is that he should make an exception for chemists.

I, of course, recognize in the various comments that were made, that I didn't express myself precisely on many points. At no point was I discussing scientists becoming politicians, but I was discussing scientists becoming involved in the political process by contributing to decisions of enormous importance which have a technological component. Scientists can only do that, if they take the time to understand more than, in my case, the two chemical reactions I happen to know a lot about; if they want to get involved in the debate in the ozone layer, they have to learn about a great deal of science, that normally they would not reach out to, and also about economics and social questions that bear on decision making with regard to fluorocarbons, refrigeration, developing nations seeking inexpensive refrigeration, in order not to see food rot and so on. These are huge problems. If you want to act as a citizen, and a scientist, and you should want to do so, you have to pay a price of studying an area beyond the normal purview of your work.

Dr. de Duve and others asked whether there are truths that we should not seek, and Professor Pullman was one who answered, along with Dr. de Duve that, no, there are not such truths. I actually have made that point too. I feel that there are certain types of scientific investigations which, in a given social context, at a given time in history, present dangers. If you had studied the relative effectiveness of men and women in experiments on extra-sensory perception, at a time that it was the habit to burn witches, you would have published those results with great care and precision, so as not to play into the hands of that appalling practice.

The cost of the arms race was raised. Of course that is a criminal situation and to that should be added the fact that enormous amounts of scientific tension, one third of the



scientific community have been employed in that way. The reason for that is not just human wickedness, but a lot of complex reasons that I certainly won't touch on now.

Professor Martin Rees did say that he felt it would be proper to slow research in areas where the applications could be damaging—or so I understand him. I don't warm to that suggestion. I think what one has to do is the following: first of all, I would say that wherever you do research in something which is a matter of great moment scientifically, it is also going to be potentially hazardous when applied, because it is going to be very powerful. Or highly beneficial when applied. So I would say that one should do one's research, and scientists in general should be encouraged to do research, where the opportunities for discovery, for the greatest discovery, lie, and not where the applications may seem to be the most favourable.

With that I think I am brought to Professor Townes' remarks. I did not mean, when I said that there are different occupations, one of which is to pursue basic science, to look for generalizations, to look for the truth, and another one to pursue applied science, to demean one or other occupation. Both are enormously important. Absolutely vital. Nor did I mean to say that a given individual should devote himself to one or the other and never both. What I meant was that it remains worthwhile to recognize the different goals of these two occupations, even if you are engaged in one in the morning and the other in the afternoon, as medical people often find themselves doing. The way in which you conduct such basic science is different from the way in which you conduct applied science. In my country, Canada, the pernicious thing is that we are supposed to do both at once, or we pretend to do both at once, with the result that you do poor basic science, because you choose, as materials for your experiment, things that you think are going to be attractive in the applied sector, instead of things that are going to produce answers that are unambiguous. I could go on, but I think that I should not.

# L'INFLUENCE DE LA SCIENCE DANS LA CULTURE HUMAINE.

LOUIS LEPRINCE-RINGUET

Paris

On a beaucoup parlé de culture, de science, de toutes sortes de cultures. On a parlé de la culture des régions, de la culture scientifique, de la culture artistique, voire de la culture sportive ou de la culture informatique: voilà un mot sur lequel on brode à l'infini. Personnellement, je voudrais aujourd'hui vous présenter quelques réflexions sur "l'homme cultivé"; on n'a pas encore dit ce qu'est un homme cultivé, on a parlé de la culture d'une façon souvent un peu abstraite et philosophique, mais pas de l'homme cultivé. Le scientifique peut-il être un homme cultivé ? Et le non scientifique ? Telles sont les questions qui se posent à nous aujourd'hui.

Certains de mes confrères de l'Académie Française sont souvent assez limités dans leur mentalité, dans leurs pensées, et vivent dans un univers très fermé. Ils se croient cultivés, ils se savent cultivés mais, pour moi, ce n'est pas de la culture. Posons le problème. D'abord, l'homme. L'homme du présent est profondément marqué - nous le savons - par les techniques, les sciences, l'évolution du monde. Nos craintes, actuellement, ne sont pas celles de nos parents et de nos grands-parents. Mon père et mon grand-père n'éprouvaient pas d'inquiétudes nucléaires, ils n'avaient pas les soucis écologistes auxquels nous sommes confrontés. Leurs espoirs n'étaient pas les mêmes, pas plus que leurs possibilités de connaissance, d'ouverture au monde. C'est tout à fait différent. Quel qu'il soit, l'homme est marqué, très profondément, par le développement des sciences et des techniques. Il est également fortement manipulé par l'audiovisuel, la télévision en particulier, par la presse, par les disques, dans son mode de pensée, dans son mode de raisonnement, dans ses aptitudes, dans ses réactions à cette forme de

civilisation. Lorsque la personnalité de chacun cherche à s'épanouir, à se définir, elle se heurte à un monde de plus en plus grégaire, de plus en plus uniformisant. J'avais été très frappé en 1968 par la réaction de la jeunesse contre ce monde grégaire dans lequel on est automatiquement conduit, sans grandes possibilités de résistance, ce monde uniforme où, dans les grandes tours, à la même heure, une population énorme se presse devant les ascenseurs, où se forment sur les périphériques des grandes villes les bouchons quotidiens, où chacun calque son attitude sur celle de son voisin. Les départs en vacances s'effectuent aux mêmes moments. Dans le métro, on ne distingue pas un ouvrier de chez Renault d'un Prix Nobel ou d'un curé - sauf que le curé est plus mal habillé en général.

Comment développer notre personnalité ? Ce fut la question posée par les contestataires de 68: "Nous voulons épanouir notre personnalité." Alors de petits groupes se sont formés, de petites communautés furent fondées, pour faire de la philosophie ensemble, du théâtre, de la musique, voire du terrorisme, des cambriolages; tous ces petits groupes se donnaient une personnalité, au moins une personnalité d'un petit groupe d'amis choisis.

A mon sens, l'homme est un être bipolaire. Bipolaire, c'est-à-dire qu'il est soumis à l'action de deux pôles: un premier pôle - scientifique particulièrement développé dans les pays occidentaux où la science joue un grand rôle; ce pôle scientifique agit puissamment et différemment sur chacun de nous, naturellement. Il se définit par certains caractères qui me semblent essentiels. D'abord, la méthode rationnelle. La méthode rationnelle, c'est une méthode universelle. Et Louis Pasteur, dans son discours de réception à l'Académie Française, en a parlé en termes très éloquents: "La méthode rationnelle universelle qui a permis de faire des découvertes, cette méthode rationnelle est à la base de toute science". En fait, on l'acquiert par l'enseignement: dans les pays où elle est enseignée, on peut s'orienter plus aisément vers l'activité scientifique; mais, dans les pays où elle est peu ou mal enseignée, les difficultés sont plus grandes. En France, depuis Descartes, la méthode rationnelle fait partie de la pédagogie, même trop souvent car il n'y a pas que des événements dictés par la méthode rationnelle dans notre existence. Et

quand à l'Ecole Polytechnique où j'ai enseigné pendant plus d'un tiers de siècle, je terminais mon cours de physique, je disais aux élèves qui étaient superrationalisés par les préparations à l'Ecole et par les années d'Ecole: "Vous allez vous marier peut-être. Méfiez-vous; si vous traitez votre femme comme des théorèmes, elle vous trompera, et ce sera bien fait pour vous." Mais, si la formation rationnelle est indispensable, aussi bien pour les techniques de pointe que pour les techniques en général, pour la science, la gestion d'une entreprise, elle ne connaît pas de frontière, ne se réfère ni au bien ni au mal, c'est la base de l'activité scientifique. Mais ce n'est pas la seule, car un certain nombre de qualités sont également nécessaires, en particulier une honnêteté parfaite quels que soient les événements: d'ailleurs, on doit toujours donner ses sources et rester d'une honnêteté scrupuleuse. Il faut aussi développer l'imagination, et l'imagination ne s'enseigne pas comme la logique rationnelle.

Deux autres qualités sont également fondamentales pour le pôle scientifique: un esprit d'accueil et un esprit de remise en question; la science ne progresse que grâce à ces deux formes d'esprit. Accueil, cela veut dire que, lorsque dans une expérience on observe quelque chose d'imprévu, on y porte attention. On porte attention à tout ce qui arrive, à tout ce qui se passe. Cet esprit d'accueil, si l'homme le développe dans la totalité de son existence, est à la fois très évangélique et très bienfaisant; il évite de dresser des barrières entre les uns et les autres, entre parents et enfants, entre des gens qui pourraient être amis et qui ne le sont pas, et il évite de tomber dans la routine. D'autre part, la remise en question est fondamentale pour la science qui ne vit que de remises en question successives plus ou moins importantes, nous le savons tous. Cette attraction est puissante, dans nos pays technifiés, dans nos pays techniquement et scientifiquement développés; c'est évidemment moins dans d'autres pays du monde.

L'autre pôle, fondamental, qui domine, c'est le pôle des réactions personnelles, c'est-à-dire celles qui mettent en jeu l'ensemble de la personnalité et des réactions qui ne sont pas du domaine de la logique rationnelle, par exemple la réaction devant la nature, la réaction devant un tableau, la réaction

devant une musique qui peut plaire à l'un et soulever son enthousiasme et laisser les autres indifférents. C'est toute la personnalité qui entre en jeu à ce moment-là; ce n'est pas un critère de rationalité et de logique scientifique qui peut guider le choix d'un ami, on éprouve de la sympathie ou de l'antipathie pour quelqu'un, et ce n'est pas non plus du domaine du rationnel logique et scientifique; non, c'est toute la personnalité dans toute sa profondeur. Le choix d'un conjoint, d'une option politique, d'une option voyage, peu importe, tous ces choix-là ne dépendent pas d'une logique rationnelle, ne sont pas définis par elle. Ils ne sont pas irrationnels non plus, mais ils ne sont pas désignés, définis par un raisonnement logique - heureusement d'ailleurs. C'est dans ce choix et dans cette personnalité que s'intègrent tous les aspects éthiques, l'acquis des traditions, l'acquis des familles naturelles et spirituelles auxquelles chacun de nous appartient. Tel est l'homme. Un homme bipolaire. J'en avais parlé longuement autrefois avec un dominicain, le Père Dominique Dubarle - un homme de premier plan, de très grande valeur- et je lui avais soumis cette définition, finalement exacte. La synthèse entre ces deux pôles se fait en chacun de nous et est différente pour chacun de nous.

Alors la culture, ce mot sur lequel on brode indéfiniment, est finalement indéfinissable, on le sait bien; mais on peut procéder par élimination, et je voudrais donner des exemples de non-culture. Tout d'abord, celui qui croit avoir des clartés sur tout. Autrefois, il y a deux ou trois siècles, lorsque le champ des connaissances n'était pas très étendu, on pouvait avoir des clartés sur tout. On pouvait être médecin et faire progresser l'optique comme Young, on pouvait être peintre et découvrir le télégraphe comme Morse. Maintenant, avec la complexité, cela devient impossible. Aujourd'hui, l'homme qui croit avoir des clartés sur tout n'est que superficiel, son esprit ressemble à une mouche qui zigzague tout le temps sans jamais se poser nulle part. Je pense qu'un des éléments de la culture est à coup sûr un approfondissement, dans un domaine limité, grâce à une spécialisation sérieuse; et nous, les scientifiques, nous savons bien que nous avons besoin d'être spécialisés, et très spécialisés dans un domaine souvent pointu, pendant un certain nombre d'années.

Mais le spécialiste, qui continue à ne rester que spécialiste et choisit de prolonger sa spécialité sans s'ouvrir au reste du monde n'est pas non plus un homme cultivé. La spécialisation doit être associée à l'ouverture. Le spécialiste étroit et prolongé n'est pas plus cultivé que le superficiel zigzagant. Troisième exemple: on dit parfois qu'un esprit encyclopédique est cultivé; actuellement, à la télévision, aux jeux audiovisuels, avec toutes les questions auxquelles il faut répondre rapidement: "Savez-vous quelle était la femme de Louis XVI? Savez-vous qui a succédé à Hugues Capet?", etc., ce sont les esprits encyclopédiques qui gagnent - et ils gagnent beaucoup d'argent: en un quart d'heure, cinq, dix minutes, on peut empocher 200.000 francs et une voiture en plus. Quelle stupidité! Ce n'est pas de la culture! Cet homme, rempli des connaissances que l'on peut trouver dans les dictionnaires, quel caractère, quel esprit de décision, quelle compréhension des hommes et des événements aura-t-il? Le remplissage de ses mémoires le gênera pour une disponibilité à la réalité. Voici donc trois exemples de non culture: le superficiel, le spécialiste prolongé, le dictionnaire vivant. Alors s'il est difficile de cerner la notion de culture, nous sentons bien qu'elle doit correspondre à un équilibre de l'homme dans la vie moderne, à une possibilité de s'adapter aux événements, d'accueillir et de comprendre son prochain, même si sa personnalité est très différente, de ne pas mettre de barrière entre lui et ce qui l'entoure.

L'esprit d'accueil et de remise en question, base de débats de l'activité scientifique, sont indispensables à l'homme qui se veut cultivé. Mais la culture n'est pas réservée à l'intelligence. Le cœur joue un rôle éminent dans l'accueil et dans la prudence, et c'est cette synthèse entre l'intelligence, l'ouverture accueillante aux événements et aux hommes, l'esprit créateur et l'esprit critique, la générosité et la prudence qui constitue, à mon sens, la véritable culture. Sa réussite exige une longue formation, une ascèse exigeante, intellectuelle et spirituelle tout au long de l'existence. Un bon scientifique est, par sa vie, sa formation, son antiroutine, sa connaissance planétaire - (on voyage beaucoup et on apprend beaucoup) - particulièrement apte à devenir un homme cultivé.

## DISCUSSION

## GERMAIN

J'ai beaucoup apprécié cette communication. J'ai reconnu notre ami, Le Prince-Ringuet, et je suis heureux de le retrouver comme je l'ai connu depuis déjà très longtemps. Il nous dit: "Un bon scientifique est de par sa vie, sa formation, son antiroutine, sa connaissance planétaire, particulièrement apte à devenir un homme cultivé". Alors, je lui pose la question: "Un homme ou une femme qui ne connaissent pas beaucoup de théorèmes de mathématiques, qui ne connaissent pas beaucoup de lois physiques, qui ne savent pas ce que c'est que l'ADN or la RN messenger, peuvent-ils être cultivés?" Et l'idée que j'ai en tête est très pratique. C'est une question que je me pose et qui me semble se poser: "Quel type, quelle idée de la science donner à des gens de nos pays—je parle pour les pays européens ou américains—quelle idée de la science faut-il leur donner pendant les quelques années qu'ils passent au lycée? Faut-il leur apprendre des théorèmes, des lois physiques et quelques notions de biologie ou faut-il leur donner quelque chose d'autre?"

## LEPRINCE-RINGUET

Je n'ai pas dit que seuls les scientifiques pouvaient devenir cultivés. Mais j'ai dit que la formation des scientifiques, particulière et générale, correspondait à une possibilité, à un potentiel de culture. Ceci est vrai aussi d'autres domaines. Si vous faites du violon, du violoncelle, vous devez être très exigeant, vous spécialiser pendant un certain nombre d'années, voyager aussi; et vous pouvez aussi être cultivé d'une autre façon. Il faut faire preuve d'imagination. Vous avez toutes les possibilités dans l'art et dans tous les métiers. Maintenant, je pense que, si on supprime la physique et la chimie dans les classes de 5ème et de 6ème, comme c'est prévu actuellement par nombre d'enseignants pour des raisons inconnues, ce sera très dommage. Je crois qu'il faut montrer les choses, il faut que l'ensemble de

l'organisation éducative, pas seulement l'école, mais aussi la télévision, les graffitis, le Palais des découvertes, ... agissent comme éléments de formation. Il y a l'école, c'était la quasi totalité autrefois, c'est une partie maintenant. Il y a aussi les clubs d'informatique, par exemple dans les collèges et ailleurs. Les possibilités sont nombreuses. Mais ce qui est essentiel surtout, c'est qu'on ne bourre pas le crâne des auditeurs et des téléspectateurs avec des annonces sensationnelles et complètement dérisoires, mais qu'on s'attache à la formation de leur jugement. Je crois que l'essentiel maintenant dans nos écoles et dans nos collèges pour un professeur, ce n'est pas de réciter une leçon d'agrégation, c'est d'écouter et de former le jugement, mais pour cela il faut qu'eux-mêmes aient eu une formation qui leur permette de former le jugement des autres. Je crois que c'est très important actuellement, et les élèves des classes - des classes secondaires par exemple - apprécieraient des maîtres qui les écoutent, leur forment le jugement à l'aide d'exemples très simples. La télévision: pendant un quart d'heure un sympathique astrologue vous explique votre caractère en fonction de votre date de naissance et de la situation des planètes; vous pouvez être influencé. Et puis vous avez, un quart d'heure après ou un autre jour, un exposé sur l'astronomie avec les naines blanches, l'expansion de l'univers, avec toutes ces choses qui sont le fruit d'un travail formidable de l'humanité à travers les siècles. Eh bien, s'il n'y a pas un élément de jugement qui intervient dans la vie du jeune qui écoute tout cela, l'influence affective jouera. Et peut-être l'astrologie paraîtra-t-elle plus intéressante que l'astronomie. Or, l'astrologie, c'est de la "connerie", il n'y a pas d'autre mot. Je ne connais pas l'expression anglaise correspondante: excusez-moi! Manifestement, notre éducation dans ce sens-là est certainement très insuffisante et très mal orientée.

## WEISSKOPF

First of all I would like also to say how impressed I was by your presentation because it expressed so clearly your personality that I have admired since many, many decades. But you bring up some very important points. I believe that we



scientists do not quite fulfil our duty — our duty towards the education of the public — we leave the education of the public to the journalists or to other people, but we scientists — most of us — feel that there are, above that, other important tasks, I mean you do that only during vacation, whereas it is clear to me, and certainly to our great friend Louis, that to write something, or to speak in such a way that the layman understands it, is much more difficult, or at least equally difficult than doing research. Actually, I think it's more difficult. Now, Louis Leprince-Ringuet is one of these exceptions, who has spent a great deal of his life in writing popular books, understandable books, and for that I must congratulate him. But I do think that we scientists have a responsibility which we do not really fulfil. And that is to explain the cultural value, not necessarily the facts and theories.

## THE INTERPLAY OF SCIENCE AND CULTURE

JAMES R. McCONNELL  
School of Theoretical Physics  
Dublin Institute for Advanced Studies,  
Dublin

Mr. Chairman, Mr. President and members of the Academy. When I had studied the documentation relating to the theme of this plenary session, I tried to separate the topics on which I might speak from those in which I had clearly no competence. Since for the past 22 years I have had no teaching commitments, I have become out of touch with the presentation of the natural sciences in the universities and primary and secondary schools. Then, my scientific contacts have been confined almost entirely to Europe, including the Soviet Union, and North America, and so I cannot speak with any authority about the development of science in third world countries. Accordingly, I have tried to prepare a talk on the general subject of science and culture and this I have given the title "The Interplay of Science and Culture". Since my scientific activity has been devoted chiefly to theoretical physics, what I have to say about science will be chiefly from the viewpoint of a theoretical physicist. Let us therefore begin by considering two questions: What is the cultural value of science? And second, what is the scientific value of culture?

When approaching the first question I was immediately reminded of a set of four lectures on the title "Science as a Constituent of Humanism" given forty years ago in Dublin by the late Academician Erwin Schrödinger. He was a well-read man with wide cultural interests. As a boy he obtained a good grounding in Latin and Greek and when a young man he became keenly interested in philosophy. Apart from inventing the wave equation that bears his name he made significant contributions to other aspects of quantum theory, general relativity, nonlinear electrodynamics, statistical mechanics, unified field theories, nuclear chemistry, biophysics and probability theory. He was

therefore in a strong position to answer the question proposed in the first sentence of the published version of the "Science as a Constituent of Humanism" lectures; namely, what is the value of scientific research?

Schrödinger immediately rejected the utilitarian reply that the value of scientific research resides chiefly in its application to advances in technology like speed of travel and ease of communication. He questioned whether the happiness of the human race has been enhanced by the technical and industrial developments that followed in the wake of rapidly progressing natural science and he pointed out that such advantages in technology often bring with them serious disadvantages like the spread of artificial radioactivity.

Schrödinger's reply to the question "What is the value of scientific research?" might be epitomized in the words "The value of scientific research is chiefly cultural", though the reply is not couched by him in precisely these terms. Schrödinger put the study of the natural sciences on the same footing as the study of literature, philosophy, history of music, archaeology, painting, etc., and these have no immediate utilitarian value. Their value consists in helping man to know himself and his place in the universe. This does not imply that the scientist has no need of specialization; indeed specialization is essential in order that he may be able to make an original contribution to preexisting knowledge. While he specializes, he should keep himself informed of other disciplines and so be in a better position to make both intellectual and moral judgments.

What is to be said about Schrödinger's views on the value of scientific research? It is up to each individual to hold his own opinion but I would imagine that the chief value set by a scientist on a result of his researches is estimated by the contribution that it makes to scientific knowledge. The cultural side often appears when the scientist is preparing lectures or is reading a new subject as a preparation for research activity in a new field. Then he may detect gaps in the logical presentation of the subject or may find that accepted models of a physical or chemical system are rather crude. He may question himself as to whether such a model has any physical meaning. It is also important for him to

remain aware that having employed a model on a number of occasions he may have lost sight of the misgivings that were entertained when it was first employed.

I refer to such difficulties as being related to culture because they lead the scientist to some heart-searching regarding the extent to which the human mind is capable of comprehending the physical world. A phrase that used be in vogue to justify the acceptance of a physical theory was "I feel it in my bones that it is correct". In order that such a discipline as theoretical physics may exist it is presupposed that there is order in nature and that this order may be expressed by mathematical equations. I propose now to give two examples of physical results that are true but were first deduced from incorrect physical theories.

We first consider the Bohr theory of the hydrogen atom. Rutherford had assumed that the electron revolves about the proton as a planet revolves about the sun. Bohr assumed that the electron travels in a circular orbit with the proton at the centre of the circle, that the atom can exist only in certain discrete energy states and that energy is radiated only in a transition between two such states. In going between two states the atom emits or absorbs energy equal to the difference between the energies of the two states, and this energy difference divided by the Planck constant  $h$  gives the relevant frequency of emission or absorption. Lastly Bohr postulated that, if  $q$  is a generalized coordinate describing the motion and  $p$  is the corresponding momentum

$$\int p \, dq = \frac{l h}{2\pi}$$

where  $l$  is a positive integer and the integral is taken over one complete range of values of  $q$ . The integer  $l$  labels the states of the atom. It is found that in going from a state where  $l = n$  to a state when  $l = n'$  ( $<n$ ) the atom radiates energy with frequency

$$\nu = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^3} \left( \frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

where  $m$  is the mass of the electron. The equation for  $\nu$  is the Balmer formula which had previously been found experimentally for the case of  $n'=2$ .

The Bohr theory is based on classical model of an orbiting electron and according to classical electrodynamics the electron should lose energy at a rate proportional to the square of the acceleration of the electron. As a consequence it should very quickly spiral into the nucleus. Thus the Bohr theory is incorrect and it remains a mystery why it yields the Balmer formula. In fact this resulted later from Schrödinger's wave mechanical theory of the hydrogen atom.

We now move on from Bohr to Sommerfeld. The latter introduced special relativity into the Bohr theory of the hydrogen atom and obtained the fine structure of the Bohr spectrum which had been detected experimentally by Paschen. Dirac later deduced the fine structure theoretically from his relativistic equation of the electron, in which the electron has a spin which the electron in the Bohr atom had not. Thus it seems that two errors in the investigations of Sommerfeld, namely, the use of the Bohr model and the neglect of electron spin cancel out one another. It is not clear why this should be so.

So far I have spoken of the ways in which different physical theories lead to the same experimental result. I shall now give an example of how widely diverging theories may lead to a similar theoretical result which has not yet been compared with experiment. I refer to the mutual scattering of electromagnetic rays. This does not occur in Maxwell's electrodynamics which is linear but Maxwell's theory has its own difficulties. Thus the electric intensity arising from a charge  $e$  at a point distant  $r$  from the charge is  $e/r^2$ , and this goes to infinity as  $r$  tends to zero. To obviate this difficulty Born and Infeld replace Maxwell's equations by

$$\frac{1}{c} \dot{\underline{D}} = \text{curl } \underline{H} \quad , \quad \text{div } \underline{D} = 0$$

$$\frac{1}{c} \dot{\underline{B}} = \text{curl } \underline{E} \quad , \quad \text{div } \underline{B} = 0$$

where  $D$  is the electric displacement,  $E$  the electric intensity,  $B$  the magnetic induction and  $H$  the magnetic intensity. In Maxwell's theory  $D$  is a constant times  $E$  and  $B$  is a constant times  $H$ . This is not true for the Born-Infeld theory, which is nonlinear. As a consequence electromagnetic waves scatter one another. If we consider two colliding linearly polarized anti-parallel rays of wavelength  $\lambda$  scattering through an angle  $\phi$ , then the probability that there will be scattering into a small cone of solid angle  $d\Omega$  is  $d\phi$  given by

$$d\phi = 5.77 \times 10^8 r_0^3 (3 + \cos^2 \phi)^2 \lambda^{-6} d\Omega,$$

where  $r_0 = 3.48 \times 10^{-13}$  cm.

In 1936 Hans Euler, a student of Heisenberg, studied the scattering problem by using the Dirac "hole theory" which envisaged a photon imparting its energy to an electron in a negative energy state and so creating an electron-positron pair. There is number of ways in which the scattering process could be viewed as a sequence of production and annihilation of pairs. Euler had not at his disposal the techniques developed by physicists like Feynman and Dyson in the late 1940's (indeed he died in combat in 1942), and so his calculations are very lengthy. The result was

$$d\phi = 10^8 r_0^3 (3 + \cos^2 \phi)^2 \lambda^{-6} d\Omega,$$

which is just about one sixth the previous value of  $d\phi$ . "This is nothing short of a miracle" was the comment of Max Born, who could see no way how two so very different sets of presuppositions could have led to comparable results.

We now turn to the second question, namely, what is the scientific value of culture. By culture we understand such pursuits as the study of language and literature, philosophy and other disciplines previously mentioned by Schrödinger as being on the same footing as the study of the natural sciences. Not all of these cultural pursuits have the same importance for the promotion of scientific knowledge and pride of place is due to the study of the ancient Greek language and of the Greek

philosophers. These philosophers disputed among themselves as to whether physical theories are to be obtained by applying pure reason or are to be deduced from observation. The latter view was held by Aristotle and by Thales of Miletus, who introduced the basic assumption that the physical world can be understood. Thales is also credited with recognizing that all matter of which the world is composed is intrinsically the same. This would be expressed today by saying that all matter is composed of atoms of the chemical elements.

The idea that all matter is composed of atoms goes back to Democritus according to whose theory atoms are invisibly small, they all consist of the same stuff though they differ in size and shape, they are impermeable and the space outside them is empty, the atoms are in perpetual motion and the behaviour of all atoms inside a living body is determined by the physical laws of nature.

The influence of the ancient Greeks on scientific theory was paramount; indeed peoples who did not come directly or indirectly under the influence of Greek thought never had science as we know it. The basic advance in the thinking of the Greeks was the assertion that the physical world can be understood. This attitude is generally accepted nowadays in spite of objections by Kirchoff and Mach, who maintained that science can do no more than provide a complete and economical description of observed facts; in other words theoretical science is bookkeeping exercise. Another feature of Greek science was that it isolates the observer from the system under examination. This is done in order to simplify the examination.

We shall now consider another, and perhaps less obvious, way in which cultural activities can further the progress of scientific thought. What I have in mind is the maintaining of an active interest in painting, sculpture, music etc., which will engender the feeling that in spite of human frailty, a beauty prevades the universe. Such an attitude of mind has proved valuable over the centuries for the creation of scientific theories. It provides a criterion for the validity of a physical theory, viz., that the theory is beautiful.

This beauty will be interpreted in every epoch in a manner related to the culture of the epoch. Pythagoras and his disciples believed that the motion of the planets is accompanied by musical-sounds and that the heavens resound with harmonies. Kepler accepted this, and he concluded that God's purpose in creating the planetary system was that harmonies might resound in heaven. Now the various notes constituting the harmonies are related to the lengths of sounding strings, as Kepler had discovered, and so the planetary orbits should manifest certain whole-number relationships. In the course of searching for these relationships he came upon his three laws of planetary motion.

The criteria of beauty is not something established logically from experimental results. It is a metaphysical conviction. Another such conviction is the criterion of simplicity. One may be permitted to see in the beauty and simplicity of the workings of the universe a reflection of the beauty and simplicity of its Creator. The criterion of simplicity was employed by Einstein in his search for unified field theories and when Dirac was formulating in 1928 a combination of relativity and quantum theory he was led by the criteria of beauty and simplicity to start off with the physical theory of special relativity and the mathematical theory of functions of a complex variable. His exposition of how these theories were to be combined was itself a masterpiece of simplicity and beauty.

As a summary I recall that having accepted from the Greeks that the physical world can be understood we are also inclined to accept that a great order is present in the physical world and that this order may be expressed by mathematical equations. Some of these equations may not be logically deducible from earlier promises but they are justified by applying them to physical situations and making a comparison with experimental findings. A notable example is Schrödinger's wave equation which has been applied successfully on hundreds of thousands of occasions.

The insight into the beauty and order that exists in nature is one of the cultural benefits of the pursuit of scientific studies. On the other hand the inadequacy of the human intellect to explore



fully the secrets of nature is a reminder to the scientist of his intellectual limitations. However it should not lead him into defeatism or scepticism. In the words of Schrödinger "scepticism alone is a cheap and barren affair". To proceed further in his quest of the truth which is veiled from us, the scientist is often compelled to make an act of faith in his own educated guesses or in results previously obtained by other researchers.

Finally I realise that much of what I have said is open to discussion. My hope is that this communication will provide food for thought.

## DISCUSSION

## WEISSKOPF

Well, this is certainly a very interesting discussion, but I am somewhat perturbed, especially by the remarks at the beginning of your talk, namely where you interpret Schrödinger, and I don't remember exactly what Schrödinger said, although I read it, namely, that the value of science resides only in its cultural significance. Now, it depends of course on what you mean by cultural, but I do think that in contrast to other cultural activities, like art and music and literature, science, namely the applications of science, in technology and in improving our lifestyle, that this is also culture.

## McCONNELL

Pardon me, might I just give the exact wording. "The value of scientific research is chiefly cultural".

## WEISSKOPF

Well, right, I would just like to include in this also the applications of science. This is a characteristic of science compared to other cultural activities, that is has that double nature of having the value of beautiful insights in the essentials of our environment, and at the same time also enables us activities which are sometimes bad, but I think mostly good. Now, by this I do not mean that science is better than everything else. No, I mean that other cultural activities are necessary, ethics and art and so in order to add to science, and especially to find out what applications are good and what are bad, which science itself internally does not contain. Well, all what I want to say is that, so to speak, to the disdain of the applications side of science, in other words, of technology, when you discuss the role of science in culture, I do not agree, because I think that this is one of the essential contributions of science to culture.

## MOSHINSKY

Just a technical point that I could not understand very well. You said that this relation integer  $spdq$  seems somehow to be wrong. For me, of course, and for everyone in quantum mechanics, it comes out from the Schrödinger equation when you apply the WKB method, no?

## McCONNELL

No, what I said was that a classical picture was being used. I don't think I singled out that particular equation.

## MOSHINSKY

Yes, it can follow if you use the WKB method, it follows immediately, that's what I wanted to point out.

## MALU

Un petit point de détail, je ne partage pas l'opinion — je crois que c'est l'opinion exprimée par Schrödinger? — que la radioactivité artificielle ne constitue qu'un désavantage. Il y a, bien entendu, énormément d'avantages dans la radioactivité artificielle, étant moi-même de ce métier je voudrais quand même attirer l'attention sur ce point. Le second point — pour lequel par ailleurs je suis entièrement d'accord — c'est que pour moi la valeur la plus éminente de la science vis-à-vis de la culture est le fait qu'elle donne aux scientifiques un esprit critique. L'esprit critique est beaucoup plus important que la démarche rationnelle parce qu'on peut partir d'un supposé qui est complètement faux et raisonner logiquement, tout à fait rationnellement et arriver à des résultats qui sont complètement aberrants. C'est pour cela que, pour moi, la démarche critique, l'esprit critique est beaucoup plus important, beaucoup plus fondamental comme valeur culturelle que la science conférée à l'homme.

MCCONNELL

Well, in a certain sense the cultural value and the critical value together because, after all, as I said, the ultimated cultural value is that a man sees his place in the universe and uses all his faculties in order to find that place. So I think they are not contradictory. I mean, the use of the critical faculty is a cultural thing.

LAMBO

I have no quarrel at all with the essence of the information, I think I could understand, I could follow it very well. There are one or two areas on which I would like to ask simple questions. When Prof. McConnell said about the beauty of nature, and so on and so forth, the way you go into music, you go into architecture, etc. and painting. All this could be expressed, say, in mathematical equations? Can they also be expressed in other ways that are non-mathematical?

That is just one question. Secondly, I just want to say that when Beethoven was writing his Ninth Symphony he was deaf, stone deaf, and we could reduce this to mathematical equations, as we have seen what Kepler and the others have done? but at the same time I am sure that he could within himself have a vision of the beauty which could reduce the vision of what he wanted to hear.

MCCONNELL

I think that there may be some slight misunderstanding. I did not mean to convey that culture could be expressed in mathematical equations. What I wished to say was that one may endeavour to employ the criteria of simplicity and beauty in the search of a physical theory. This point I illustrated by referring to Dirac's use of the physical theory of special relativity and the mathematical theory of functions of a complex variable when he was endeavouring to unify relativity and quantum theory.

## TOWNES

Well, maybe my remarks will show what a barbarian I am because I find much of the last question making differences which are too fine for me. To start this off on a somewhat frivolous note, let me comment about Leprince-Ringuet saying that marriage is not a rational decision.

Well, if I decide that I think I may want a family, I would choose to marry and I would choose a woman, because she can bear children after all, and I would choose someone who could tolerate me, so that she could bear with me. Now, there are parts of this which have some rationality, it's true, and maybe strong emotions, love, those too have a certain kind of rationality and a rationality of nature and of human design. So I find some of these distinctions a little difficult. I would say the same thing about the equations that some are right and some are wrong. I would say rather that they are all partly right and partly wrong. We might say, Newton's mechanics, is it right or wrong? Well, many people these days would say it's wrong. We use it all the time, it's a very good approximation. Does that mean that Einstein's equations are now all right? Well, I doubt it, I doubt that they're perfect. I think it's a question of approximation, and I find these complete distinctions a little difficult for me, in almost all directions.

## McCONNELL

Well, I did mention that we can become aware of our intellectual limitations, and so endeavour to peel off one layer after another. Thus we hope to approximate more closely to the truth.

## TOWNES

So these are really successive approximations. If they are successive approximations and one can make some approximate distinctions, then I am completely in tune with what you say.

## JAKI

I was very pleased to have a qualification included in your paper, It comes on page 6. You said that this beauty will be interpreted in every epoch in a manner related to the culture of the epoch. And then you go on to Pythagoras, about whom we know very little, and then to Kepler, about whom we know a great deal. Kepler was part of a culture of which Galileo himself too was a part, a culture of Pythagorean, Platonist philosophising in which the highest premium was put on circular patterns. Thus when Kepler, after having made two errors in his calculations that cancelled one another, arrived at the elliptical orbit of planets he was very much displeased with himself. Only after much reflection, soul-serching, and readiness to compromise did he accept the fact that the orbits were elliptical in shape. He then communicated his finding to Galileo, who was also a circle, or sphere-worshipper. Precisely because Galileo found the elliptical orbits very much to his dislike, he ignored Kepler's discovery although it could have considerably strengthened his plea on behalf of the heliocentric system. As to Democritus, you mentioned the coupled considerations of beauty with atomism. His was a very strange kind of atomism. Far from believing in atoms that were invisibly small, Democritus held, according to the doxocological literature, a number of opinions about the size of atoms. He held that there were atoms as big as the earth, as big as the sun, and that some of them were of infinite size. I do not think that atoms of infinite size are either a particular display of beauty or of rationality.

## REES

The title of this paper was on "Culture and Science", but of course because the last speaker was a physicist the illustrations were taken from physics. And, as another physicist I would like to emphasize that perhaps physics is not a typical science and the kind of explanation one aspires to in physics is not the same as in other subjects. Physics is unique in that we can expect to have exact few parameter schemes, describable by equations that we can write down and other sciences, of course, aren't the

same and I think that often there is a tendency to assume that all scientists ought to be like physicists; and if we take other levels of insight, for example in three different subjects, the double helix, plate tectonics or natural selection, they are all three equally important unifying ideas, but they decrease in the degree of quantitative predictions you can make from them. But I think it's important that the value of science lies not in the sort of quantitative, mathematical successes one can have in physics but lies equally in unifying ideas that may be of a rather less quantitative kind in other sciences.

#### POLANYI

Further down the ladder you come to Freudian analysis and then I'm not quite sure where you are.

#### RAO

In fact I was about to refer to something very similar to what has been said. With all due respect to physicists, even though I'm a chemical physicist myself, they do tend to be a bit condensing in these matters.

There are so many beautiful things in biology and chemistry which need not be expressed by mathematical equations. Art and organic synthesis and what was started by Robinson, there is some beauty in that. There is even some beauty in sciences, it is in the eyes of the beholder and the man who participates. I can see beautiful things in modern biology which are really as beautiful as the simplest mathematical equation you can write in physics. So I think about the concept of beauty that physicists have always been talking about, what Dirac said when he wrote his equation—that in this equation there is a lot of chemistry. I think it should be taken as a bit of a joke and forgotten about, and not paid too much serious attention. Thank you.

#### DE DUVE

I can't resist responding to that as a biologist and I share your admiration for everything we study. However, in my particular area, I have found that a result became solid only if it

could be expressed quantitatively and that, even in biology, quantitative science is extremely important as opposed to descriptive science.

#### POLANYI

I think that ends the discussion unless Father McConnell wanted to respond further, and I think not. I have one more commentator in mind. We have just had a day on "The Receptivity of Cultures to Science and to the Applications of Science" and we have managed to thread into that the responsibility of the scientist. Before we adjourn, I was going to call on Dr. de Duve who had a point that he wanted to make and I think that in the absence of any further discussion this would be the right moment.

#### DE DUVE

Thank you very much, Mr Chairman. This is in relation to a topic that has been discussed several times in this meeting, namely how can we deliver the gifts of science to the developing world. My intervention in this context is related to a conversation I had with our chairman over lunch, and since there is a little time I hope you'll bear with me for a few minutes.

We have talked a lot about what science could do for the Third World, but we have not mentioned what has so far been the main gift of science to the Third World, which is in the medical field. Thanks to modern medicine, infant mortality has decreased and life expectancy has increased considerably in developing countries, with as consequence an increasingly alarming growth of the populations. Yet, there are many who feel that we have not done enough and who point to the enormous toll still being exacted by such diseases as malaria, trypanosomiasis, leishmaniasis, schistosomiasis, and other tropical diseases. I am one of those who feel that way. For the last twenty years, within WHO and in my laboratories in Brussels and New York, I have supported and encouraged the fight against those



diseases. Yet, I cannot help shuddering at the thought of what might happen to the world population if this fight should lead to the successful development of, for example, a vaccine against malaria or an efficient drug against Chagas disease. Even without such successes, the world population has increased tremendously and is rising at an ever accelerating pace. All the other ills of the modern world may be attributed to this demographic explosion. Exhaustion of natural resources, environmental pollution, desertification, deforestation, intolerable urban concentrations, all are consequences of the fact that the world is becoming overpopulated.

Until recently, natural selection has served to keep the world population at an acceptable level. We have now acquired the ability to offset the effect of natural selection and to replace it by rational control. This privilege entails a duty and a responsibility. Should we fail to exercise these properly, natural selection is bound to keep over again, at the cost of enormous hardship and suffering.

I realize that this may be a sensitive topic to raise in these surroundings. On the other hand, it seems to me that the members of this Academy, the only one with a world-wide, multidisciplinary membership, simply cannot ignore such a crucial problem. I am certainly not suggesting that we should make any sort of dramatic public declaration. However, I understand that a Study Week on population and resources is due to take place at the Academy some time next year. I would like to suggest that this meeting be accompanied, or followed immediately, by a plenary session of the Academy, so that we may take note of the conclusions and, if necessary, make appropriate recommendations.

POLANYI

Thank you for that important statement made in measured words and I'm glad that you exposed the fact that we had had some conversations about it so that I'm not a disinterested chairman in what you've just said. If people are agreeable, it would be very nice to have some discussion on this now.

## LAMBO

Mr Chairman, this is a very important subject. And I would like to first of all congratulate Christian de Duve for his tremendous courage and also his real appreciation of the scientist, who has been exposed to a variety of problems in the world. Who is not just encapsulated in his own laboratory, doing fundamental research work and not concerned with real, major issues that are so critical for millions of people across the planet. I would like just to add a little bit to what he has said. He said the right thing and I do hope that we will probably accept the challenge and have the same courage to be able to come out with something which is positive and will probably be of benefit to what is happening in two thirds of the world today. And that is not only that we have a lot of problems from the demographic or population explosion, too many people, too many children, too many mouths to feed, etc.; I can give you figures; but I think we also want to use our scientific knowledge and the scientific revolution which has taken place within the last two decades, to bring about a better agricultural revolution, in order to feed the mouths that are left behind, where we don't produce any more.

We want to ensure equity for them in terms of availability of food, good health care, quality of life, and so on. And that is, at the present moment, poverty, hunger, I think these two major problems are really deadly in the third world. And so not only are we addressing ourselves to the population explosion, but trying to see if we can use that sensitive, highly sophisticated scientific knowledge to guarantee the quality of life for the population as a whole. Thank you.

## MALU

Monsieur le Président, la question posée est certainement importante. Il est évident que le poids démographique dans les pays, en particulier africains, est un facteur important du mauvais développement. Ceci étant dit, c'est un sujet délicat, difficile, complexe, dès lors que ce n'est pas uniquement, essentiellement scientifique, il y a aussi une question de conviction personnelle, en d'autres mots, il y a une composante, puisque

nous parlons de culture, une composante culturelle importante. Dès lors, il serait malaisé de discuter en profondeur de cette question durant ces assises, on pourrait tout au plus proposer que cette question soit mise à l'ordre du jour d'une session à venir. Ceci étant dit, je voudrais quand même faire remarquer que le contrôle des naissances n'est pas essentiellement un problème disons technique, scientifique parce que nos constatons, même dans un pays comme le Zaïre qui est très pauvre, que ce sont les moins nantis qui ont le plus d'enfants, que ceux qui sont nantis ont de moins en moins d'enfants. Donc là, un problème simplement de justice distributive et économique. Et ici la responsabilité des pays développés est importante. Nous parlons des termes de l'échange. On achète de moins en moins, à des prix de moins en moins rémunérateurs, ce que produisent les pays en voie de développement, et ce faisant, on appauvrit la communauté; et par conséquent, nous voyons aussi cette explosion démographique prendre des allures de plus en plus explosives. Donc là, vous voyez déjà une question très importante, parce qu'on pense toujours, bien entendu, aux contrôles des naissances, aux pilules et autres. C'est pour cela que cette question est tellement importante. Elle touche à des convictions profondes des gens, même si ces convictions ne sont pas partagées par d'autres il faudrait être extrêmement prudent. Voilà ce que j'avais à dire. Je souhaiterais donc que, si on programme un tel exposé, un tel débat, qu'on prenne en ligne de compte simplement les problèmes économiques cette fois-ci, qui sont du ressort des pays développés, que souvent l'on conteste en disant "les yeux du marché, les lois du marché". C'est aussi mettre un peu, comme l'autruche, la tête dans le sable. Je vous remercie.

#### POLANYI

Thank you, Mr. Malu. The point was made, of course, by Dr. de Duve, that this Academy will have a study week in the next year on this subject; a study week, in case anybody does not know of them, is a wider grouping under the umbrella of this organisation.

## JANSSEN

I of course agree with everything my friend Christian de Duve said. I would like to remind everybody of know facts though, and these facts are that the most important reasons for the high mortality rate in the Third World are, first of all, malnutrition and, secondly, lack of hygiene. Drugs as such have played only a small role, unfortunately, in bringing down the rate of mortality in the Third World.

The most beneficial effects I think of drugs to the so called underdeveloped world has to do with the improvement of morbidity, or the improvement of the quality of life. Most infectious diseases of course in the tropical world do not kill, but simply make people sick for a very long time. For example, roundworm occurs in approximately 40% of the world population. Roundworms don't kill, but they make you ill and unable to work. Hook worms is a major cause of anemia in the world, and this undermines the health of whole populations. We can cure these with drugs and, as a result, these farmers can work better. Fungi do not kill, but we can cure them now; and I could go on. Even most cases of malaria, and there are unfortunately one billion of them, do not kill. They are simply undermining the quality of life. If we have done anything for the Third World, I think that it has more to do with the improvement of the quality of life than with the reduction of mortality. That doesn't contradict RAO, as de Duve said also.

## MOSHINSKY

My remark is certainly very short. In the Bible God says: multiply and fill the world. But we have already done so, so I feel we should turn to other matters.

## JAKI

Last May, I was part, in this place, of a the conference on ecology, that focused on deforestation and, especially, on the fate of rain forests. Inevitably the question of contraception has come up—it is better not to beat around the bush. One of the

participants said that this was a "difficult question". We have heard today another expression: "it is a delicate question", and again with reference to the building as where we are.

The Holy See, as far as I know, has been engaged in gathering for several decades information from various scientific bodies, concerning population statistics; medical data and so forth. I am also sure that no limit or restriction has been put as we will be in this place on a scientific discussions. If any limit is put on such discussions in this place, or any building of any scientific academy, the imposition of limit comes from the very nature of the scientific method.

In the proposed conference we would discuss a very broad question, going much beyond what is usually called science. Are we going to discuss the limits of scientific method? This is an all-important question, because if we jump indiscriminately from the scientific method into statements, that can be justified only with a method that is not scientific, then that we may not contribute too much to clarifying the question.

In my short speech in which I expressed my gratitude for having made an honorary member of the Academy, I quoted the Bible or rather I offered a variation which I hope was not a blasphemous one, on a statement of the Gospel. The variation is that what God had separated, no man should join together.

I did not have the time or the presence of mind to explain what I meant, which is as follows: in this existence of ours, ever dependent on sensory experience in forming our notions, we find that there arise various sets of notions, of concepts, that are mutually irreducible to one another. Let me illustrate this by a statement of Henri Poincaré. Not a christian not a believer, but a very acute mind and probably the greatest mathematical physicist, around 1900, Poincaré said in his book "The Value of Science" that there is absolutely no logic that would justify one to go from a statement of fact, which implies the verb "is", to a proposition which implies the verb "should". In other words, there is no logical way of going from a statement of facts to propositions of ethics.

I would also like to recall a statement by Einstein. I cannot give you the actual chapter and verse, but you will find it in my

book "The Relevance of Physics" together with many similar statements. Einstein said that "from all my science" — and his science was enormous — "I have never been able to derive a single drop of ethical insight".

I am in full agreement with any investigation but when we do an investigation, which will drift heavily toward ethical problems, let us express our willingness to bring up clearly the principles of ethics. We may disagree, we are free to disagree, on the bases of ethics, but we must spell out those disagreements and we must spell out the various reasons for them.

In other words, it has been said, probably this morning in a reference to some of Galileo's contemporaries, that there were some — all of them were Averroists, pagans, — unwilling to look through Galileo's telescope. It would be very bad if the shoe were on the other foot. Namely, if we found scientists, unwilling to look through the telescope of ethics and metaphysics.

One final remark. It is from a book published in 1926, by a positivist historian of science, E.E. Burt, on the metaphysical foundations of Newtonian physics. In that book, which was widely read in American colleges and universities, there is a phrase of enormous philosophical significance. "The only way to avoid becoming a metaphysician is to say nothing".

## POLANYI

Thank you. We have been metaphysicians for much of the day. The proposal was one to turn the telescope in the direction that we would all want to look through it, I am sure.

## DÖBEREINER

I think the discussion has been progressing. It is difficult to add much. I do think that we have discussed in this Academy already so often the subject, and each time we come to the conclusion that we do have the responsibility of doing whatever we can. Of course there are limits. But we do have the responsibility and obligation and I would very much endorse Dr. de Duve's proposals, that we have the obligation to try to

participate in, or at least endorse, the meeting which will be held here on birth control.

Really whatever scientists you may be — mathematicians, physicists, biologists — the simple addition of  $1 + 2$  shows that there is no way to keep quality of life in any way, even in the parameters as they are today, if we do not find ethical ways of controlling our demographic explosion. I believe that we have a very important responsibility to cooperate in this. I think we must participate and we must do something.

#### CREUTZFELDT

After Dr. Döbereiner's words, I can make what I have to say very short. I think that Dr. de Duve suggested, and made a proposal, that we should get interested in this question, and should interest this body in the question. I think that as scientists now we have to. We cannot close our eyes. We may come to different conclusions, have different opinions, but everyone in the scientific world should look at the issue. There are very few scientific bodies where scientists come together and possibly even give advice on such important problems. If they come to the conclusion that they cannot come to a conclusion, this is a very important statement as well. Therefore, I support the suggestion of Dr. de Duve that we should try to make it into a scene of the whole Academy and not just leave it to a work group.

#### GERMAIN

Je veux simplement insister sur ce qu'a dit le Docteur Malu. Premièrement, je pense effectivement — et le Président Marini-Bettolo m'en avait parlé il y a déjà plusieurs mois — qu'il est très utile qu'une semaine d'étude, avec participation des académiciens qui le pourront, puisse être organisée sur ce sujet. Ceci dit, je pense qu'il ne serait pas raisonnable de partir sur cette semaine d'étude en envisageant le problème de la réduction de l'explosion démographique—qui est un vrai problème, sans doute le plus grand problème, le plus grave

problème auquel nous avons à faire face—avec l'idée qu'il va s'agir de trouver des moyens de contraception qui soient adaptés et qu'on puisse les imposer aux peuples du Tiers Monde. Ce qu'a dit le Docteur Malu sur ce problème rejoint une réflexion que je me suis faite, dont je ne suis pas sûr et qu'il faudrait contrôler: il est certain que lorsque dans un pays le niveau économique monte, le niveau culturel monte à ce moment-là, il y a automatiquement une régulation de la population dans le sens d'une limitation qui s'explique très bien. Les pays développés naturellement ont réussi cette limitation peut-être même trop. Par conséquent, ce que dit le Professeur de Duve, est tout à fait raisonnable, mais ne soyons pas hypocrites. De tels conseils s'adressent uniquement aux autres et pas à nous. Par conséquent, il faut être très prudent si nous ne voulons pas dicter, de façon impérialiste, des conduites à d'autres que nous—quand je dis "nous" ce sont les représentants de l'Amérique du Nord et de l'Europe—or, dans la situation économique dans laquelle nous vivons depuis 50 ans, qui vient de triompher avec les événements de l'Europe de l'Est, il y a, à mon sens, un facteur que nous ne pouvons pas négliger. C'est—je le dirai de façon plus crue—c'est l'égoïsme des puissances développées qui, au mieux, mettent 0,5 ou 0,6% de leur produit national brut dans l'aide, avec de beaux discours et en étant contents de soi, sans regarder comment cette aide est distribuée. C'est, en grande partie depuis 40-50 ans, cet égoïsme qui est cause — comme le disait l'un de nos conférenciers ce matin — de l'appauvrissement de tout le Tiers-monde, avec le fait que même ceux qui déjà commençaient à monter, aux points de vue scientifique et culturel, se retrouvent complètement stoppés. Alors, je suis tout à fait d'accord pour qu'on étudie ce problème dans tous ses aspects, y compris les problèmes de contraception, limitation des naissances, par des moyens d'origine scientifique. Mais n'oublions pas, quand même, d'autres choses, essayons d'éviter de cacher notre égoïsme et notre hypocrisie dans les conseils que l'on donnera à d'autres. Ceci dit, je crois qu'il faille organiser cette session, mais il faut l'organiser en prenant toutes les dimensions du problème.



## DE GIORGI

Je suis d'accord avec l'intervention de Monsieur Germain. Je crois que le problème, pour une petite partie, ressort de la culture générale, de la biologie ou de la médecine et, d'une façon encore très marginale, des mathématiques ou de la physique, ou encore de la statistique qui sont très marginaux. Mais je crois que le problème est surtout un problème de culture locale. C'est-à-dire il faut comprendre que les mouvements démographiques dans les différents pays et dans les différentes couches de chaque pays ont des raisons assez complexes dans la culture locale. Comme culture, je pense aux habitudes, à l'idée de la famille, à l'idée du groupe, à l'idée du village, etc. qui existent chez tous les peuples et dans chaque partie du peuple. Je crois que, non pas pour modifier mais simplement pour comprendre la dynamique démographique, il est nécessaire de quelque façon de considérer tous ces facteurs qui sont très variés dans les différents pays du monde.

Evidemment, le problème démographique est senti de façon différente dans les différents peuples, selon qu'ils considèrent l'existence comme assez tranquille, et assez sûre; ou au contraire s'ils sont dans une situation qui peut changer par la suite d'une préoccupation raisonnable d'être éliminés par des peuples voisins ou éloignés. Il y a dans un certain nombre de peuples certaines poussées démographiques comme forme de résistance aux menaces, aux dangers d'extinction qu'ils voient autour d'eux. Tous ces types de problèmes politiques, religieux, moraux, traditionnels, font partie des cultures de chaque peuple, dont on doit tenir compte si on veut faire une étude complète de tous ces facteurs dans chaque partie du monde.

## POLANYI

I am ignoring the clock because I think we are more interested in carrying on this discussion.

TOWNES

I would like in particular to ask how the chairman wants us to end up. Does he expect to have a vote on this or simply an expression of opinion?

POLANYI

I would think a general expression of opinion might be sufficient.

TOWNES

All right I shall just express my opinion by saying that I appreciate very much what Dr. de Duve has said and I am generally in favour of this procedure.

POLANYI

I might try at the end to read the mood of the meeting and if it turns out that people think I am misreading it, then we may have a vote.

MCCONNELL

This is just a matter of information. Am I to understand that some arrangement has been made already for a meeting. Not a meeting of the academy but of some group? What is the subject for that meeting? What is its functions?

POLANYI

I think we should turn at this point to the President of the Academy who has just come in and ask for information. Mine is second-hand; and it is that there is arranged already a study group in the next year on this general topic and the proposal that began our discussion here was that the Academy itself meet, either in conjunction with, or subsequent to, that study group in

order that, as an Academy, within these walls, it might itself consider the topic.

I don't want to spell out the topic because I don't know the exact words. Mr. President, would you be willing to just tell us something about the study week envisaged for the coming year?

#### MARINI-BETTÒLO

We are preparing a programme for next year on the topic "Resources and Population". The aim is to give full information to the Holy See on this problem which has been very much discussed in recent years. I believe it is better to discuss with the figures and facts of the phenomena.

We will be having a meeting in Canberra next month with Professor Pelouse and other scholars of birth, just to form a programme and arrange next years full discussion. We don't intend to give suggestions on how to cope with the population growth, but to provide details on every aspect of the problem and the various parameters involving population growth and the use of the resources, and even environment and other things.

#### McCONNELL

So it is matter of collecting the information, putting it together and presenting it to the Holy See. Is that correct?

#### POLANYI

That is what I heard.

#### LEJEUNE

Monsieur le Président, je serai très heureux que ces problèmes très généraux soient discutés par des gens compétents et non sur des opinions déjà toutes faites. Je m'explique: si l'Académie prépare sérieusement un groupe de travail sur les ressources et les populations, nous serons obligés de remettre en cause certains mythes, certains dogmes actuellement acceptés

par l'Establishment scientifique. Le premier de ces dogmes, qui est très intéressant à étudier sous cette lumière, c'est la sélection naturelle. La définition de la sélection naturelle, c'est que le bien adapté est celui qui laisse le plus d'enfants. Ce qui veut dire au sens darwinien du terme que les seules populations actuellement adaptées sur le globe sont celles qui ne sont pas scientifiques et qui vivent dans des conditions de pauvreté. Il faudra volens nolens que les dogmes darwiniens acceptent ces réalités. Elles sont difficiles à avaler mais c'est ça le dogme darwinien. C'est là le premier point, et je serai très intéressé à ce qu'il soit vraiment étudié dans les populations humaines. Est-ce que les populations humaines doivent être jugées par le darwinisme classique? Ma réponse est non, mais j'aimerais bien qu'on l'étudie. Le second point c'est que je voudrais plaider pour la médecine. Monsieur de Duve a dit, fort justement, qu'une partie de la survie améliorés dans les régions pauvres du globe vient de l'hygiène plus que des médicaments, et Monsieur Janssen l'a dit très clairement, mais tout de même cette hygiène vient des notions de la médecine. Et je voudrais dire que la médecine n'a pas à avoir honte d'avoir contribué à une meilleure survie des populations qui souffrent, qui ne sont pas riches parce que la noblesse de la médecine c'est de travailler à contre-sélection. Chaque fois que nous donnons de la pénicilline à un enfant et qu'on lui permet de survivre, nous fabriquons, nous aidons à la propagation de certains gènes de sensibilité aux pneumocoques. Chaque fois que nous faisons une intervention chirurgicale, ou que nous empêchons certaines stérilités, nous travaillons à contre-sélection et, en tant que médecin, dans cette enceinte, je tiens à dire que je suis fier de travailler à contre-sélection. C'est non seulement notre devoir mais c'est notre seule raison d'être. Nous ne pouvons pas être du côté de la maladie.

## LIONS

J'interviens avec une très grande prudence sur un sujet sur lequel je n'ai pas de compétence, mais je voudrais faire une remarque qui peut apparaître comme froide venant d'un mathématicien qui travaille sur la théorie des systèmes. Il s'agit

donc d'un système, le système démographique et la première question qu'un spécialiste des théories des systèmes se pose c'est: quels sont les paramètres dont on dispose pour agir sur le système? C'est banal mais chez quelqu'un comme moi c'est une réaction automatique. La deuxième question qui se pose automatiquement étant celle du critère: qu'est-ce que l'on veut faire? Quelle est la fonction que l'on veut éventuellement optimiser. On n'en est pas là. Première question: quels sont les critères, les paramètres de contrôle? Contrôle au sens, possibilité d'action sur le système. Alors une chose me frappe c'est que, travaillant par ailleurs sur des problèmes d'environnement, on tombe aussitôt sur des questions de ce genre, et donc sur la question démographique. Et que finalement on s'aperçoit que, dans cet ensemble de problèmes, il y a une situation qui en ce moment me paraît être extrêmement faible: c'est celle de l'économie. Autrement dit, il y a une vingtaine, une trentaine d'années, on disposait de modèles globaux pour l'économie. Je ne dis pas que ces modèles étaient bons — même probablement ils n'étaient pas bons — mais au moins c'étaient des tentatives pour avoir de tels modèles, pour les utiliser et pour les boucler, pour les corrélés aux autres grands modèles; par exemple dans mon cas où je travaillais effectivement sur l'évolution climatologique. On s'aperçoit en ce moment que ces grandes modèles — et encore une fois je n'ai pas une admiration éperdue pour les modèles mais c'est un outil de travail qui permet de démarrer quelque chose du point de vue quantitatif — ces modèles économiques globaux sont, à ma connaissance, tombés dans la désuétude parfaite. Il y a de très bonnes études qui sont menées sur la gestion, sur les taux de change, sur la finance mais pas, me semble-t-il, sur les modèles économiques mondiaux, sur les grandes tendances. Autrement dit "to make a long story short" le Club de Rome n'a pas eu d'héritier. Et il me semble que cela manque et que, par exemple, si ce qui a été dit par notre collègue est correct, et je n'en doute absolument pas, que les questions démographiques sont, elles aussi, directement liées à la question économique, peut-être serait-il bon aussi de rajouter à nos préoccupations des questions relatives aux fondements et aux évolutions économiques mondiales.

RAO

There is an additional point to bring to the attention of the colleagues here. It is not as if it is only medicine or the practice of medicine and so on that is related to this really important problem. You have a very difficult problem here: very poor people suffering from various diseases. You cannot deny them medical help. I have gone to very interior parts of India where the people are illiterate, and don't even know how to complain about their problems. We cannot deny them the basic human treatment. We cannot say medicine has increased the population. It is true that it has not improved the quality of life, but we cannot deny what a human being deserves.

What I feel is the most important component, as far as India is concerned, is education. Education in order that someone is able to decide for himself what he wishes to do. Nobody here has mentioned that, but in India, we find the education of the common man the most important issue. It is a very important parameter in relation to population.

JAKI

There is a small story I want to recall. It took place in Moscow a year and a half ago at a meeting organised by the Soviet Academy of Sciences. I was one of the invited speakers and among us there was an American senator, an American congressman, and several ambassadors. The main topic was economics. I am recalling this story, because repeated references have been made to the connection between demography and economics.

The American senator, well-known for his praises of free-market economy, delivered his of free enterprise. Other American speakers who did the same. Then a Soviet economist asked for the floor and posed this blunt question to all those sporesmen of free-market economy. What is the purpose of life? I think that the purpose of life is deeper than being settled with vague references to the quality of life.

### LAMBO

I think it is a little worrying, that subject has been raised which is a contemporary problem of four-fifths of the world, and is a current one, and about which everyone knows from very little to the maximum. Those of us who are in it day in day out know exactly what is happening. We have sat here not only this plenary session, and in others, and listened to astrophysicists, giving us some theoretical or mathematical problems and we are nodding our heads. Now for the first time Mr. de Duve and many others, including myself, have raised the most pragmatic and most essential problem besetting human beings in society today. I saw a great deal of emotion. I just wonder whether it is most embarrassing, or it should be, for all of us.

Whether it is education, whether it is economics, when the chairman calls the meeting, they will deal with all the parameters of this particular problem, so I don't think there is any need for us to really go on on the subject.

### MOSHINSKY

I am a theoretical physicist and I feel somewhat embarrassed in speaking of this subject with people like Professor Lejeune. But I have one experience that is different and I just want to mention it. I use the Mexican metro and I see on the stairs women with five children, the oldest being maybe only five, and the youngest just born. This is something that happens all the time and I just can't see what kind of life these people are living.

I want also to tell you something else. Despite the fact that I am a theoretical physicist, in two weeks from now, I have been invited to a medical conference where one of the subjects will be this in connection with the population explosion. So if we don't deal with the problem here, it is certainly being dealt with everywhere else. I think it is important that we discuss it.

### CHAGAS

Mr. Chairman, I will be brief. Let me tell you first that during my period the question came very much to my attention

many times. Finally, I studied the question myself with other friends. I think what is important here is to discuss the mechanics of reproduction. This is a scientific field. Contraception is not. We know perfectly well the methods used and any time a new product comes out there is a wave of propaganda in the press. Like the last one released in France. So this is not a scientific commitment.

But when we are dealing with the problem of resources and demographic increase, I think that this is an issue that can be treated in scientific terms.

I think that Koeninger brought here a very important element. In the late 50s, a fantastic person who visited Africa, Asia and India, Father Depres, a dominican, proved that as soon as the economic level of a small population of a village increased, the number of children born each year came down very rapidly. This is understandable.

In my country for instance people wanted to have children because it was an economic asset. As soon as the economic level increased, they did no longer need as many children. I am not saying that the situation is fantastic. On the contrary, I think it is rather bad in Brazil.

I believe that we should not go into a non-scientific thing but only into the discussion of all the social and economic implications of the demographic growth. This is something that we can deal with, not only among ourselves however, we must call in specialists from other circles.

You know de Duve — excuse me, you know the admiration I have for you and so forth — it is very difficult to judge what is going on in the Third World. You spoke for instance of the vaccine for Chagas' disease. It is wonderful to have one, but it is very difficult. You know that there is a very good laboratory dealing with it. But this disease is not a problem of vaccine, of vaccination, it is a problem of housing. As soon as we have good housing, in the interior of the country, as has been done in the interior of the State of São Paulo, the disease disappeared. At the present time, new cases of the disease are coming from transfusions. A vaccine costs a lot of money. We are doing it. We are trying to do it in my laboratory. Science is at play, we have to be



interested in problems and a vaccine against Chagas' disease is a challenge for any man who is working on immunology or molecular biology. But the vaccine is not a public health problem. The question is housing and that is a problem of socio-economic development.

I would say that I would agree we discuss resources and the difficulty of the present resources coping with demographic increases. In my opinion, contraception is no longer a scientific subject. The other yes, it can be treated in important, scientific terms.

#### DE DUVE

I felt that I would like just one minute to respond. My first response is that the obvious number and variety of interventions that we have listened to indicates that this whole subject is ripe for an Academy meeting. Many of us would contribute to such a meeting in a very meaningful manner. That, I think, is very positive an outcome.

I would like to add a few more things. First of all, I did not discuss the whole problem. I am aware of the many factors and this is why I suggested holding a meeting. I would point out explicitly that I did not pronounce the word "contraception", I never said we should have a meeting on contraception and I did not even pronounce the words "population control". Contraception is obviously part of the topic and cannot be ignored.

Professor Chagas has said that we should discuss only scientific problems. I think, this week, this Plenary Session has discussed mostly extra-scientific problems, and I don't think it has been an useless week. I think then that we are able to discuss, or abilitated to discuss, ethical problems and even social ones, if they are related to science.

As a point of detail to Professor Chagas, I did not mention a vaccine against Chagas disease. I mentioned one against malaria and a drug against Chagas disease.

Finalemnt j'aimerais redire en français à M. Lejeune ce que j'ai dit en anglais. A mon avis l'homme est un produit de la sélection naturelle, mais il a aujourd'hui le devoir et le privilège

de la diriger. Désormais, notre devoir est de ne plus laisser agir la sélection naturelle darwinienne.

POLANYI

I think we have time for one more speaker, Dr. Marini-Bettòlo.

MARINI-BETTÒLO

I should like to point out some questions. I think there is some confusion. Here the Academy is an Academy of Science, which can assess the Church but is out of the Church. So we must leave the two levels of decision. We must inform the Church, but then the decisions, or suggestions or conclusions should be given by the Church.

I would like to refer to the first document we issued by an international commission in which it is written that the "aim of the study week on the theme "population and resources" will be the identification, understanding and analysis of all the elements relevant to the problem of both population and resources, and the problems inherent in their ultimate relationship. The ultimate objective of the study week is that of assembling and coordinating, for presentation to the Holy See, a compilation of information which will constitute a factual and well-documented base of reference for future consideration and/or proposals relative to this complex problem".

That the problem is complex we can easily understand. It is not only the number of the population, the rate of growth, but also the distribution in the world. You see that there are many countries that need labour that comes from the underdeveloped countries. I would like to assess some of the problems which makes this situation so complicated. The problems of a growing younger generation entering the labour force, providing the ageing population with the proper material support, providing adequate nutrition and security for all inhabitants, eliminating all extreme and de-humanising forms of material poverty. I believe that the key of the solution of this is to have raised the

standards of living in order to avoid this form of poverty. That would be a great contribution to this problem alone.

#### POLANYI

I will bring this discussion to a close. As I mentioned at the outset, I am not an entirely disinterested chairman, I had discussion before the sessions with Dr. de Duve and very much encouraged him to make his intervention. And you, in your collegial and patient way, have further encouraged him. Twentytwo people have spoken in this discussion.

I have made some notes of the sorts of topics. I was asked what sort of discussion was being envisaged. I have written down several topics here. How acute and threatening is the problem of population? What does it stem from? We had interventions on that topic from Drs. Germain and Malu. What are the proper or possible means for addressing the problem? Those are some headings one might consider.

The question has been raised whether this is a proper subject for this Academy. It is a remarkable institution that we belong to and that we treasure. Outside is a great pile of studies already made by the Academy. It would seem odd in the extreme if this important topic were not to join the others on that table.

I think I should just close the discussion and once again thank you for your very temperate and collegial remarks.

PART III

THE INFLUENCE AND THE SIGNIFICANCE OF SCIENCE AND  
ITS APPLICATIONS, TAKEN AS A WHOLE, ON CULTURE

SPÉCIFICITÉ DU DOMAINE SCIENTIFIQUE AU SEIN DE LA  
CULTURE.  
ENSEIGNEMENT ET DIFFUSION DES RÉSULTATS  
SCIENTIFIQUES.

ANDRÉ BLANC-LAPIERRE  
Académie des Sciences,  
Paris

I- INTRODUCTION

II- LA SPECIFICITE DU DOMAINE SCIENTIFIQUE ET SON  
INTERACTION AVEC LES AUTRES COMPOSANTES DE  
LA CULTURE.

- a) spécificité du domaine scientifique
- b) couplages entre la science et les autres motivations
  - 1. *au niveau de la société dans son ensemble, des nations, des collectivités.*
  - 2. *au sein de la Communauté scientifique.*
  - 3. *au niveau de chaque individu, scientifique ou non.*

III- ENSEIGNEMENT ET DIFFUSION DES RESULTATS ET  
DES METHODES SCIENTIFIQUES.

III-1 Intéraction entre le domaine scientifique proprement dit  
et son complémentaire dans l'univers culturel au sens  
large.

- a) Réactions domaines scientifique  $\text{Æ}$  complémentaire
- b) Réactions domaine complémentaire  $\text{Æ}$  domaine  
scientifique

III-2 Le caractère plus ou moins favorable des différentes  
cultures au développement de la science et de ses  
applications.

- a) *le climat.*
- b) *Facteurs sociaux:*

- l'ouverture plus ou moins grande des sociétés.
  - une flexibilité suffisante de la structure sociale.
  - c) des attitudes plus ou moins adaptées.
  - d) des tournures d'esprit et des comportements différents.
  - e) le langage, l'écriture.
- III-3 La nécessité de développer une grande ouverture d'esprit dans l'enseignement des sciences.
- a) Intérêt de l'ouverture entre les diverses disciplines.
  - b) Sens expérimental et déduction abstraite - Induction et déduction.
  - c) Modélisation et limites de validité des modèles - Sens de l'approximation.
  - d) Enseignement des sciences pour les non scientifiques.
- III-4 Diffusion des résultats et des méthodes scientifiques.

## I - INTRODUCTION.

Dans l'ensemble des connaissances de l'homme, des productions de l'esprit, de l'art, des coutumes, des lois, de la morale, dans l'ensemble de ce à quoi il adhère dans sa Foi, sur l'existence de Dieu et ses rapports avec lui, sur le sens de sa propre vie, dans tout cet acquis ou ce reçu qui constitue sa *culture* au sein d'une société, la *connaissance scientifique* tient une place particulière. Elle y possède une *spécificité* qu'il convient de bien *cerner* et de *défendre*.

## II- LA SPECIFICITE DU DOMAINE SCIENTIFIQUE ET SON INTERACTION AVEC LES AUTRES COMPOSANTES DE LA CULTURE.

Le domaine scientifique est régi par *des règles rigoureuses universellement reconnues* conduisant à des *conclusions objectives* basées sur le *respect absolu de l'expérience et de l'évidence rationnelle*. Comme l'a dit Paul GERMAIN, "nos sciences ont ouvert le monde de *l'entendement*: un monde où l'on s'entend,

un monde où toute question qui relève de son domaine de pertinence reçoit de tous une même réponse<sup>1</sup>.

Les modèles scientifiques sont indépendants de toute considération morale, philosophique, religieuse ou politique.

C'est dans le domaine scientifique que sont *énoncés* les résultats scientifiques. Bien sûr, ils peuvent être *appliqués* ailleurs, mais on sort alors du domaine strictement scientifique et le fait qu'une application soit "bonne" ou "mauvaise" relève de considérations extrascientifiques. Le développement des applications de la science, pour le meilleur et pour le pire, réagit d'ailleurs sur l'ensemble des composantes de la culture de l'homme dans la mesure où il modifie ses conditions d'existence, par exemple en bouleversant ses moyens de communication, de transport et de diffusion de l'information, en augmentant de façon considérable l'efficacité de la médecine, en éclairant son souci de protection de l'environnement, mais aussi, hélas, en lui procurant des moyens de destruction chaque jour plus terrifiants. De même, l'introduction de concepts nouveaux, celle de nouveaux modes de raisonnements, ou *l'élaboration de vastes synthèses scientifiques* réagissent sur l'ensemble de la culture. Le respect de la *vérité* et *l'honnêteté intellectuelle* conduisent à analyser avec soin et sincérité la part des considérations extrascientifiques qui entrent dans les décisions concernant les domaines susvisés, de façon à bien individualiser ce qui engage la science et ce qui ne l'engage pas, ou, en d'autres termes, à *bien cerner les couplages que créent la vie et l'action entre ce qui est la science et ce qui ne l'est pas*<sup>2</sup>.

Ces couplages se produisent à différents niveaux.

---

<sup>1</sup> Paul GERMAIN: La Science interpellée. Séance solennelle de l'Académie des Sciences [Paris]: 27/11/89.

<sup>2</sup> Lorsque nous écrivons "la science", nous visons de façon précise "les sciences" en donnant à ce mot le sens qu'il a dans les expressions françaises de "facultés des sciences" ou d'"Académie des Sciences" disons les sciences "pures et dures", et en distinguant "les sciences" (sens qualificatif) des "sciences humaines et sociales, morales et politiques,..." qui ne satisfont pas à la spécificité décrite ici. Cf. P. GERMAIN, Note page 1.

1. *au niveau de la société dans son ensemble, des nations, des collectivités...* On rencontre là, en particulier, le problème de *la situation de la science vis à vis des pouvoirs*: pouvoir légal, politique, pouvoir militaire, industriel, économique, pouvoir médical,... Les *questions d'éthique* existent à ce niveau collectif. C'est aussi là que l'on peut débattre de sujets tels que "la science et la paix"<sup>3</sup>, la "science et le développement"<sup>4</sup> et, pour une large part, "la responsabilité de la science"<sup>5</sup>. Il faut, aussi, penser ici au rôle de la science dans les réalisations liées aux *grands objectifs*: espace, atome, développement de l'électronique, des systèmes de télécommunications, des systèmes de transport, etc.... C'est, pour une très large part, au niveau de la société, des nations, des collectivités que doivent être recherchées *les conditions de l'ouverture des cultures au développement des sciences et des technologies*. C'est à ce niveau que se fixe la part de *budget* qu'une société veut affecter à la science et que se situent les problèmes d'organisation de *l'enseignement* et de la diffusion du savoir par les *médias*.

2. *au sein de la Communauté scientifique*. Là, ces couplages se produisent

*globalement*, c'est-à-dire pour l'ensemble de cette communauté, à cause de l'intensité des échanges entre chercheurs et groupes de chercheurs, à cause de l'importance des moyens à mettre en œuvre pour l'effort de recherche et de leur inévitable planification, à cause enfin des liens qui existent entre la recherche et l'enseignement,

mais aussi

---

<sup>3</sup> La Science et la Paix - Thème de discussion de l'Assemblée Plénière de l'Académie Pontificale des Sciences - Novembre 1983.

<sup>4</sup> Semaines d'Etudes: - L'humanité et l'énergie, 10-15 Novembre 1980 - L'énergie pour la survie et le développement [11/6/84-14/6/84].

<sup>5</sup> La responsabilité de la science - Thème de discussion de l'Assemblée Plénière de l'Académie Pontificale des Sciences [27/10/88-31/10/88].



*individuellement, c'est-à-dire au niveau de chaque scientifique, car chacun d'eux participe aux diverses activités et manifestations de la vie humaine et, à ce titre, à des engagements sociaux, culturels, politiques, religieux. Chacun, à des titres divers, et selon la période de sa vie, ne peut éluder la question du sens de son existence et de celui de l'évolution du monde.*

*3. au niveau de chaque individu, scientifique ou non, puisque le développement de sa culture scientifique constitue une composante de sa culture au sens le plus large.*

Nous nous trouvons d'ailleurs confrontés ici à une autre question: *celle du rôle de la science dans la formation de l'esprit de chacun, donc à celle de l'enseignement de la science et, plus généralement, à celle de la diffusion de la connaissance scientifique, notamment à l'action des médias dans ce domaine. C'est à l'ensemble de ces questions qu'est consacré le paragraphe III qui suit.*

### III- ENSEIGNEMENT ET DIFFUSION DES RESULTATS ET DES METHODES SCIENTIFIQUES

Par delà tout ce qui touche à l'acquisition des connaissances et des résultats eux-mêmes, la mission profonde de l'enseignement et des moyens de diffusion devrait être la formation de l'esprit, le développement du jugement, de l'esprit critique, celui de l'aptitude à l'observation, au raisonnement et à l'expression. En un mot, il s'agit de favoriser l'éclosion de "têtes bien faites". *Le développement de ces qualités ou aptitudes concerne tout l'univers culturel de l'homme, qu'il s'agisse:*

a) *du domaine scientifique proprement dit où règnent les règles strictes de l'entendement [Expériences soumises à des protocoles précis, modélisation, formulation mathématique, évidence scientifique, hypothèse de l'universalité des lois des sciences de la nature et de leur validité indépendante des conditions de temps et de lieu,...]*

*ou, tout aussi bien,*

b) de l'ensemble complémentaire [opinions, croyances, engagements, personnalité, morale, règles de vie,...] où, sous des modalités différentes, on a, tout autant, besoin des qualités de l'esprit évoquées ci-dessus au début de ce § III, jugement, esprit critique, formation de l'esprit,...etc...

Les considérations qui suivent porteront successivement sur:

- l'interaction entre le domaine scientifique proprement dit et son complémentaire dans l'Univers culturel au sens large [§ III 1].

- le caractère plus ou moins favorable des différentes cultures au développement de la science [§ III 2].

- l'Enseignement [§ III 3].

- la diffusion des résultats et des méthodes scientifiques [§ III 4].

III- 1 Interaction entre le domaine scientifique proprement dit et son complémentaire dans l'univers culturel au sens large.

*A/ Réactions domaine scientifique fi complémentaire*

Ces réactions découlent des *résultats, connaissances, moyens et modes de raisonnements* apportés par la science. A titre d'exemples, tout ce qui peut éclairer nos connaissances sur l'origine de l'Univers, et l'apparition de la vie, tout ce qui augmente nos moyens d'investigation de l'infiniment petit ou des espaces sidéraux lointains, toutes les possibilités que nous fournissent l'analyse statistique et l'informatique réagissent indéniablement sur notre culture. Comme l'écrivait Louis de BROGLIE<sup>6</sup>:

"On ne pourra plus concevoir une culture générale vraiment complète sans de larges vues sur l'évolution des sciences et de leurs conquêtes" (Louis de BROGLIE).

---

<sup>6</sup> Louis de BROGLIE - Un itinéraire scientifique. Textes reunis et présentés par Georges LOCHAK Editions La Découverte - Paris -1987. Les phrases citées sont extraites du texte: La culture scientifique suffit-elle à faire un homme ? pp. 201, 205.

*B/ Réactions domaine complémentaire fi domaine scientifique;*

A l'origine de nombreux chapîtres de la science, se trouvent de très fortes aspirations de l'homme qui, bien avant de donner lieu à des travaux scientifiques, relèvent d'attitudes et de curiosités ancestrales, enracinées au plus profond de son être et donc constituant une part importante de sa culture, au sens le plus large de ce terme. *La fascination que les astres et le ciel ont toujours exercée sur l'homme est très antérieure à leur étude scientifique et, plus récemment, à leur exploration par les sondes et les véhicules spatiaux.* Même de nos jours, cette fascination stimule les recherches spatiales et facilite leur popularisation. Il ne fait aussi aucun doute que la curiosité, le goût de l'aventure, l'espoir de faire fortune, le désir d'annexer de nouveaux territoires aient constitué des moteurs essentiels dans l'entreprise des *grands voyages de circumnavigation* aux quinzième et seizième siècles; voyages qui ont fait faire des progrès considérables à la géographie. De nos jours, il est clair que *le souci légitime des populations relatif à l'environnement* stimule énergiquement les recherches sur la couche d'ozone et *l'accroissement de la teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère.* Il est, d'ailleurs, non moins clair que, sans données scientifiques sérieuses, on ne peut prendre aucune position raisonnable sur ces questions. Le nombre de déclarations, d'articles, d'émissions de radio et de télévision développant sur elles des arguments infondés renforce ce qui a été dit au début du § III: *formation de l'esprit, développement du jugement, de l'esprit critique, alliés à une connaissance suffisante.*

Les considérations qui précèdent, relatives à l'environnement rejoignent toute une série de problèmes qui brassent toutes les composantes de la culture. Ils gravitent autour de *l'idée du risque* qui déclenche de nombreuses attitudes irrationnelles mettant en évidence le manque de formation de beaucoup de citoyens et de journalistes. Qu'est-ce qu'un risque? Lorsqu'une décision - oui ou non - est envisagée, s'efforce-t-on d'évaluer, *aussi bien pour oui que pour non,* à la fois les *risques encourus* et les *bénéfices escomptés?* Ces bénéfiques et ces risques ne, sont, d'ailleurs, *quantifiables* que pour certains d'entre eux, les autres pouvant relever de considérations *sentimentales, esthétiques,*

*morales*.... Il faudra s'adresser à la science pour ce qui est quantifiable et à d'autres éléments de la culture pour le reste. Derrière toutes ces considérations, se cachent des notions plus ou moins explicites de *probabilités*. Ce ne sont pas des notions simples; pourtant elles sont en fait très présentes dans la vie courante. Je crois que, par delà l'intérêt du calcul des Probabilités pour l'étude des questions typiquement scientifiques, il est nécessaire qu'au titre de la culture générale, chaque citoyen reçoive dans sa formation de base, une initiation suffisante aux notions essentielles qui sous-tendent cette discipline: notion de probabilité elle-même, notion d'indépendance au sens des probabilités, etc...

III-2 Le caractère plus ou moins favorable des différentes cultures au développement de la science et de ses applications.

Le développement de la science et de ses applications, très avancé dans certains pays, est à peine amorcé dans d'autres. Dans les premiers, il peut être plusieurs fois séculaire ou relativement récent. Quelles raisons invoquer pour tenter d'expliquer ces différences? Dans quelle mesure manifestent-elles ou traduisent-elles des différences de culture au sens large? Dans quelle mesure découlent-elles d'aptitudes spécifiques ou, tout au moins d'inclinations particulières des divers groupes de populations ou races?

La question est complexe; nous nous bornons à évoquer quelques *éléments de réponse* ou, plus exactement, à poser un certain nombre d'*interrogations*. Certains éléments de réponse ou certaines questions font intervenir *l'influence des conditions de vie* ou les *aptitudes spécifiques*, facteurs qui jouent à la fois sur la culture en général et sur le développement de la science. D'autres sont relatifs à une influence directe de la culture au sens large sur le développement de la science, ce dernier étant en quelque sorte *conditionné* par la première.

a) *le climat*. La science paraît s'être plus facilement développée dans les pays tempérés, ou même froids, que dans les pays chauds; ne peut-on avancer les deux explications suivantes?

D'une part, le travail est plus facile dans les premiers.

D'autre part, le climat a imposé dans ces pays la résolution d'un certain nombre de problèmes techniques (construction des habitations, lutte contre le froid etc...).

b) 1- *l'ouverture plus ou moins grande des sociétés* (échanges de populations, échanges commerciaux, peuples tournés vers la mer,...) qui implique un minimum de moyens techniques, monétaires, économiques et un certain brassage des gens, des biens et des idées, éléments tous favorables à la naissance et au développement d'une activité scientifique.

2- *une flexibilité suffisante de la structure sociale* qui, à condition d'éviter l'instabilité, facilite les initiatives, stimule l'imagination et donne leurs chances aux individus dynamiques.

c) *des attitudes plus ou moins adaptées*. L'homme a-t-il ou non le désir fort, se sent-il la mission, d'améliorer les conditions de vie sur la terre, de lutter contre les effets des intempéries, contre la famine, contre la maladie, donc, dans une certaine mesure, de transformer le monde? Jusqu'à quel point pense-t-il qu'il doit s'efforcer de décrypter les lois de la matière et de la vie? Pense-t-il qu'il doit collaborer à l'oeuvre de la création?

La réponse à ces questions, consciente ou inconsciente, des divers groupes de populations n'est évidemment pas sans lien avec leur *philosophie ou leur position religieuse* que celles-ci soient explicitées ou simplement sous-jacentes. Ceci n'est d'ailleurs nullement en contradiction avec le fait que *le développement scientifique peut d'autant plus progresser que s'est effectuée rapidement l'individualisation de son domaine propre et de ses règles au sein de l'ensemble de la culture* [cf § II].

d) *des tournures d'esprit et des comportements différents*. La Grèce avec ses préoccupations philosophiques, sa curiosité et son ouverture d'esprit a laissé une contribution scientifique supérieure à celle de Rome dont les qualités propres se sont plus exprimées dans la construction et l'organisation.

Le pragmatisme et le sens du concret anglo-saxon ont joué un grand rôle dans le développement des sciences expérimentales.

tales. Je pense que la tournure d'esprit des Français les porte un peu plus vers l'abstraction, donc vers les mathématiques ou les présentations logiques et synthétiques. Naturellement, tout ceci doit être très nuancé; mais c'est, en particulier, très perceptible dans les ouvrages d'enseignement.

*e) le langage, l'écriture.* Le langage est le plus ancien vecteur de transfert de la connaissance. Les langues, parlées ou écrites, sont certainement, très liées aux cultures respectives. Ne peut-on penser que certaines langues, certains alphabets, sont plus favorables au développement scientifique? D'aucuns prétendent que l'alphabet japonais comportant des *symboles phonétiques et des idéogrammes* a joué un rôle non négligeable dans l'aptitude potentielle de ce peuple pour un développement scientifique rapide, en particulier par une préadaptation de la mémoire ou par le développement de certaines qualités cérébrales.

III- 3 La nécessité de développer une grande ouverture d'esprit dans l'enseignement des sciences.

*a) Intérêt de l'ouverture entre les diverses disciplines.*

Le développement des sciences a conduit à une spécialisation notable; il ne faut pas que celle-ci aboutisse à un compartimentage excessif et il faut, dans la recherche, donner plus de place aux *études inter ou multidisciplinaires* et, dans l'enseignement, attirer fortement l'attention des étudiants sur *les imbrications et les liens qui existent entre les diverses disciplines.*

*b) Sens expérimental et déduction abstraite - Induction et déduction*

La formation scientifique doit à la fois développer le *sens expérimental* et l'*aptitude à la déduction abstraite*, étant entendu que les étudiants devront savoir nettement distinguer ce qui est *donné par l'expérience* et ce qui est *démonstré par le calcul* à partir des données expérimentales et d'hypothèses clairement explicitées.

*De même, en ce qui concerne l'induction et la déduction.* Certains résultats physiques auxquels le physicien a toute

raison d'accorder sa confiance peuvent, par induction, conduire à l'idée que telle propriété mathématique "doit" être vraie. *Ce n'est pas une démonstration, mais c'est une forte incitation à en rechercher une et une sorte de quasicertitude morale qu'on doit arriver à l'établir.*

Dans son ouvrage "La valeur de la science"<sup>7</sup>, Henri Poincaré cite, dans cet ordre d'idées, le cas de C.F. Klein "étudiant la question de savoir si, sur une surface de Riemann donnée, il existe toujours une fonction admettant des singularités données. Que fait-il? Il remplace sa surface de Riemann par une surface métallique dont la conductibilité électrique varie suivant certaines lois. Il met deux de ses points en communication avec les deux pôles d'une pile. Il faudra bien, dit-il, que le courant passe, et la façon dont ce courant sera distribué sur la surface définira une fonction dont les singularités seront précisément celles qui sont prévues par l'énoncé".

Naturellement, C.F. Klein ne donne pas cela comme une démonstration mais comme un éclairage fortement convaincant et, en tout cas, très stimulant.

*c) Modélisation et limites de validité des modèles - Sens de l'approximation.*

Il est capital de développer *le sens de l'approximation*.

La réalité physique est *complexe*. La science utilise des *modèles*. Il faut être rigoureux dans l'étude des modèles et très conscient des approximations qui sont à leurs bases ainsi que des limites de leurs domaines de validités.

*d) Enseignement des sciences pour les non scientifiques.*

Je voudrais ajouter quelques remarques relatives à *l'enseignement des sciences pour les non scientifiques*. Il n'est ni raisonnable ni souhaitable de faire des scientifiques de tous les jeunes gens. Par contre une certaine culture scientifique paraît

---

<sup>7</sup> Henri Poincaré. La valeur de la science - [1932] - Ernest Flammarion Editeur - Paris.

aujourd'hui nécessaire à tous, en tant que composante nécessaire de leur culture générale. Louis de BROGLIE<sup>8</sup>, pour ceux qui ne feront pas d'études scientifiques, prévoyait "un enseignement qui leur rendrait accessible l'intérêt du progrès réalisé dans les sciences et la lumière qu'il projette sur les énigmes de la nature et de l'esprit humain". Il précisait, dans cette perspective, que "*l'histoire et la philosophie des sciences* pourraient être utilement introduites dans l'enseignement de façon à faire comprendre, même à des élèves peu aptes aux études scientifiques, la grandeur de la science et la portée de ses découvertes".

J'ajouterai que la mise en œuvre des remarques ci-dessus (dans ce § III-3) implique aussi *une formation adaptée des enseignants*.

#### III4 Diffusion des résultats et des méthodes scientifiques.

Profondément bouleversée au quinzième siècle par l'invention de *l'imprimerie*, la diffusion de l'information a été, depuis la guerre 1940-1945, révolutionnée par l'explosion des *médias modernes* (*presse, radio, télévision,...*) d'autant plus que, tandis que l'imprimerie ne touchait qu'un public cultivé, relativement restreint, ces médias touchent tout le monde. D'ailleurs, la radio et la télévision qui sont perçues par *l'ouïe* et par la *vue directe*, à *une cadence rapide* imposée par l'émission, atteignent leurs publics de façon très différente que l'imprimerie qui reposait sur la *lecture*; celle-ci donne en effet, à celui qui "reçoit", une liberté beaucoup plus grande que la radio ou la télévision, de réfléchir, de reprendre l'information en relisant, de réagir, de mobiliser son esprit critique.... De plus, *la rapidité d'action des médias actuels* [presse comprise], qui, par elle-même, constitue une chose excellente, conduit les journalistes à travailler avec précipitation. Chacun veut être le premier à annoncer...; en tout cas, il ne faut pas laisser échapper un événement.... Ceci vaut pour toute l'information, mais particulièrement *pour l'information scientifique*. Celle-ci requiert en effet pondération, préci-

<sup>8</sup> Même référence que 6 [cf. page 307 du présent exposé].



sion et un minimum de compétence. Les questions scientifiques ne sont pas simples. Il faut les présenter à un large public, globalement peu préparé, et il y a peu de bons journalistes scientifiques. Beaucoup d'informations sont fausses [et on ne rectifie jamais]: certaines émissions font de l'antiscience ou, en tout cas, témoignent d'une méconnaissance totale de la nature, du rôle de la science et de son importance dans la vie et la culture. Enfin, si l'on en croit les sondages sur l'audience radiophonique ou à la télévision, l'appétit global du public n'est pas considérable.

Que faire? La question est importante mais difficile. On peut, cependant, creuser dans un certain nombre de directions:

a) *les scientifiques* doivent globalement faire un effort plus grand de participation aux émissions, de rédaction d'articles de bonne vulgarisation, de rédaction d'ouvrages élémentaires de très bonne qualité,...

b) Ne pourrait-on pas envisager la création de *chaînes d'information à vocation culturelle*? Elles auraient certainement besoin d'une aide financière mais, peut-être, pourrait-on espérer que croisse la part du public prête à les soutenir.

c) Enfin, on retrouve *l'importance de la formation, formation des journalistes et formation du public*. On retrouve là, la nécessité de formation des esprits, du jugement, d'une certaine curiosité, dès le premier enseignement. Cela implique que les enseignants soient préparés à cette tâche.

Il y a aussi un intérêt certain à utiliser suffisamment, dans l'enseignement, les possibilités des méthodes audio-visuelles afin que les élèves aient le sentiment d'une certaine unité entre tous les moyens de formation et perçoivent, par exemple, que les éléments de réflexion qui leur ont été inculqués durant leur formation première doivent aussi s'appliquer ensuite et que leur esprit critique doit continuer à s'exercer vis à vis des informations qui leur sont diffusées.

Il est clair que les Académies des Sciences - et l'Académie Pontificale des Sciences plus que toute autre - ont un rôle particulier à jouer pour promouvoir contacts et compréhension réciproques entre, la culture scientifique et les cultures littéraire, philosophique, religieuse... Il ne faut cependant pas se cacher la

difficulté de la tâche car il faut trouver un bon équilibre entre d'une part, la place essentielle qui, dans leurs activités, doit être réservée à la science, et, d'autre part, la grande ouverture que réclame toute action dans le sens de ces contacts et de cette compréhension.

## DISCUSSION

### CHAGAS

Merci beaucoup Monsieur Blanc-Lapierre pour votre magnifique exposé. J'ai déjà ici Leprince-Ringuet. Je lui donne la parole. Je veux savoir exactement le nombre d'intervenants. Qui demande encore la parole? Jaki. De Giorgi. On va commencer. Monsieur Leprince-Ringuet.

### LEPRINCE-RINGUET

D'abord je remercie Monsieur Blanc-Lapierre parce que son exposé est très clair, très complet, très bien construit. Je peux vous dire que j'ai eu l'habitude de parler à la télévision. J'ai eu la chance d'avoir pendant plusieurs années un quart d'heure libre tous les mois, juste après le journal. C'était très écouté. Il faut faire la plus grande attention quand on est scientifique à ne pas utiliser des mots que le public ne comprend pas. Les mots que l'on utilise couramment, je dirais sans s'en apercevoir, dans sa science, il faut éviter de les utiliser dans une explication très large pour le grand public. Exemple: je parlais un jour du Cern et de l'organisation des synchrotrons, des protons, etc. et une vieille dame, une vieille bretonne, a rencontré mon épouse et lui a dit: "J'ai entendu votre mari. Il a très bien parlé, je ne sais pas très bien ce qu'il a dit, il a très bien parlé des bretons. Donc, elle prenait les bretons pour les protons. C'est quand même un petit peu limite. Deuxième remarque sur ces problèmes: c'est que les journalistes ne veulent jamais dire leurs sources. Les scientifiques doivent toujours indiquer leurs sources, leurs références. Mais le journaliste qui veut aller vite, qui n'a pas le temps de

vérifier et ne veut pas compromettre certaines personnes qui lui ont fourni des informations, se refuse complètement à donner ses sources. Alors, il peut dire n'imprte quoi, et c'est ce qu'il fait souvent. On a vu à propos des grands évènements scientifiques ou techniques - comme Tchernobyl - la quantité d'inepties ou d'exagérations qui, même à travers des agences de presse, dès les premier jour sont sorties et on été reprises immédiatement par les journalistes. Le premier jour - alors qu'il n'y avait encore que deux morts - on en a annoncé 200 ou 300 par une agence de presse américaine. On annonce au public et le voilà informé. Troisième remarque, les journalistes n'aiment pas beaucoup avoir à côté d'eux des scientifiques exigeants, du point de vue de la vérité scientifique. Par ailleurs: ce que vous dites rejoint tout à fait ce que je pense - je me suis exprimé très brièvement hier - c'est l'importance de la formation du jugement des élèves per les enseignants: or ils sont souvent mal formés pour s'attaquer à ce problème. Une formation renouvelée du personnel enseignant - en tout cas en France, est essentielle: il est actuellement formé d'une façon trop scolaire, trop uniforme, il manque d'ouvertures psychologiques indispensables pour pouvoir considérer les élèves comme des personnes différentes les unes de autres. Merci.

## MALU

Monsieur le Président, l'usine de retraitement des combustibles nucléaires étant en Bretagne, je comprends qu'on puisse confondre Bretons et protons, mais enfin ceci étant dit, je reviens à l'exposé du Professeur Blanc-Lapierre que j'ai fort apprécié, il est très clair, très complet. Idéalisé? quand même parce que quand le Professeur Blanc-Lapierre dit à la première page que les modèles scientifiques sont indépendants de toute considération morale, philosophique, religieuse ou politique, j'ajouterai également sociale, il affirme quelque chose qui devrait être; moi j'aurais dit personnellement que les modèles scientifiques devraient être indépendants en-dehors de toute considération morale, philosophique, religieuse ou politique parce qu'en fait, les modèles scientifiques sont d'une certaine

manière toujours dépendants de certaines considérations morales, philosophiques, religieuses, politiques, parce que, c'est l'histoire qui le montre, les concepts scientifiques — les modèles donc — sont pour établir une relation avec les paradigmes dominants de l'époque de leur éclosion. Se pose ici le problème, en fait, des sources jugées légitimes de la connaissance. Bien entendu, c'est d'abord et avant tout, l'expérimentation, mais il n'y a pas que l'expérimentation — je parle non pas de l'idéal mais du concret, de ce qui se passe exactement — les sources des connaissances sont en fait non seulement la pratique expérimentale mais l'autorité, l'analogie, la compétence, la tradition, tout cela se mélange pour donner finalement des modèles qui ne sont pas totalement indépendants du contexte culturel. Je vous remercie, Monsieur le Président.

#### LAMBO

Professor Blanc-Lapierre has covered a wide variety of themes in his subject. I would like to take two or three points which relate almost exclusively to the development of science and scientific research in the Third World.

He spoke of the dissemination and inflow of information, exchange of ideas, transfer of knowledge and so on. As we heard today, and I am sure most of the scientists hear know or realise, because of the difficulties and economic factors in the Third World, thousands of scientists and potential scientists are completely isolated from the run of things. They cannot even, in many countries of Africa and Asia, get journals where the results of scientific research are being published, because of lack of foreign exchange. They cannot travel to attend international meetings, to meet their colleagues, and exchange ideas. There are these new islands being formed of scientific isolation. It is a problem which I feel we should try to look for solutions for. How can we help thousands of scientists in the Third World who have no access to new ideas and the results of investigations?

That is number one. Number two is the teaching of science in the Third World. I mean we talk about self-reliance and so on, paradigms and models, the transfer of models. We have to, if we

are going to really get any scientific motivation in the students, start very early. There is no doubt that Unesco has done a lot of work in this, in trying to get good curricula into medical schools and universities and colleges and so on. The purpose being to stimulate scientific spirit and the idea of curiosity in nature and the physical phenomena.

However, there is still much to be done. Resources are lacking, in many countries there are no resources to buy the equipment in the universities. There is this tremendous degree of dependence on the developed countries. Even to go from one place to another to get a technique that you will use in your own country is almost an impossibility nowadays. This is something we should look at as closely as possible.

The situation is deteriorating, not getting better.

Finally I would like to mention the need to get the results of researches, the results of investigations and so on across to the policy makers. At the present moment many scientists just think that their work is finished once they have got the results in the laboratories. They might even be rewarded by a Nobel Prize etc. But to get this across to the public, to the policy makers, to the political leaders, so that use is made of these results, I think is something which is still very deficient. Scientists must start to learn how to get across most of their results of their researches which are so important and have such a profound influence on the lives of the people and society as a whole.

## ROCHE

Monsieur le Président, j'ai écouté avec beaucoup d'intérêt le remarquable exposé de Monsieur Blanc-Lapierre, mais je voudrais faire quelques commentaires au sujet de la neutralité et l'objectivité de la science qu'il proclame, comme je crois que nous proclamons tous. En fait, la science non seulement est neutre et objective, mais universelle, communaliste, désintéressée et avec un but: scepticisme organisé. Mais il faut bien se dire qu'il faut bien reconnaître aussi qu'il y a toute une école de pensée contemporaine qui bat en brèche ces idées et qui fait de la science une matière subjective et sujette à des questions sociolo-

giques, religieuses et autres. Par exemple toute l'Ecole d'Edimbourg avec Blow et Barnes, Feyerabend et Bruno Latour sont des gens qui écrivent, qui — comme je disais — battent en brèche cette idée et je crois que Monsieur Blanc-Lapierre aurait dû en tout cas les mentionner et peut-être les réfuter. Merci.

JAKI

Professor Blanc-Lapierre you have made a reference to basic education and to the need that it include much more science than it does today. In particular you made a reference to teaching the idea, and perhaps the practice, of probability calculations. I am afraid you are asking a bit too much. When I arrived in the United States in December 1950, I read in the "Reader's Digest" a report from the State of Mississippi in which a new legislation had to be passed to punish the directors of high-school who gave degrees to students who, at the age of 18 or 19, could not read and write. The situation is not that better. In many ways it has got worse. We are facing the problem, just to draw a parallel with a great western country, where the thefts of automobiles are no longer pursued by the police or the courts, because there are so many of them that any such action would be futile.

I am afraid we are reaching a situation where, in the deterioration of literacy, science has played a role, and mainly the visual media. When we expose little children of two and three to television, this invariably results in the decrease of their ability to make extractions, and in fact to become literate people.

The second point is that you suggested that science should be taught to non-scientists by the means of the history and philosophy of science. Now who would teach them the history and philosophy of science? Non-scientists or scientists? Yesterday Professor Polanyi approached me at the reception and said that, while we scientists may know something about the very recent history of our field, we are deplorably ignorant — these were his words — about the broader history of our subject. And I have a great sympathy for him as a scientist. As an historian of science, I think it is possible to draw, or make, this rule of thumb. When-

ever a scientist was too preoccupied with studying the history of science, he failed to make great discoveries.

### CREUTZFELDT

I think after this fine exposition on science teaching in different cultural environments, one could point out that even in the so-called developed western countries science education is still very low. If one considers science as part of our culture, which we all do, it is amazing that in most countries, even in Europe, science teaching plays a very minor role. The science budgets for schools are I think in modern central European countries almost as low as in any of the less developed countries. There is no material available for practical experimentation. Students are very quickly introduced into very abstract areas of science, and learn something, say, about molecular biology or cosmology that has no direct relevance to their lives. I think Dr. Lambo said already that science education must be geared to the immediate environment. The technical environment in our central European area is a more nature-determined environment than in other countries, other less technical countries.

I think therefore just to say that this is a problem of the underdeveloped countries is not correct. We are ourselves responsible for the fact that science teaching in the so-called developed, cultivated countries is really so underrated.

### DE GIORGI

Beaucoup de divulgation scientifique est pour le grand public et pour les non scientifiques. Je crois qu'il y a aussi quelques problèmes pour la divulgation scientifique à l'intérieur de la communauté scientifique. Mon impression est que la généralité des professionnels de la recherche sont très peu informés sur les choses qui arrivent dans des domaines même voisins du domaine dans lequel ils travaillent. Aussi, même leur esprit critique, je crois pour la plupart, est assez rare; ce qui est plus fréquent c'est une certaine habitude à travailler avec



certaines méthodes qui sont simplement les méthodes traditionnelles du milieu dans lequel ils travaillent. Par exemple, lorsqu'on considère les choses que dit l'épistémologie et les choses qu'on fait dans la pratique scientifique, j'ai toujours l'impression d'une certaine divergence entre ces deux points de vue. Pour le problème de l'indépendance de la science des autres types de culture, je crois qu'on doit un peu voir dans chaque proposition scientifique deux côtés. Un côté que j'appellerai historique et un côté que j'appellerai métahistorique. Par exemple, si on considère le théorème de Pythagore — pour dire une chose qui est connue par tout le monde — évidemment il a été découvert dans une certaine situation historique, dans un certain milieu culturel, etc. Toutes ces choses ont beaucoup influencé la découverte du théorème. Si l'on considère l'énoncé pur, on voit que l'on peut être compris même par les gens qui vivent dans un milieu non compétent, qui ignorent presque complètement les circonstances dans lesquelles le théorème a été découvert. Je pense que lorsque l'on dit dépendance-indépendance on devrait peut-être distinguer la découverte qui est même fortement dépendante d'un grand nombre de circonstances et l'énoncé lui-même qui est indépendant — je crois au moins pour certains énoncés mathématiques —, de toutes les circonstances extérieures. Un autre exemple: plusieurs fois les personnes qui appliquent les mathématiques disent "on doit considérer comme application des mathématiques les choses sujettes aux données quantitatives". La plupart des gens semblent ignorer que la majorité des mathématiques pures modernes est purement qualitative. Même les mathématiciens qui sont inspirés par l'attention vers les problèmes d'ingénierie ou vers les sciences expérimentales, le premier point n'est pas de donner des réponses quantitatives aux problèmes des ingénieurs, des physiciens, des biologistes, mais simplement de trouver quelques modèles mathématiques simples qui aient des propriétés qualitatives similaires au phénomène qu'on veut étudier. Par exemple, juste il y a deux jours, nous avons eu la célébration de Vito Volterra. Evidemment les équations de Vito Volterra sur les équilibres d'espèces sont très importantes parce qu'elles nous donnent des informations qualitatives sur les

types de relations qui s'installent lorsqu'il y a des espèces animales et végétales en compétition. Evidemment, il est presque impossible d'appliquer directement, pour avoir des résultats quantitatifs, les équations de Vito Volterra au problème réel d'une ambiance dans laquelle il y a toujours beaucoup plus que deux espèces seulement, il y a beaucoup d'autres variables incontrôlées. Mais la découverte de Volterra est importante parce qu'elle nous a donné la première idée qualitative des équilibres d'espèce.

### PULLMAN

Monsieur Blanc-Lapierre a soulevé (et monsieur Leprince-Ringuet a pour ainsi dire enfoncé le clou) un problème tout à fait fondamental à propos de la diffusion des résultats scientifiques, et qui concerne le comportement des médias, et en particulier de médias télévisés car, comme Monsieur Blanc-Lapierre l'a dit: "aujourd'hui, c'est la perception la plus directe et par conséquent la plus frappante qui influence le plus, en particulier nos jeunes". Monsieur Leprince-Ringuet a souligné le débordement ou carrément les erreurs inadmissibles de la part de journalistes lorsqu'ils traitent de certains événements scientifiques et il a cité comme exemple Tchernobyl. Je dirais que ce comportement irresponsable n'est pas du tout spécifique des informations scientifiques. Si, à propos de Tchernobyl, les journalistes ont exagéré en parlant de dizaines de morts alors qu'il n'en a eu que quelques-uns, la situation est encore bien pire à propos des événements récents de Roumanie, où nous étions l'objet d'une véritable manipulation, et, où on a parlé de 60.000 ou je ne sais pas combien de morts. Il n'y avait pas ici de problème scientifique impliqué. C'était tout simplement l'absence de vérification, de références correctes. Alors, le problème est de savoir si l'on doit se contenter d'une telle situation et ne rien faire, ou s'il ne conviendrait pas de concevoir un mécanisme, disons, de disqualification de journalistes qui se permettent des excès de ce genre. Je vous citerai, à titre anecdotique, que le journaliste de la 5ème chaîne (qui était passionnant, fascinant dans la présentation des événements, cela n'avait aucune

relation avec la réalité roumaine mais on ne pouvait pas s'arracher de la télévision), le journaliste donc, après même que l'on ait su que les informations étaient erronées, a reçu un prix journalistique pour le récompenser de la magnifique façon dont il a présenté les événements. La présentation était fautive, mais magnifique; et elle a attiré beaucoup d'auditeurs à la chaîne en question. Alors, est-ce que l'on ne pourrait pas concevoir un procédé d'action, d'un blâme au journaliste en question? Un scientifique qui publierait un ensemble de données erronées et qui les publierait non pas une fois - l'erreur est toujours humaine - mais plusieurs fois, serait disqualifié. Je pense qu'on doit pouvoir concevoir un tel mécanisme. Nous avons en France ce que l'on appelle une Haute Autorité d'Audiovisuel qui a pour mission, entre autre, de veiller à la moralité des émissions. Elle s'occupe en général de problèmes financiers, politiques, mais naturellement néglige totalement les problèmes scientifiques. On pourrait peut-être tout de même ne pas se contenter de signaler la situation, mais songer à une manière d'agir en vue de censurer les journalistes qui se permettent des absurdités ou des déformations très profondes de la réalité, scientifique ou autre.

RAO

Thank you Mr Chairman, I just want to bring to the attention of my colleagues the really sad realities of the world. In countries like mine, we have more illiteracy today than we have ever had. The absolute number of illiterates in the world is higher today.

In my efforts to contribute to science and technology and education in India, I have found that literacy, the way we usually understand it, is not the most important thing. The three "Rs" fine — we must do that — but somehow what is important is to change the attitude or bring the right spirit in the common man, the right attitude towards development and his environment.

Recently we had a major social movement in one part of India where we decided that every citizen of that state would

become literate, however old or young he or she may be, even women and men over 70. They all started learning something about their environment, reading, it was a great success. In fact there is one state in India which is now 100% literate in the real sense. Not just literate in the sense that they can read and write.

I believe that the main effort of scientists should be to inculcate this scientific spirit into the attitude and this will enable people to look at the world in a different way. The world will be a better place to live in, if we do that. I think this would be more important than just giving them the history of science. What I sadly have to comment here is that many people do not have a proper attitude. In fact science itself does not occupy a very important place in the value system of the world, even in the advanced countries. I think that we scientists should see that science occupies the right place in the value system of society, whether in the developing or the advanced world. I see that the scientific attitude forms the basis of many of the things we do in daily life. In this way we will be with other countries neighbours and with humanity at large.

## GERMAIN

Je voudrais revenir sur ce qu'ont dit deux des derniers intervenants pour soutenir leur intervention. Il est très important d'abord de souligner que la formulation et la justification de nos énoncés scientifiques sont tout à fait indépendants de toute considération politique, sociale, religieuse et autres. Ceci est tout à fait capital si l'on veut donner une intelligence exacte au public. Ce qu'a dit notre confrère Malu est donc très juste. Effectivement, l'erreur, c'est le point de vue des philosophes de la science qui ont été cités par notre confrère Roche, Bruno-Latour, Paul Feyerabend par exemple. Paul Feyerabend est professeur de philosophie des sciences à l'Université de Berkeley, donc c'est une autorité. L'image qu'il a donné de la science est très déformée. Il a beaucoup d'informations; c'est un auteur très intéressant, et très brillant. Mais il mélange les conditions dans lesquelles on a fait une découverte scientifique avec les découvertes elles-mêmes. Newton était, paraît-il, névrotique! Newton faisait

de l'alchimie! Newton avait tous les défauts qu'on voudra, mais les lois de Newton sont ce qu'elles sont. Ces lois ne dépendent pas du caractère de Newton, de la manière dont il a vécu. De Giorgi a parlé de Pythagore. On pourrait prendre beaucoup d'autres exemples. Ça me paraît important et si ce n'est pas nous qui le disons, alors personne ne le dira. Alors cela ouvre la porte à toutes les confusions. Toutes les confusions que vous voyez, par exemple, dans le dernier livre de Feyerabend intitulé "Adieu la raison" c'est donc très important. Une dernière remarque sur science et culture. On a eu raison de souligner que, dans nos pays européens, la question de leurs rapports n'est pas claire. Notre ministre de la recherche, qui est un scientifique, Hubert Curien, a fait faire un sondage aux sorties des supermarchés. On demandait aux personnes: "est-ce que la science fait partie de la culture?" Pour plus de 70% des réponses c'est "non"! Cela pose une question: "quelle image donnons-nous de la science, quelle image donnent les professeurs de sciences?". Je pense effectivement que notre enseignement des sciences ne donne pas, au grand public, - c'est-à-dire ceux qui ne sont pas scientifiques -, une idée de la science comme partie de la culture. C'est un très grand problème, et comme l'a dit Blanc-Lapierre, cela remet en question, à mon sens, la formation des maîtres. Parce que pour des maîtres qui ont appris beaucoup de mathématiques il est facile de faire des cours de mathématiques; c'est beaucoup plus difficile d'y intégrer un peu d'histoire des mathématiques, un peu d'histoire des réflexions sur l'influence qu'ont eu les mathématiques sur les autres sciences. C'est cela qui serait culturel, c'est cela que pourraient retenir les futurs citoyens. Nous ne le faisons pas. De grâce, soyons bien tous solidaires pour défendre l'objectivité de la science parce que si on commence à dire: "oui, il faut tenir compte de la manière dont les découvertes ont été faites, de l'environnement social" alors la confusion est totale et nous ne pourrons jamais faire valoir notre identité.

## LICHNEROWICZ

Je voudrais dire mon accord total avec l'intervention - je voulais presque dire la même chose - de notre ami Germain. Je

trouve que, s'il y a intérêt à regarder dans quelle circonstance telle découverte est apparue, - c'est important du point de vue de l'histoire de la pensée - il est clair qu'à partir d'un certain moment son énoncé est devenu dépourvu de tout statut lié à son origine, elle est une vérité parmi d'autres. Ce qui me préoccupe personnellement - si vous voulez, - c'est la manière dont, l'audiovisuel, et la presse, font apparaître ce qu'est la science. Elle est une espèce d'univers magique. Ce qui apparaît c'est une magie de résultats; or la science ce n'est pas la collection de résultats magiques, ce n'est pas une boîte noire où des sorciers ont réussi à faire apparaître - on ne sait comment et dans quel contexte - des phénomènes. C'est quelque chose de complètement différent. Il y a d'abord le fait que la science n'est pas une accumulation de couches géologiques, couche après couche dont chaque couche offre des résultats. Elle est d'abord une économie de pensée qui réunit en un réseau des faits d'origines complètement différentes. Bachelard disait que toute idée neuve est d'abord une réorganisation des idées anciennés, un passé revécu. Si nous prenons l'exemple du théorème de Pythagore - tout à l'heure cité par De Giorgi -, il est toujours vrai mais nous le plaçons dans un contexte qui n'est plus du tout celui des espaces vectoriels, munis de produits scalaires, quelque chose de totalement différent. Et, l'un de buts doit être d'habituer les citoyens à cette espèce de jeu d'esprit qui consiste à changer de points de vue; points de vue également respectables, mais dont certains sont beaucoup plus féconds que d'autres. J'aimerais mettre l'accent, vers la fin de l'enseignement du second degré, sur la nécessité de faire sa part à l'histoire des sciences et sur un minimum de réflexion philosophique. Personnellement j'ai été amené à faire enseigner en dernière année du secondaire à de non-scientifiques à la fois les nombres complexes et leur histoire. Le résultat avait été excellent: cela avait passionné des non-scientifiques de voir la démarche historique mais de voir aussi à travers cette histoire les différents points de vue concernant les nombres complexes. J'insisterai sur cette méthodologie qui conduit à l'économie de pensée. Nous sommes capables actuellement, de représenter tout l'électromagnétisme, tout Maxwell, avec trois signes dont deux sont universels, cela peut

aussi bien se faire pour les théories de jauge. Il y a là vraiment économie de pensée au sens le plus strict: nous n'avons pas besoin d'apprendre quantité de formules partielles si nous savons les formules cruciales de la physique théorique.

## ARBER

J'aimerais mettre mon doigt sur deux problèmes. Le premier. Quand il s'agit de diffuser une découverte scientifique au grand public ou aussi dans l'enseignement à l'école, une des attentes des auditeurs est d'en voir les applications. Et là, très souvent, on fait des projections à l'avenir et des grandes promesses. Certaines de ces promesses peuvent être tenues, certaines autres non. Maintenant le deuxième problème a à faire avec la compréhension et le fonctionnement du comportement humain: c'est qu'on est beaucoup plus excité par les mauvaises nouvelles que par les bonnes. Les bonnes nouvelles on les oublie très rapidement, on les prend comme normales, mais on se préoccupe des mauvaises nouvelles. Alors, c'est là qu'on a la lutte continuelle entre, évidemment, les prévisions non tenues et les effets secondaires néfastes qu'on n'a pas prédit et qui, en fait, contribuent énormément à ce que les scientifiques ne soient pas pris vraiment trop au sérieux. On dit que ce qu'ils disent n'est pas réalité, ils sont à côté du monde, etc. Et, c'est très difficile de faire quelque chose contre ceci. Evidemment, il ne faut pas abandonner la lutte mais il faut être conscient que ça dépend un peu de l'attitude de l'homme-même envers les nouvelles qui le touchent.

## CHAGAS

Je vous remercie Monsieur Arber d'avoir mis votre intelligence et pas votre doigt sur le sujet. Monsieur Blanc-Lapierre, votre présentation a été un succès puisque nous avons eu treize commentaires; mais permettez-moi de faire encore la quatorzième si l'audience me le permet. Il y a quelques points que je voulais souligner dans la présentation de Monsieur Blanc-

Lapierre. D'abord il a parlé d'une chose très importante: c'est le langage. Or, le langage est une arme extraordinaire pour la pensée. Et, si on commence à penser en même temps en anglais, en français, en russe et en portugais, on n'arrive pas vraiment à dire ce qu'on veut et à formuler sa pensée. C'est pour ça que, dans mon cours "graduate course" — je ne sais jamais comment on traduit "graduate course" en français: c'est le troisième cycle mais ce n'est pas tout à fait le troisième cycle; moi, j'ai établi un cours de langue portugaise qui irrite énormément les étudiants et qui est tellement plus nécessaire, puisque dans tous les pays, je viens de le voir en France, la télévision est en train de dégrader le langage. Il y a un langage de la télévision comme on dit, ce qui est assez grave. Monsieur Blanc-Lapierre, vous avez parlé de l'introduction de la science dans l'enseignement. Moi, j'ai une idée qui, je pense, est peut-être bonne, c'est que le meilleur moyen d'introduire la science dans l'école primaire ou secondaire — mais surtout dans l'école primaire — c'est de le faire par la connaissance de la nature, par l'étude de l'écologie. C'est attrayant. On peut le faire même dans les jardins, on n'a pas besoin d'un tableau noir, on peut le faire directement, et ça intéresse les élèves. Maintenant pour la question de la diffusion, — encore que pour l'éducation scientifique, je pense que l'œuvre de l'UNESCO a été importante. Elle est l'œuvre de Baech, le directeur — qui était un type vraiment exceptionnel —; mais, malheureusement, les gouvernements n'ont guère poursuivi ce qui a été fait dans les années 50 et 60. Mais, la diffusion scientifique est quelque chose qui intéresse le monde entier. Je suis membre d'un jury du prix Kalenga — qui est un prix pour la diffusion scientifique — et je reçois à peu près une trentaine, une cinquantaine de livres qui, se présentent à ce prix; et j'y suis vraiment très intéressé. Il faut dire d'ailleurs que je confesse cela avec une certaine difficulté, cette année j'ai proposé pour le prix en première place, un monsieur du Pakistan qui a fait une caravane de diffusion scientifique où les chameaux pénètrent dans tout le Pakistan pour montrer et diffuser la science; et en plus j'ai donné le second prix à un type aussi extraordinaire qui vient d'un pays que je ne connais pas, un de ces nouveaux pays — je n'ai pas pu le trouver dans mes atlas, dans mes livres —, mais



c'était vraiment quelque chose d'extraordinaire. Et ce qui est intéressant dans cette diffusion, c'est que les gens qui l'ont bien faite ont adapté l'enseignement aux conditions du peuple, à la culture du peuple. C'est comme les Evangiles; ils ont été écrits selon la culture d'un peuple, aussi ces magnifiques auteurs compétents ont fait en sorte que les gens comprennent parce que c'est dans leur vie elle-même qu'ils ont montré les exemples. Maintenant, je prie Monsieur Leprince-Ringuet — dont j'admire beaucoup la diffusion par TV — de dire que le grand moyen, le média dans les pays en développement n'est pas la TV; c'est la radio. C'est la radio vraiment qui pénètre. On l'appelle même la boucle d'oreille des pauvres. Parce que si vous allez en Egypte, si vous allez au Brésil, si vous allez dans les pays très pauvres, il y a toujours un misérable, et même le plus misérable, qui a toujours une petite radio de poche à l'oreille. Moi, j'ai fait une expérience assez intéressante: chaque fois que je parle à la radio, il y a une centaine de personnes qui me disent: "ah, je vous ai entendu hier à la radio". Chaque fois que je parle à la télévision, on me parle, mais moins, et il ne faut pas oublier qu'au Brésil on a une quantité énorme d'appareils de télévision. Donc, il faut faire propagande, c'est une expérience très intéressante. La première fois que j'ai vu Jean XXIII, il m'a dit: "quand vous rentrerez chez vous, il faut diffuser vos connaissances. Et j'ai fait plus que ça, cinquante programmes à la radio. Or, trois fois j'ai rencontré des gens dans l'état du Minas à l'intérieur, qui étaient devenus des scientifiques parce qu'ils avaient entendu mes programmes de télévision. Donc, c'est une action directe. La télévision est splendide, formidable, beaucoup plus objective, n'est-ce pas. Sans discrédit pour aucun pays, les programmes de télévision de la BBC sont vraiment fantastiques. On y apprend vraiment beaucoup, même quand il s'agit de sujets qu'on connaît très bien. Mais c'est la radio qui peut vraiment être le grand diffuseur parmi les médias. Alors, une petite considération encore au sujet de l'intervention de Monsieur Pullman. C'est le fait que, moi, je trouve excellente l'idée de pénaliser ceux qui vous donnent de fausses informations. Mais pour la presse, pour le grand public, ça va sonner comme de la censure, et alors il y aura une réaction extraordinaire. Il ne faut pas oublier que

dans ces cas-là, ce n'est pas seulement la science qui doit être "censurée". Moi, j'ai toutes les difficultés avec "Le Monde", par les fausses informations qu'il a publiées sur le Brésil et encore sur la Conférence dont j'étais le Secrétaire général à Genève. Donc, il y a là tout un problème que je considère vraiment très délicat. Excusez-moi d'avoir trop parlé et je vous donne la parole pour répondre aux treize intervenants.

BLANC-LAPIERRE

Merci Monsieur le Président, je ne serai pas très long parce qu'il y a eu déjà des réponses aux questions posées qui ont été données par des intervenants. Effectivement, j'ai décrit une situation idéale. Je suis d'accord avec Monsieur Malu: les modèles scientifiques devraient être indépendants de toute autre considération, ce qui actuellement n'est peut-être pas toujours réalisé, mais c'est quand même l'idéal qui correspond à ce qu'est le domaine scientifique. Il est évident que les problèmes du Tiers monde n'ont pas été très présents dans mon exposé et je suis très reconnaissant à tous les intervenants qui l'ont complété sur ce point-là. Je voudrais dire que l'intervention qui m'a le plus gêné est celle de notre collègue et ami Roche, parce que je n'ai pas lu les philosophes dont il a parlé. Je crois que Paul Germain a répondu dans une large mesure à ce qu'a dit M. Roche. Je me suis peut-être trop placé dans un point de vue de physicien au sens bien strict; je crois quand même que l'indépendance dont j'ai parlé est, pour nous, quelque chose d'essentiel. Je suis d'accord avec le Père Jaki sur le fait que l'enseignement qui doit être donné aux non-scientifiques est quelque chose de très difficile. Je pense que, si on voulait bien le faire à l'heure actuelle, il faudrait choisir quelques scientifiques confirmés et qui auraient été, eux-mêmes, passionnés par ces problèmes d'histoire, etc; mais je ne vois pas, dans les formations standard, à qui on pourrait s'adresser. Si j'étais ministre de l'Education nationale et si je disais: "demain matin on installe cet enseignement dans les lycées" je ne sais pas comment je ferais, je suis tout à fait d'accord avec vous. Néanmoins, c'est quelque chose de capital. Vous avez, Père Jaki, soulevé une question que je n'ai absolument pas abordée, que je me suis posée un certain nombre de fois: "est-ce que les moyens audiovisuels ont une responsabilité dans la dif-

ficulté pour la lecture. Je vois que c'est un très grand problème ... vous avez bien fait de soulever cette question. Il a été aussi beaucoup question de la presse; comme le disait Monsieur Leprince-Ringuet lorsqu'il parlait de la difficulté de compréhension des journalistes, il faut, je pense, se dire que le souci d'être compris par l'interlocuteur fait partie du respect que nous lui devons. Il faut vouloir avoir une communication avec lui; donc il y a un canal à trouver et ce canal implique un certain choix du langage. J'ai fait faire beaucoup de leçons d'agrégation, mais c'était à un public de physiciens - et peut-être n'ai-je pas ici respecté mon souci de l'adaptation du langage - je leur donnais comme règle de s'adapter en fonction du niveau de la classe à laquelle devait s'adresser leur leçon -; comme ils étaient tous compétents en électricité, je leur disais: "Il faut adapter les impédances. Si vous envoyez une onde sur un milieu et s'il n'y a pas cette adaptation, elle est réfléchiée et rien ne rentre dans le milieu. Alors il n'y a pas de communication." C'est difficile, mais je crois que c'est un souci que l'on doit avoir. Tout en écoutant, j'ai un peu réfléchi au sujet de la disqualification que propose Monsieur Pullman. Je pense que c'est très difficile. Et je pense qu'il est même très difficile, en présence d'une information donnée par la presse ou la radio, pour nous scientifiques, de vérifier si elle est tout à fait exacte ou pas. Je voudrais vous citer un exemple. Il y a eu un moment où tous les journaux ont parlé de ce qu'ils ont appelé "les bébés Tchernobyl". Parce que, dans une clinique d'accouchement en Allemagne, on avait prétendu trouver plus de malformations que ce que donnait la normale avec les fluctuations et on avait lié ça au passage du nuage dans la région de la clinique. Alors, il se trouvait que je présidais en France le Conseil supérieur de la sûreté nucléaire et que c'était une question pour laquelle je voulais avoir une information claire. Finalement, je suis arrivé à avoir de la lumière sur cette affaire. Je crois me rappeler que cela portait sur une douzaine de femmes; mais parmi elles, il y en avait six qui étaient venues accoucher dans cette clinique, mais qui vivaient ailleurs, et à un endroit de l'Allemagne où n'était pas passé le nuage; elles étaient donc à retirer de la statistique, et finalement tout tombait dans les fluctuations normales. Alors tous les journaux ont parlé des bébés de

Tchernobyl, puis après on a fait le silence. Il y a un seul journal, qui, à ma connaissance a donné, six mois après, la vraie statistique. Eh bien je crois qu'on aura non seulement les difficultés - dont parlait le Professeur Chagas - de réactions anti-censure, mais que si on veut prendre tout ce qui se dit et si, sur chaque point, on veut savoir si vraiment c'est tout à fait exact ou pas, on arrivera à un travail considérable, peut-être impossible.

TRADITIONAL EDUCATION IN THE PUBLIC SCHOOLS AND  
SCIENCE'S IMAGE  
(THE CASE OF CHILE)

HÉCTOR R. CROXATTO  
Pontificia Universidad Católica de Chile,  
Santiago

The opinions that the people express about science have beset me since my Medical School days (1924 - 1930). At that time, I had the impression that for many learned persons science was an ornament of culture which often, in developed countries, but very seldom in southern countries, had the potentiality to enlighten those rare human beings who have the genius to create beneficial things for mankind. However in the years following the Second World War, particularly when the dreadful effects of the atomic bombs dropped on the Japanese cities were known, sciences's image underwent a radical change. A feeling of distrust grew up and became progressively stronger because of the pervasive effects of the communications mass media informing and crying out against the devastating effects on ecology produced by the application of massive technologies. In the last decades, the surprising prowess of molecular biology has been celebrated in some circles, but in others, the ethical implications of certain uses of bioengineering, have aroused a rebuttal that has intensified the distrust of science's achievements. In addition, its freedom to undertake research in every possible area was questioned. Besides the aforementioned problems, other facets have contributed to form in the public's mind an ambiguous or rather blurred perception of the spiritual gifts and dignity that the search for knowledge provides to man. I shall refer to those aspects depending on formal education and on cultural values instilled in human subjectivity which, in more than one way, are contributing to shaping the current bad image of science and technology.

No quantitative data are available regarding the degree of dissatisfaction that the Chileans display toward the evolution of Science and Technology, but I assume that it is similar to that of other western societies. Despite her geographical remoteness, Chile fully shares the cultural heritage of the Christian-Spanish tradition, including a present distrust of certain scientific undertakings that exists in many latitudes. I shall make only a few comments on it. As everyone knows, even in the United States, the country with the highest density of scientists and engineering workers, quite often prestigious scientific journals, such as *Science*, comment in their editorials not only with indifference, but adversely on scientific activities. According to John Sawhill: "although scientists rank higher in public esteem than ministers, lawyers, bankers, congressmen, in the college's campus and in the class-rooms, faith in the beneficence of the scientific endeavor and in the promise of technology are steadily eroding". Eleven years later, Saxon wrote: "The pervasive lack of understanding of Science and Technology throughout American Society is, just about everyone agrees, a major problem. That our technological illiteracy extends even to those most educated of Americans - our college graduates - verges on a National Scandal". Quite recently, it has been reported: "Distressed at the prevalence of Science illiteracy among young people in the U.S., some scientists are bringing their skills to where they can perhaps help the most - the classroom" (Lewis). H. Bonds, commenting on what was happening in the U.K. in an article published in *Nature*, noted: "We have had a lot of trouble in recent years with young people not coming forward in the number expected to do science".

The ideas and opinions that I am going to express represent, a synthesis of personal impressions collected through the years, talking to school teachers of biology, sociologists, humanists, and my colleagues at the Universities. Most of this information was gathered when I was Director of the Sciences Department at the Faculty of Philosophy and Education of the University of Chile and later as Director of the Center of Improvement and Training of School Teachers.

A. Although the Chilean general public does not have rampant anti-science feelings, science is indicted on manifold grounds. In particular there is a manifest aversion to some of its technical expressions. Science is blamed for the devastating effects on the environment inducted by technologies in the service of industrial interests. Science is accused for its detachment from human values and for its uncontrolled tendency to promote supremacy of "having and damaging the being". There is an apprehension that technology is becoming more and more a threat to what it means to be human.

Science is also blamed for being the stronghold of atheism, for promoting secularism, for materialistic, reductionist views, for contributing to dehumanization and for having a cold detachment from feelings which sustain human values. Sometimes, disapproval of scientific activity is expressed by claiming that science destroys the pristine and candid beauty of Nature's treasures. However, there is a vast proportion of literate persons who agree that science and technology are essential for socio-economic development.

The public's distorted moral image of science is largely to be blamed on the formal educational system. However, the impact of science-fiction and second-rate scientists and journalists avid of propaganda cannot be underestimated. Anyway, great responsibility falls upon the obsolescence of science's pedagogical methods which are mainly centered on providing information, on the transference to the student minds of objective data, of names and results of scientific research which are in the textbooks. It is rare to find teachers thinking creatively and philosophically beyond the very narrow zone of their own expertise. No consideration and time are given to the task of enlarging vistas of the amazing complexity and breath-taking beauty of the created universe, or to awakening the student's wonder by indicating and showing the splendor of the infinite variety of Nature's forms and structures. Very often many people do not understand why "men and women should be paid for studying the mating habit of the spider, the sonar system of bats when the planet itself is in peril" (Sawhill). What most people

want from science is security and wealth, freedom from disease and from poverty.

It is easy to understand that even a highly educated person may be ignorant of what science is all about, because he only knows names, he only sees in science the dating or identification of facts or the demonstrations of statistical correlations, but he will agree that in any circumstance it will always be better to increase our scientific knowledge than to remain in ignorance. Today scientific knowledge could be the solution for the problems of tomorrow, even of those which are caused or aggravated by some technological applications that, in the long or in the short run, demonstrate themselves to be damaging. Ignorance implies a great deal of inconvenience also in a non-material sense. "If a large segment of a society lacks the most rudimentary sense of the way things work, or things are evolving, then that segment is isolated from an immense range of intellectual experience, hence spiritual and intellectual growth is stunted or distorted. A sense of wonder and delight in the complexities and mysteries of the universe is part of the make-up of good scientists, of good engineers, of good writers, and civilized human beings" (Mosey). One gets the impression that the negative image of science partially arises from misunderstanding science's primary ends, and from its "amorality", its detachment from subjective truth. Being well informed about science is not the same thing as understanding science. It is not enough even to understand how the scientist comes to know what he knows. In science's undertakings there is a continuous search for meaning either about the human drive to seek scientific truth, or to obtain its fruits.

B. Impact of historical events of the past. In the analysis of the public's image of science, historical facts relating to the intricate relation between science and Christian faith cannot be overlooked. These facts still impinge on the mind of educators, and on the intellectual elite of the present time. Episodes such as Galileo's trial; the ways in which, in the eras of illuminism and positivism, scientists and philosophers have used scientific advances as a weapon to mount serious attacks on religious



faith; the materialistic and reductionistic position, so widespread at the present time, in both scientific and humanistic circles, manifesting compliance with monistic views; all these have made man's spiritual side to appear as a mere by-product of a material process. In philosophically unprepared teachers, this interpretation contributes to undermining the nobility of science's role as a driving force in elevating human dignity.

C. Some ideas to be considered in science teaching. The following ideas should be examined and widely discussed in professional institutions (Universities) where future science teachers are trained and graduated.

1. Whatever the field of science, the teacher's message should contain an explanation of the scientist's aim to reach a wider and deeper understanding of natural phenomena of utmost generality. The teacher should also make clear that the search for the truth is the supreme and intrinsic value of science, and that although the word truth has a connotation of immutability, this quality is unwarranted. Therefore, a hypothesis should be considered only as the nearest approach to the truth that has not yet been achieved, and is not the absolute truth. It is almost an intrinsic part of the conception that the scientist has of science, to recognize that he never knows enough. Although he can explain it all, he may not realize all its implications nor be able to attain to the final interpretation of reality.

2. Science deals with facts, not with value judgements. These are outside the realm of science.

3. Knowledge is power and it can be used; therefore it can be used for good as well bad ends. "Knowledge, like metals, manufactured goods and products is a type of commodity. It is created, often in planned fashion, and bought and sold, sometimes in the market, more commonly in the quasi marketplace of politics and ideas" (Edlund and Tancredi, 1985).

4. The application of scientific knowledge is an ethical and political problem, outside the domain of science. Benefits and risks of technical applications are not always predictable and are inseparable traits of scientific advances.

5. What we sometimes take as the power of technology is in fact the power system of the society which develops, owns and uses that technology. Modern technologies are propelled by the forces of the market and politics. The evil is not in science as a body of knowledge, but in human behaviour; the guilt is in the man who applied that knowledge without consideration of ethical values. When it comes to value conflicts and ethical validation, we must seek our answers elsewhere, in humanities, ethics and philosophy, in particular in religion, long held to be the prime custodian of man's value system. "However, sometimes decision can be an agonizing choice".

6. There is a distinction to be made between the "amoral" quality of scientific data and the utility of science in arriving at value judgements. The teacher should convey the concept that science cannot be treated as if its values were opposed to those of humanity, when it is addressing the same universal concern.

7. Scientists, by the fact of being in possession of certain knowledge, acquire the moral responsibility to advert the possible ill effects which its applications can bring about.

8. Science teaching should provide adequate notions about the vastitude, harmony, incommensurable complexity and the lofty and mysterious beauty concealed behind the appearance of things investigated. Outstanding scientists have expressed that "Sciences not less than Arts, have encountered in beauty a source of clearness and illumination" (Heisenberg). Almost anything to be found in Nature exhibits some kind of beauty in immediate perception and intellectual analysis. The teacher can use countless examples. Nature is a wise and thrifty builder, a master engineer without limits. Organic forms incorporate more than efficiency; there is also great beauty in living things.

9. Although science has to work with its own methods and autonomy, our ultimate reflexions cannot avoid being affected by the metaphysical conception of the world, if we want to ask about the why and the wherefore of our existence. "It is necessary to keep constantly in mind that science is a human endeavor inseparable from the basic issues and goals of humanism" (Robert).

It is highly desirable to provide a deeper and wider understanding of the natural world including ourselves, but in addition it is necessary to meditate about the answer to ultimate questions that cannot be experimentally proved and are out of the domain of physics. It becomes necessary to distinguish the method of understanding of philosophy and of the human sciences from the objective method of explanation of the natural sciences.

Things in the subjective sphere, dealing with human experience, never become the subject matter of the natural sciences. When human beings are viewed by the natural sciences, they are reduced to physical systems from which the human features have been drained. Man can be seen as "a transcendent novelty that appeared in the world, as a creature existing not only in the matter-energy world (World 1 of Popper) but also who realized its existence in the world of the self-consciousness in all its manifestations (World 2) and who has the religious concept of Soul (Eccles)."

Human beings appeared as supreme bearers of thought in the Universe and have the exclusive privilege, thousands of millions of years after the "big bang", to be part of the Universe that could study the rest of itself.

It appears justified to bring to the classroom the idea that: The philosophic mind not only thinks about an object, it always, thinking about an object, thinks about its own thoughts about that object, because one of the most basic motivational forces in man is his will toward meaning. "The most painful is the absolute silence of all scientific investigations as to the meaning they all display" (Schrödinger).

It stands as a refreshing fact, the amazing ability of the mind to find even deeper rationality in the data provided by the

senses. In this respect the scientist can recognize the wonder of human uniqueness, which allows him to regain faith and hope in man and his transcendent destiny.

10. Some general questions, which are not in the objective area of natural science could be brought to intellectually mature students. For example, despite the controversial character of the problem, science has not solved for man the riddle of his own nature. It has been maintained that science, metaphysically scrutinized, appears as a system of symbols of practical efficacy, but without relevance for the most important questions of human existence (Eddington). As expressed by Sperry, science is inadequate to be of much help with regard to questions concerning the ultimate goals and meaning of existence with which religion deals and which largely set the basic parameters of social values. On the other hand, it is necessary to mention that there are many positivistic attempts which use experimental and physical models to explore the properties of brain neurons at structural and molecular levels, to find explanations of phenomena related to consciousness. Stent has pointed out: "It is important to give due recognition to this fundamental epistemological limitation to human sciences, only as a safeguard against the psychological prescriptions put forward by those who allege they have already managed to gain a scientifically validated understanding of man". It does not, of course, follow that further study of the mind should cease. In the reductionist world there is not room for consciousness. The implication of this is extremely severe; if man is merely a servo-mechanism then there would be no justification for talking about moral responsibility. Neurophysiology is not likely to provide us with information on the nature of consciousness. Science has brought the problem to a boundary between the material and mental worlds where there does seem to be an unbridgeable gap.

A description of the internal functions of an organism, and its reactions to external stimuli, requires the word "purposeful" which is foreign to physics and chemistry (Bohr). Purposiveness

appears to many biologists as one of the features that distinguishes life sciences from physics.

11. Religious tradition views the Universe as the purposeful creation of a rational God. It is no accident that the culture in which modern science developed was one dominated by the Judeo-Christian heritage.

12. Christian faith does not demand hostility to reason, philosophy and science; on the contrary this is an attitude that has seriously compromised belief in God in modern times.

D. Scientific creativity and artistic creativity. Despite the diverging ways in which science and humanism look at the world, it should be important to recall the similarities between scientific and artistic creativity that spring from the same qualities and power of the human mind: imagination, curiosity, inventiveness, a sense of wonder.

These common features establish a bridge between the humanities and science for mutual understanding. However, the public that tends to see only dissimilarities, finds difficulty in conceiving analogies between the emergent work of scientific and artistic creativities.

An artist produces a piece of art, such as a painting or a melody or a poem, out of nothing ("ex-nihilo") whereas the facts that the research worker describes, correspond to something already created which although hidden, was somewhere. On that ground, it is said, it cannot be the outcome of creative process. But what the layman has not considered is that scientific enquiry is quite different from the search that somebody undertakes, for instance looking for his lost umbrella, a thing which is known beforehand. Furthermore, he overlooks that the scientist, before starting his pursuit, has to elaborate a conceptual or theoretical framework about what he expects to find. He is impelled at the very beginning to formulate an hypothesis, and to set up an adequate methodology, both of which are genuine products of his creative mind.

Art and scientific research are two different ways of interpreting or questioning the world around us, but in both endeavours the same virtues of the mind are required when in action, the above-mentioned imagination, curiosity, inventive power and sense of wonder. Investigators and artists can enjoy similar and gratifying emotions. The layman who sometimes admires with amazement science's conquests, can hardly seize and savor the emotional aesthetic delight that the discoverer felt in detecting that beauty. This arises from the wonderful order and harmony of Nature's processes, when the veil covering the unknown is removed. The scientist not only enjoys the glorious splendor of a flower, but he can be highly gratified in discovering mysterious harmonies in the stems, in the roots, even in minute grains of pollen of the plant, hidden from the naked eye. The undertakings of science have offered man an open way to encounter and enjoy a kind of enduring beauty that nature had kept concealed. Differences between artistic and scientific creativity are more apparent than the similarities. Whereas artistic creations are addressed more to aesthetic feelings, science's findings are grasped by reason. Most of the messages delivered by science in its technical language sound like jargon to non-scientists and are not understood. The papers written by scientists in their journals are necessarily strictly objective, impersonal and for an ethical compromise they have to be faithful interpreters of Nature. Describing their results, they cannot add anything of their imagination and personal feelings that can distort reality. These qualities are a great contrast to the humanistic, subjective, imaginative and strong personal stamp that permeates the works of the artists. "The successful artist imposes his own style, a unique way to express his feelings and anxieties. The artist is quite successful when his accomplishment interprets his intimate desires, when the finished work reproduces exactly what he wanted it to be. On the contrary the investigator must accept the results as they are, even if they refute his own cherished hypothesis, but he will feel rewarded if his contributions are confirmed by his peers" (Croxatto).

Science is the sole human endeavor that is in continuous progress. It is constantly gaining broader vistas about the physi-

cal world, and it is accumulating new knowledge at astounding and overwhelming speed. We can say that today humankind knows more than it did yesterday, and tomorrow it shall know more than today. Art does not follow this trend, and it is difficult to perceive that it may actually be progressing. Nevertheless science's statements and gains are conjectural, provisional and exposed to continuous revisions and new formulations. The things that artistic activity creates are definitive; they can stay unchanged forever and ever, and are protected from any change by their reluctancy to be retouched. A work of art can be quite independent from other art creations. It is not required, as a necessary condition, that they find support in previous art work. Science's work lacks this wide independence; a scientist starts his research work by using the knowledge accumulated by a legion of forerunners. He can confirm, clarify, expand, refuse and so on the data already obtained. What is more gratifying, he can describe something new. In this way the scientist is collaborating in a collective enterprise, setting up an intellectual structure that metaphorically can be assimilated to an ever growing building which will never be finished. In this structure any scientist contributes with some creative advance, perhaps only with some grain of sand, some bricks or, more fundamentally, with a corner stone. This building is continuously submitted to alterations: walls are thrown down, new windows are opened to provide more light or to gaze at broader horizons. "Every day the building is raised to a greater height. But nothing of the scientist's personal feelings stays in it. Contrariwise, the artist projects in his work his own style, sometimes, such as in a masterpiece, it leaves in it, as a fingerprint, a track of his own personality which such transparency that its author can be easily identified. The artist remains forever in his creation" (Croxatto).

Anyhow, scientific and artistic works are fruits of man's creativity. Despite their unquestionable differences, both scientific and art creations are equally rewarding and bestow upon scientists and artists the grace to encounter beauty and the "peculiar pleasure not shadowed by satiety, as other desires that perish in their gratification".

## DISCUSSION

DE DUVE

Mr. Chairman, I have nothing of any value to add to what Dr. Croxatto has said. He has presented us with an eloquent and broad canvass of how science should be taught. All I can add is that it is a pity that Dr. Croxatto cannot be cloned into a population of science teachers, because that would solve the problem.

I have one small comment. In my personal experience, and this goes back unfortunately many years, it is not so much the teaching of science that is mainly at fault, as the teaching of history. In my experience, this is too often reduced to political history, which, in itself, is reduced to a very boring compendium of dynasties, wars and dates. I think what is really needed is a broad view of the history of civilisation, or, I should say, of civilisations. I think the discovery of the wheel, of printing, of gravitation, of oxygen, of evolution, of ATP, of DNA, of fission — you name it... — those discoveries are much more important for the history of mankind than even such important events as the partition of the Roman Empire or the Battle of Waterloo.

JAKI

I would like to make two brief comments on two remarks made by Prof. Croxatto. One of them relates to his recall of the stubborn survival in intellectual and pseudo-intellectual circles of the cliché about unsurmountable, radical opposition between science and Christian religion.

Not only is there no opposition when one really looks at the issue, but science — I am talking now about physics — owes its birth to distinctly Christian propositions. One of them relates to the formulation in 14th-century Sorbonne (I already mentioned this yesterday), within a strict theological context, of Newton's first law, the law of inertial motion, which was of decisive importance for Copernicus and, later, for Descartes and Galileo.



The other major point, which for the first time was discussed in my book "The Savior of Science" published two years ago, due to come out in an Italian translation in two or three months, is that the unequivocal, unconditional assertion of a totally ordered, and totally logical, universe is not the gift of the ancient Greeks to modern culture, but the gift of the resistance of the Church against Arius. It is repeatedly to be found in Athanasius' disputes with the Arians. My other remark is really to Prof. Croxatto's brief reference to creation out of nothing. Three years ago I gave a lecture on the inflation of the universe and multiple universe theories at the California Institute of Technology. I have referred to various emphatic statements made by Prof. Guth of MIT, that made headlines repeatedly in the New York Times which quoted him verbatim. According to his claim, he or physicists in general, now are able to produce a universe, in fact universes, literally out of nothing.

Of course this is essentially a philosophical claim. It has nothing to do with calculations. A graduate student who was doing a Ph. D thesis with Prof. Murray Gell-Mann, at the end of the lecture asked for the floor, and said: "Instead of a question, Prof. Jaki, I would like to tell you plainly that you are basically wrong". So I asked "What is my basic error?" He said that my basic error was that when one talked about nothing, one meant nothing. When I asked "And what is wrong with that?", he answered that "nothing is also something".

When we reach, with reference to science, such a confusion of intellectual exchange that we cannot even be sure about the difference between "nothing" and "something", I think we are in a very sorry state.

### MOSHINSKY

I would like to address a more pedestrian issue. The problem of how to communicate science. We have been discussing this in Mexico recently, and one conclusion we came to was that it is not really possible to reach modern science effectively in schools themselves. I mean the curricula can go on more or less as planned; it would be very convenient that once a month chil-

dren or youngsters be able to go to museums especially built for this purpose and receive information and presentations by scientists, or by people capable of presenting things well, and who have a good groundwork in science, and have all the possibilities of the museum at their disposal, so that young people can really see what science is about in a practical manner.

This idea has been implemented elsewhere: I remember a children's museum in Tokyo. I think there is a very good one in Caracas. The main thing is that they be teaching institutions that complement the curricula in the schools.

### GARNHAM

There are just one or two small points I would like to raise. The question of the teachers which the last speaker already mentioned in fact. I would like to point out that the school teachers, that I have been acquainted with, teaching actually in the schools children between 12 and 18, those teachers of so-called science are, in fact, teachers who have failed, in a way, in their subject, in science. They have not been able to go on and complete their work in research. They are usually not very stimulating people.

What I would particularly like to say is that I found Dr. Croxatto's exposition of art and science a very interesting one indeed, and more exact than that of many speakers previously or the day before.

Dr. Croxatto did in fact say that the investigator knows, or thinks he knows, any of the subjects. He didn't mention, and nobody I think has mentioned, that what is discovered today, or is thought to be discovered and understood, in 50 years' time — I forget what the exact proportion is — about 40% of it will be proved to be untrue. I do think it is important to realize this in considering this aspect.

I have much more to say with regard to science and art, but I just mention that there is a very good definition that people don't know too well. Science is dependent absolutely on truth. Art is dependent on the imagination. The two objectives are so

different that I think it is very difficult to make comparisons between them.

REES

I would like to express agreement with Professor Jaki's remarks about the rather pretentious and confusing statements made by some cosmologists, bearing on philosophy.

I think it is most unfortunate that some of those statements get such wide publicity, and there are very complex issues involved, which are not fully brought out in those presentations.

The other point I want to make concerns the presentation of scientific concepts in the media and in schools. It seems to me that physicists can learn from biologists in this respect. Certainly in the media, particularly on television, there has been great success in presenting biological ideas as natural history. Physical ideas are often presented in terms of confusing and even frightening high technology. You see pictures of accelerators and so on, and this makes the picture confusing. It seems to me that a lot of physical ideas could be put over more effectively as natural history, with examples taken from the natural world. To give one example, you can present a lot of physical ideas by looking at water in motion, wave motion and all kinds of things. There may be lessons to be learned from the greater success which our biological colleagues have in presenting their work, than physicists do by perhaps using some of their techniques.

CREUTZFELDT

I would like to take issue with two statements in this excellent lecture. One is science deals with facts but not with values. I think we have to correct our view there.

Biologists can derive value systems from animal behaviour, and can demonstrate that emotions behavioural responses and social relationships have a function in evolution. Even scholastic philosophy uses terms such as laws of nature or natural laws, I think science of the living can now contribute to the discussion of ethical values. The other aspects concerned with beauty of the scientific world. This is true to some extent but it is also untrue. It is one of the big problems in science education

that students don't like to see a dissected body or whatever because it is ugly.

Scientific truths are not always pretty. We even have to admit that truth is not always pretty.

A final comment: there was a sentence to the effect that the neurosciences are unlikely to provide us with information on the nature of consciousness.

Science will certainly provide us with increasing knowledge of the physical conditions of consciousness. It is true that this doesn't explain the contents of consciousness, consciousness as an experience or other subjective aspects of consciousness. But, the physical conditions of consciousness are clearly in the center of the interest of the neurosciences, and this needs to be acknowledged.

#### LEJEUNE

Monsieur le Président, seulement un point de grammaire latine. Monsieur Croxatto a employé le terme "ex-nihilo" et je pense que j'aimerais mieux en latin "ex ipso" car je ne pense pas qu'un artiste soit capable de sortir quelque chose de rien, mais il sort quelque chose de lui-même et de son expérience du monde. Pardon pour cette minutie latine.

#### TOWNES

I simply want to make a little comment about science education. We in the United States have deep trouble I think in the field of science education. I agree very much with Moshinsky about the importance of museums, and also the importance of natural history in general. I think children react to living animals and understanding them and so on in a way that has a very good influence on them, in starting them in their interest in matters of how the universe works.

We have in the San Francisco area four different science museums, each with a very different character, and we think that they are doing a very good job. School children and teachers come in at length. There is another thing that is being tried

both by the museums and, to some extent, by the universities. It is to get research scientists to have meetings with school teachers so that the latter get a first-hand experience or exposure to recent research and science. This gives them a special feeling, and also I think rubs off to the children a little. It means that the children get some feeling of what science is doing now, and even sometimes get to meet some of the scientists doing the things.

That takes some effort, but I think it is a very important effort, particularly for many of the children who are brought up in the cities, and have little exposure to very much formal education in their families. They get interested in what is going on around them through the museums and their teachers, if they have some first-hand experience with research. It gives the teachers themselves a big lift, a feeling that they are in contact with things. It requires an effort but my impression is that it has been very successful.

#### CROXATTO

I will just answer some of the questions and comments. First of all, Professor de Duve a posé une question. Est-ce que vous pouvez me la répéter?

#### DE DUVE

Je n'ai pas posé de question, j'ai simplement fait un commentaire pour dire que je croyais que l'enseignement de l'histoire devait être modifié plus que celui des sciences.

#### CROXATTO

Vous avez raison, je suis de votre avis et c'est tout à fait indispensable de faire, d'introduire dans l'enseignement du professeur de sciences aux écoles secondaires une vision complète de l'histoire de la science. Je crois que c'est le meilleur système de montrer comment l'homme est arrivé à découvrir les choses, la chose merveilleuse de la découverte.

PART IV

CONCLUDING SESSION

## OBSERVATIONS ET REMARQUES

NICOLA DALLAPORTA  
Dipartimento di Astronomia,  
Università di Padova

Je pense que pour formuler quelques observations au sujet du thème général et de ses développements au cours d'une session aussi riche de perspectives il est presque nécessaire, faute de disposer d'un temps plus long, de se fixer sur un nombre tant soit peu réduit de points de vue autour desquels chercher à se concentrer. Je commence donc par m'excuser en vue de toutes les omissions que je n'ai certes pas manqué d'avoir commises; et si l'on voudra bien me passer ces défauts, et se contenter de ce que j'ai pu recueillir, je voudrais focaliser notre thème sur les trois aspects suivants, dont deux pratiques et le dernier théorique:

1) les développements et le rôle joué par la science en fonction de la diversité des cultures et des situations contingentes présentes dans le monde d'aujourd'hui; ce qui correspond au point de vue de la section II de notre réunion;

2) le rapport conceptuel qui passe entre la science et les cultures humaines en raison de leur fonction et de leur nature intrinsèques, ce qui constitue à peu près le contenu de la section III;

3) du fait qu'il ne serait guère possible d'ajouter quoique ce soit aux excellents synthèses présentées par nos collègues dans la section I, je voudrais tenter de tracer un tableau interprétatif des situations discutées, dans l'intention de suggérer, selon un point de vue interdisciplinaire, — ce qui somme toute me semble le but essentiel du thème qui nous fut proposé et qui, tout en offrant une perspective qui n'a guère encore été touchée, constitue le sujet sur lequel j'ai le plus réfléchi —, un schéma possible, apte à préparer les assises d'un pont joignant la rive de la science à la rive ds cultures humaines.

## I - Premier aspect.

On peut dire que la diverse réceptivité à la science des cultures est à la base même des problèmes les plus angoissants que nous vivons aujourd'hui, et la différence du rôle de la science en relation à cette diversité apparaît, d'après les relations de nos collègues à ce sujet, comme provenant de la différence d'état des diverses ambiances au moment présent.

N'ayant jamais eu l'occasion de beaucoup approfondir ce sujet, je ne peux que me limiter à des considérations plutôt schématiques.

Dans son exposé M. Townes a, me semble-t-il, reconduit la situation du monde actuel aux différences selon lesquelles procède l'interaction entre la science et la technologie dans les différentes nations. Les facteurs qui déterminent cette interaction sont multiples, en dépendance des formes de gouvernement, des intentions utiles ou erronées selon lesquelles est conçu le développement de la science, et des réalisations spécifiques dans divers pays qu'il est impossible de rapporter dans leur détail. Et l'effet résultant de la diversité de ces facteurs dans les différents cas s'est manifesté dans le tragique déséquilibre de niveau économique qui sépare aujourd'hui les pays développés du tiers-monde.

Une des causes principales responsable de la différence d'état des diverses ambiances humaines est indubitablement d'ordre historique. Ceci ressort immédiatement des considérations du Prof. Moshinsky, relatives au Mexique et à l'Amérique de Sud, et de quelques observations du Prof. Chagas sur le même sujet. Le fait d'avoir été pendant des siècles des colonies ibériques les a placées, dans une situation qui se ressent d'un certain retard dans le développement culturel des pays ibériques mêmes par rapport au monde anglo-saxon, et leur essor scientifique, après un début de démarrage à la fin du second conflit mondial, s'est trouvé de nouveau entravé par un accroissement subit de population et une dette croissante envers les pays développés.

Une cause ultérieure, pour d'autres régions de la planète, est non seulement historique, mais surtout sociale et religieuse, du



fait que, depuis leur origine, ces terres ont été soumises à des conceptions de vie entièrement diverses par rapport à celles du monde occidental; conceptions qui donnaient beaucoup moins de poids aux contingences terrestres et une importance beaucoup plus grande à la dimension transcendante qui régit l'univers; situation qui se manifeste de toute évidence dans l'Inde, l'Extrême-Orient, le monde islamique et, comme l'affirme M. Malu, pour les nations africaines.

Ces situations, que je me garderais bien de vouloir rabaisser, et que même je considérerais souvent comme spirituellement et moralement supérieures à la nôtre, ont eu cependant l'effet de réduire sensiblement le niveau de la vie sociale et le pouvoir économique de ces mondes, comme le montre clairement la relation de M. Salam, ce qui les a rendues dépendantes du monde occidental, créant ainsi l'opposition entre le tiers-monde et l'ensemble des états avantagés, ou en termes à peu près équivalents, entre le sud et le nord.

Par là se dessine naturellement la profonde différence d'orientation au sujet de l'usage qui peut se faire de la science, selon que le problème est vu du nord ou du sud, comme on s'en rend compte en comparant les contributions de M. Rubbia avec celles de Salam et de Moshinsky. Selon la perspective nordique, la science doit être dirigée, en ce qui concerne la recherche fondamentale, vers les buts les plus lointains, les plus abstraits, et malheureusement aussi les plus coûteux, — tels que les grands accélérateurs de particules et la physique de l'espace —, mais destinés sans doute à provoquer une solidarité autant internationale qu'humaine, accrue en fonction même de l'ampleur des difficultés à surmonter, en vue d'une acquisition scientifique conceptuelle, réalisée grâce à une recherche technique poussée jusqu'aux plus grands raffinements; et j'ajoute quant à moi, en ce qui concerne la recherche appliquée, vers les moyens de plus en plus sophistiqués pour rendre la vie de plus en plus artificielle, luxueuse et rapide, — ce qui, selon M. Chagas, caractérise une façon de vivre mais non une culture —; alors, que d'après la perspective du sud, tout en exigeant justement, selon Salam, une active participation à la recherche fondamentale, comme stimulant en vue d'une capacité inventive accrue, l'effort scienti-

fique essentiel doit se concentrer sur les techniques et les branches appliquées normales, en vue d'élever le potentiel de nutrition et de logement de millions d'individus d'un niveau infra-humain à un minimum compatible avec la dignité humaine.

Or ces deux tendances, — tout en pointant évidemment vers un but commun sur une longue échelle, en tant que dirigées toutes deux vers des améliorations de la condition humaine, une sur le plan du savoir et l'autre sur celui de la vie journalière —, risquent d'entrer en compétition, — et par là d'élever un obstacle en vue des perspectives futures qu'il est sans doute regrettable mais peut-être nécessaire de prévoir —, si de trop vastes projets de développement venaient à se heurter à des limites dictées par la finitude des biens matériels et énergétiques de notre planète. Je ne suis certes pas en état de dire jusqu'à quel point et avec quelle vitesse nous approchons de ces limites, mais vue l'ampleur toujours croissante des différentes aspirations, il pourrait être à craindre que nous n'en soyons pas trop loin. Et dans ce cas il pourrait bien être que de trop vastes projets réalisés par le nord puissent porter à la régression des initiatives pour satisfaire aux besoins du sud, ce qui équivaldrait à rendre encore plus large le gouffre qui aujourd'hui existe entre ces deux parties de l'humanité. Il pourrait arriver un moment où le nord pourrait se trouver forcé à se limiter dans son expansion afin que le sud puisse croître. Et une telle option, si douloureuse dût-elle paraître pour une Académie des Sciences fortement intéressée à pousser aussi loin que possible les recherches des causes ultimes, correspondrait en quelque sens à sa qualification de pontificale, laquelle, — noblesse oblige —, doit forcément la convoyer à considérer l'obtention de la pleine dignité humaine pour ceux qui en sont encore privés comme le but qui, pour elle, doit primer toute autre chose.

Je voudrais encore ajouter, en me référant à la longue discussion qui a fait suite à la proposition du Prof. De Duve, qu'un acheminement vers une équipartition des biens entre le nord et le sud conduirait, comme corollaire encore plus important, vers une atténuation du problème démographique, du fait, comme l'ont remarqué MM. Chagas et Germain, qu'une aug-

mentation de bien-être porte automatiquement à une diminution de la natalité. De la sorte, on pourrait bien dire qu'une politique de générosité des états développés à l'adresse du tiers-monde constituerait en même temps une soupape de sûreté en vue de leur propre survivance.

## II - Second aspect

Passant maintenant à la seconde partie de mes observations, relative au rapport intrinsèque entre la science et les cultures humaines, il peut convenir avant tout de mettre en évidence certains points saillants, qui peuvent constituer des recommandations générales. On peut les subdiviser en deux groupes principaux qui se focalisent autour de deux attitudes définies:

1) un sens de respect, aussi bien pour toutes les cultures humaines que pour la science, qui se manifeste dans diverses affirmations convergentes: ne pas vouloir mélanger les diverses cultures humaines et scientifique, en risquant par là d'altérer leur originalité; c'est-à-dire ne pas tenter de les homogénéiser en les sous trayant aux influences locales qui leur confèrent leurs caractères particuliers. Ceci implique d'avoir l'oreille tendue et l'esprit ouvert en vue de les comprendre toutes et de les apprécier malgré leurs différences par rapport à la nôtre;

2) une exigence d'unification, dérivant du fait que l'intensité des communications entre les diverses portions du monde enlève aujourd'hui tout sens à un retranchement qui, pour conserver intacts les caractères de sa propre ambiance, tende à vouloir s'isoler; par là une solution au problème des rapports entre les différentes cultures ne peut être que global à l'heure actuelle.

Or la seconde de ces deux exigences pointe naturellement à préparer la voie vers une culture universelle, qui par là deviendrait en sens absolu «la culture»; ce qui semblerait conduire à une conclusion diamétralement opposée à la première recommandation, celle du respect et de la conservation des différentes cultures.

Or, comme l'a particulièrement souligné M. Pullmann, les cultures dont il s'agit, c'est-à-dire la culture scientifique d'une

part, et les cultures humanistes, philosophiques et religieuses de l'autre, sont, à cet égard, douées de caractéristiques diverses. D'un côté, la culture scientifique possède déjà une unité planétaire, du fait qu'elle se fonde sur les mêmes assises pour toutes les sciences et pour tous les pays; par contre, au premier abord, les cultures humanistes, semblent se différencier l'une de l'autre par une profusion de particularités qui paraîtraient à priori dérouter toute tentative d'unification.

Pourtant, et bien que ce soit sur la base de ces particularités mêmes qu'ont pris naissance les problèmes pratiques discutés dans la partie précédente, celles-ci néanmoins, à un niveau sous-jacent, se révèlent comme étant beaucoup plus de surface que de fond; du fait qu'en dessous de leur multiplicité, on peut aisément mettre en lumière des grands principes d'unification, qui tout en se laissant revêtir d'aspects différents, n'en représentent pas moins des valeurs universelles communes à peu près à tous les peuples de la terre; telles sont en premier lieu les valeurs morales, fondamentalement les mêmes dans toutes les civilisations dignes de ce nom; ce qui ne doit nullement étonner, du fait qu'en deuxième lieu, la perspective éthique, loin d'être arbitraire, reçoit son universalité, comme impératif catégorique si l'on veut, du fait de reposer sur des Verités métaphysiques qui, — sur la base d'adéquates interprétations compétentes se poussant au fond des choses et permettant par là de se rendre compte de leur unité profonde de conception —, apparaissent comme un bien commun de la nature humaine, et par là comme universellement valables et présentes à la base de toutes les grandes religions traditionnelles — Christianisme, Hébraïsme, Islamisme, Hindouïsme, etc. —, Verités que l'on désigne parfois sous le nom de «*philosophia perennis*».

Naturellement l'approfondissement d'un tel sujet serait tout à fait en dehors de notre perspective, et je ne l'ai mentionné qu'en vue du fait qu'il nous permet d'affronter le problème des rapports de la science et des cultures humanistes en le scindant en parties distinctes.

Commençons par laisser de côté tout ce qui se rapporte aux particularités des différentes cultures, qui, selon Chagas, donnent à chaque pays ou région son identité; nous pouvons

alors, en vue de l'exigence d'une unité conceptuelle du savoir, nous concentrer sur les relations entre deux points de vue également universels; la science d'une part, et de l'autre l'éthique et les Vérités métaphysiques; à mon avis, c'est bien là le problème de fond sur lequel doit se fixer notre attention; une fois clarifié ce rapport entre ces deux principales modalités du savoir, il n'en sera que plus facile de le transférer à l'égard des diverses formes des humanismes culturels en ce qu'ils ont de plus fondamental.

---

Je pense que l'avoir réduit les aspects humanistes de la connaissance à leur base éthique et métaphysique permette de rapporter la discontinuité et le manque de relations qui se manifeste aujourd'hui entre la science et les cultures humaines à leur racine même historique.

Il est aisé, en effet, de faire remonter l'origine de cette scission jusqu'aux débuts du XVII<sup>ème</sup> siècle, alors que Galilée adoptait la perspective cosmologique copernicienne; qui selon une exégèse restrictive et littéraliste pouvait sembler en contradiction avec certaines affirmations de l'Écriture; Galilée, qui était sincèrement croyant, avait, comme on peut aisément le constater dans sa lettre à Christine de Lorraine, parfaitement compris la nature réelle du problème, et proposé une interprétation tout à fait équilibrée au sujet des rapports entre les domaines de la science et de la foi, basée sur le sens analogique et symbolique des affirmations scripturaires. Que l'Église de l'époque, pour le malheur du monde chrétien, n'ait pas perçu l'esprit de cette solution, et se soit obstinée à refuser une conciliation intelligente des deux points de vue, constitue non seulement une erreur de jugement, reconnue et déplorée par l'Église d'aujourd'hui, mais aussi une erreur de conduite, à laquelle se rattache directement la dichotomie entre le monde de la religion et celui de la science, largement payée par une forte augmentation du scepticisme religieux et de l'athéisme.

En fait, sitôt que les événements sociaux et politiques de la fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle ont consenti le développement d'une

pensée sans entraves, celle-ci s'est fait en quelques sorte un point d'honneur non seulement de se montrer entièrement indépendante de toute influence religieuse, mais aussi d'affecter une certaine déconsidération pour toute espèce de savoir qui ne relevât de sources se rapportant soit à l'expérimentation soit à la rationalité logique. Et l'énorme emprise de cette forme de pensée sur la mentalité courante du XIX<sup>ème</sup> siècle et d'une bonne partie du XX<sup>ème</sup> ont eu comme effet de compléter l'approfondissement de la fissure.

Par là, le revêtement de rationalisme hérité de la pensée grecque et adopté par la théologie médiévale comme soutien et élément probatif de ses Vérités, et revendiqué à son tour de façon exclusive comme caractéristique de la pensée scientifique, a fini par se révolter contre sa fonction première de support de la foi, pour donner lieu à une rupture qui, en l'absence d'un recours aussi intensif à cette arme dialectique et au littéralisme interprétatif, ne se serait peut-être jamais produit.

---

Et c'est à mon avis sur la constatation de cette rupture entre les deux domaines scientifique et humain que doit se peser l'influence que la science peut exercer de nos jours sur les différentes cultures.

Je ne pourrai guère m'arrêter sur un premier aspect de cette influence, qui regarde l'enseignement, du fait que déjà M.M. Blanc-Lapierre et Croxatto qui s'en sont principalement occupés ont clairement marqué leurs point de vue, lesquels, l'un et l'autre, quoique de façon en quelque manière opposée, reflètent la présence de cette rupture en amont de leurs considérations. Celle-ci en effet se manifeste chez Blanc-Lapierre, sur la base des fréquentes déformations de l'information par les mass-média et le manque d'une formation scientifique sérieuse chez nombre d'enseignants, par une certaine insistance à bien marquer la spécificité de la science qu'il faut préserver contre toute sorte d'intrusions; alors que M. Croxatto lamente au contraire, du moins relativement à la situation du Chili et de l'Amérique du Sud, la polarisation de la culture scientifique sur la présentation

purement informative de données et sur le manque de contacts avec les autres branches du savoir.

Mais c'est surtout au sujet de la nature intrinsèque du rapport entre les domaines scientifique et humain que se manifeste la plus grande variété d'idées et que les positions paraissent le plus fortement se différencier chez nos collègues. Un extrême de l'éventail d'opinions est représenté par M. Blanc-Lapierre, qui, comme je viens de le rappeler, semble désireux de distinguer nettement la science de tout autre domaine, à tous les niveaux de la société et dans la vie intérieure même de tout homme de savoir, du fait que l'appréciation morale des applications de la science relève de considérations extrascientifiques.

Certaines positions de nuances parfois variées, considèrent comme inévitable l'interférence du domaine éthique dans l'évaluation de certains avancements techniques de la science mettant en jeu la responsabilité de l'homme à l'égard de l'avenir de la société humaine. A ce sujet, M. Polanyi se pose un nombre de questions de comportement auxquelles il est évidemment impossible aujourd'hui de pouvoir répondre de façon générale, alors que M. Pullman insiste sur le rôle des individus et des formes de gouvernement comme éléments directeurs de l'avancement scientifique.

Une position très nette à ce sujet est prise également par M. Chagas, qui, en rappelant que les découvertes de la science sont utilisées souvent en vue d'armements de plus en plus mortels, affirme catégoriquement que science et technologie ne sont valables qu'en vue du bien de l'homme, ce qui évidemment implique une incidence marquée de l'éthique pour la direction du développement scientifique.

Une perspective assez particulière est celle de M. Germain, qui affronte le problème des rapports entre causalité et finalité, concepts qui selon lui caractérisent le premier le domaine de la science, et le second ce qui est en dehors de ce domaine. Du fait que certaines disciplines mettent en évidence des séries causales qui paraissent converger vers un but, comme si elles semblaient répondre à un plan fixé d'avance, un certain nombre de penseurs semblent y voir une sorte de transition continue de la causalité à la finalité; M. Germain, au contraire, soucieux de

marquer une nette discontinuité entre la science et les autres formes du savoir, estime qu'au lieu d'un passage continu entre ces deux points de vue, on assiste à un renversement complet de l'un à l'autre, sinon dans le temps, du moins dans le cheminement de la pensée, au moment où l'on quitte la science pour considérer ces autres formes.

### III - Troisième aspect

A mon avis, tout en tenant en due considération la requête de ne point perdre de vue les délimitations précises qui constituent actuellement le domaine de la science, c'est néanmoins la recherche de ponts vers le domaine éthique et métaphysique, qui à mon avis constituent l'intention de fond du thème proposé pour cette session. Et c'est là-dessus que je voudrais concentrer notre attention, comme une première étape en vue d'une compréhension générale des problèmes envisagées.

Dans ce but, rapportons-nous aux résultats des contributions d'analyses scientifiques, du fait que c'est essentiellement de la part de la science du XX<sup>ème</sup> siècle qu'on peut aujourd'hui s'attendre à des prises de position aptes à rejoindre la rive métaphysique de la connaissance, et de nous acheminer vers une compréhension plus complète du monde qui nous entoure, ne laissant rien de côté de tout ce que nous expérimentons, autant dans le monde extérieur, avec nos sens et notre logique, que dans la richesse de notre monde intérieur humain.

J'oserais donc dire, si l'on me permet la simplification suivante, qu'à partir de l'antiquité grecque, deux conceptions du monde se sont opposées l'une à l'autre: l'une de provenance platonicienne fortement rattachée aux assises de la métaphysique, basée sur la vision que faits et phénomènes du monde corporel ne sont que le reflet d'idées ou archétypes appartenant à un monde spirituel, doué d'une valeur causale et ordnatrice par rapport au premier; l'autre, celle de Leucippe et de Démocrite, que ce même monde des corps, formé d'atomes originellement distribués au hasard, est dominé par des lois déterministes, sans qu'il soit requis de ne rien invoquer d'autre pour le fonc-



tionnement du cosmos. Or, si dans l'antiquité c'est la vision platonicienne qui s'était imposée jusque vers la fin du Moyen-Age, nous voyons s'affirmer graduellement dans les temps modernes, par la suite des effets de la dichotomie science-religion, le modèle de Démocrite comme rendant compte de la nature du monde corporel; modèle qui se parachève à la fin du siècle dernier dans la conception positiviste du monde et qui dans sa vision essentiellement mécaniciste se résume; dans le réductionnisme: un problème à  $n$  corps se réduit à la somme de  $n(n-1)/2$  interactions à deux corps; dans le déterminisme: le futur est entièrement déterminé par le passé; et dans la réversibilité du temps: rien ne change si on invertit  $t$  en  $-t$ . Et si les développements de la thermodynamique probabiliste et la découverte de son Second Principe introduisaient une composante dans le cadre du monde non incluse dans les précédents axiomes, l'intérêt se concentrerait exclusivement sur les processus tendant à l'état d'équilibre correspondant au maximum d'entropie.

Or, il est facile aujourd'hui de se convaincre que cette vision à la Démocrite était due essentiellement d'un côté à un manque de connaissances approfondies au regard d'un certain nombre de phénomènes, et de l'autre à un certain parti-pris de vouloir à priori enfermer le monde dans l'angle visuel de la philosophie positiviste. Les insuffisances d'une telle perspective se sont graduellement manifestées en diverses étapes dont je me limiterai à ne commenter, du point de vue du physicien, que les plus saillantes.

---

M. Weiskopf a bien souligné la révolution conceptuelle introduite par la mécanique quantique; les relations d'indétermination enlèvent tout sens physique à la notion de trajectoire d'un corpuscule.

Par ailleurs, le probabilisme qui s'impose comme technique permettant des prévisions quantitatives a un tout autre sens que le hasard chaotique de la conception de Démocrite, puisqu'il ne s'introduit que comme méthode dans le traitement de problèmes trop complexes pour être suivis dans leur détail, ou en tant

qu'il traduit l'impossibilité pour notre cerveau de se former une image intuitive des entités physiques à l'échelle atomique.

Mais le coup le plus décisif porté à la vision mécaniciste se développe à partir de 1960, dans la théorie des catastrophes et du chaos déterministe, du fait que ce n'est plus seulement au niveau du monde atomique, mais bien dans les phénomènes macroscopiques mêmes que l'indéterminisme se manifeste, du fait que la présence de termes non linéaires dans les couplages des équations du mouvement conduit à l'instabilité asymptotique des trajectoires, dont les conséquences immédiates sont la non exacte déterminabilité des mouvements, la non réductibilité des interactions à leurs composantes à deux corps, et enfin la non réversibilité du développement temporel. En plus le passage des systèmes thermodynamiques clos aux systèmes ouverts permet de constater et de comprendre la transition d'un état de désordre à un état d'ordre, en fonction des valeurs d'un paramètre extérieur.

A ce point, il peut déjà paraître évident que la vision mécaniciste du monde ne puisse plus se considérer que comme une survivance qui se soutient uniquement par la force de l'habitude, mais dont tous les résultats récents de la science démontrent aujourd'hui le confinement. Et vu que nous sommes portés à penser par images, il peut paraître urgent, étant données les répercussions que ces images exercent sur d'autres compartiments de la pensée, de substituer, à la conception positiviste du monde, une vision alternative qui rende compte du moins de certains de ses caractères jusqu'à présent plutôt négligés. Je me propose ici d'en présenter une qui sans doute paraîtra fort peu orthodoxe selon notre façon courante de considérer le monde physique, mais dont le mérite, si elle en a, sera de consentir un grand rapprochement avec le point de vue métaphysique, ce qui sans doute n'est pas à sous-estimer, si notre intention est de chercher à lancer des ponts qui fassent communiquer les rives physique et métaphysique du cosmos.

Si comme nous l'avons constaté tantôt, il est impossible pour notre cerveau de se former des images intuitives des entités physiques à l'échelle atomique, ce qui rend énigmatique la nature de la substance de base dont est constitué le monde,

l'intérêt physique réel, du fait de cette énigmaticité même, tend à se porter aujourd'hui de ce qui autrefois constituait le «modèle» de la matière, tels que ceux de Rutherford, de Bohr-Sommerfeld, ou de de Broglie-Schrödinger, à ce qui lui impose ses caractéristiques, c'est-à-dire en quelque sorte aux «idées platoniciennes» qui sont censées piloter la substance à partir d'en haut.

Ces «idées», qui a priori ont un rôle «intensif» selon la perspective de Weiskopf, sont essentiellement conçues comme symétries, qui de fait ne constituent pas une nouveauté. Sans même vouloir mentionner les grandes symétries classiques sous la forme de propriétés d'invariance, à chacune desquelles correspond la conservation d'une grandeur physique, l'exemple le plus saillant nous en est fourni par le principe d'exclusion de Pauli, — totale antisymétrie de la fonction d'onde de tous les électrons d'un certain complexe —, qui leur impose des restrictions entièrement incompréhensibles du point de vue classique. Et par là, la forme mathématique même assume le rôle d'une idée a priori dans le sens platonique, qui, telle une essence préexistante, imprime, à partir d'en haut, ses caractères à la substance par elle-même amorphe.

L'idée des symétries comme régulatrices suprêmes de l'univers a pris son plein essor dans la physique des particules, où elles jouent non plus seulement sur l'espace-temps ordinaire, mais sur les espaces intérieurs du monde corpusculaire, espaces de la charge, du spin isotopique, de l'étrangeté, etc.; et par là, dans les combinaisons des diverses interactions fondamentales, que l'on espère pouvoir réduire, dans le domaine des très hautes énergies, à une «supersymétrie» universelle. La multiformité, la variété et la beauté de la nature proviennent alors des ruptures ou violations des symétries, qui se multiplient au fur et à mesure que la température s'abaisse, et qui, dans les conditions où nous sommes, confèrent au monde les reflets des «idées» contenues dans l'esprit qui les a coordonnées et appliquées à la substance concrète, dont la seule admission constitue un pont de considérable importance jeté par la science vers un des aspects fondamentaux de la métaphysique.

Si nous nous permettons de considérer un atome comme la réalisation d'un archétype inclus dans le principe de Pauli, ne

peut-il paraître assez évident d'étendre ce genre de correspondance à des ensembles de substance ou d'atomes plus amples, tels que les groupes qui se coordonnent entre eux dans les phénomènes de chaos déterministe, et, dans cette coordination font apparaître un ordre, lequel dans chacun des cas peut de nouveau s'interpréter comme une idée qui, préexistente dans le domaine «idéal», est appelée par les lois physiques à se réaliser dans le domaine concret? De semblables extensions consentiraient de généraliser la relation qui se manifeste entre le monde des corps et le monde des idées, en pleine consonance avec le point de vue métaphysique.

---

En ce qui concerne la cosmologie, Rees a fait sentir, dans son excellent tableau sur l'évolution de notre univers, tel qu'il ressort des inductions qui se font à partir des données clairement observables à l'heure actuelle en direction de ce que l'on croit pouvoir déduire comme ayant été ses conditions passées, que tels prolongements à rebours jusqu'à des fractions de seconde inimaginablement petites à partir de l'origine, finissent par avoir un sens plutôt mathématique que physique. En particulier une des principales limitations imposées aux possibilités de connaissance de la cosmologie scientifique consiste dans une extrapolation des lois physiques à des conditions de temps, de densité et de température qui jamais ne seront susceptibles de vérification expérimentale directe. Par là, je suis enclin à penser que les théories, telles que la cosmologie inflationnaire pour expliquer l'origine de l'univers physique, ne soient pas beaucoup plus que de simples schémas logiques, cherchant à coordonner un certain nombre de données, tracés selon nos habitudes mentales, et qui passent insensiblement du domaine physique à une vision pseudométaphysique, — c'est-à-dire non vérifiable en physique, mais sans rapport également avec la métaphysique vraie —, qui n'a guère plus de chances d'englober la réalité que n'en ont eu certains modèles interprétatifs de la physique microscopique.

Par là, en matière de cosmologie, l'ouverture la plus manifeste à l'égard du domaine métaphysique et humain se situe dans la perspective, admirablement discutée par Rees, qui, si douteuse puisse-t-elle paraître à certains, n'en offre pas moins des modalités de contacts vers d'autres branches du savoir que l'on était loin de soupçonner il n'y a de cela que quelques dizaines d'années. Alors, le point de vue copernicien, selon lequel l'insignifiance de la planète Terre par rapport à l'immensité du monde des étoiles et des galaxies dépossédait l'être humain de toute prétention à un rôle cosmique, apparaissait comme étant de toute évidence. Aujourd'hui, la perspective anthropique, — je me limite par brièveté à celle que l'on appelle forte —, a pour le moins rendu problématique cette prétendue insignifiance de l'homme.

Quelle que puisse être l'exacte nuance de la pensée selon laquelle on la considère, on ne peut que rester profondément surpris du fait que les constantes fondamentales physiques sont exactement telles qu'elles permettent la formation de tous les mécanismes sur lesquels est greffée la vie; alors que toutes les coïncidences pour y parvenir seraient déphasées ou carrément inhibées pour peu que ces constantes changeassent de valeur, ne fût-ce que de quelques pourcents; et ceci pourrait laisser soupçonner l'émergence d'une intention à priori en amont de la constitution du cosmos.

Il est connu que pour parer à ce que la majeure partie des physiciens considèrent comme l'intrusion d'une idée non causale dans le domaine physique, on a voulu inventer diverses théories, basées sur des postulats d'ordre statistique, d'où peuvent découler un nombre infini d'univers, chacun desquels a des lois physiques douées de constantes fondamentales qui peuvent prendre toutes les combinaisons possibles de valeurs; et du fait que pour toutes les autres combinaisons la vie ne peut se réaliser, il était forcément nécessaire que nous naissions dans le seul univers doué des justes valeurs des constantes; de sorte que l'intention se réduit au jeu de hasard dont sont jaillis les infinis univers. Ce dont on ne semble pas se rendre compte en recourant à ce genre d'explication, c'est que pour éviter une apparence de finalité, on fait appel à une hypothèse statistique

que rien ne prouve aujourd'hui, et qui, dans le plus favorable des cas, ne pourra l'être que dans quelques milliards d'années, ce qui à mon avis la rend pseudoscientifique, — pour peu qu'on se rappelle que la physique est une science expérimentale —, et dénuée bien entendu de toute métaphysique valable. Alors, si pour justifier le principe anthropique il faut en tous cas se rapporter à une explication non-physique, n'est-il pas infiniment plus simple d'avoir recours à la métaphysique vraie que d'inventer une pseudométaphysique?

Du reste, nous sommes bien obligés de constater que dans le domaine de la pensée et des actions humaines, la causalité et la finalité ont des rôles d'une importance comparable: avoir édifié la science uniquement sur la causalité en excluant la finalité peut trouver, bien sûr, un certain nombre d'explications: cependant, il est permis aujourd'hui de se demander si une telle restriction n'ait pas confiné à priori le domaine du savoir: en effet, si dans les problèmes physiques les plus simples, tels que le pendule et l'orbite newtonienne des deux corps, la seule causalité est pleinement suffisante pour entièrement déterminer la trajectoire, son rôle devient de moins en moins évident, et en quelque sorte de plus en plus "idéologique", au fur et à mesure que croît le nombre de corps en interaction, ou, en termes plus généraux, que croît la complexité, en même temps qu'une intention finaliste semble se rendre de plus en plus perceptible; par là, la finalité pourrait se révéler comme une sorte de raccourci conceptuel permettant d'interpréter plus aisément des situations où l'entrelacement des causes rend le problème pratiquement insoluble.

J'aimerais souligner que selon cette façon de voir, l'opposition que marque M. Germain entre une transition par continuité et une transition par renversement dans le passage de la causalité à la finalité se transforme ici en superposition concordante de ces deux procédés. A mon avis, en effet, il y a continuité dans la variation de prédominance de l'un à l'autre de ces deux pôles au fur et à mesure de l'augmentation de la complexité de problème, et par là, dans le passage du domaine scientifique aux autres domaines; et en même temps renversement, du fait que la finalité a un rôle complémentaire à celui de la causalité, dans le

sens que la focalisation sur l'un de ces points de vue empêche la focalisation sur l'autre.

Par là je considère que le Principe anthropique, par une ouverture de ce genre, pourrait offrir les assises de bases d'une jetée de première envergure vers les sciences humaines et religieuses.

---

A ce point, il peut paraître assez évident que l'idée des archétypes comme clef de la structure du monde physique, et de la finalité comme possibilité interprétative du cadre cosmologiste, dictent tout naturellement à un physicien-cosmologiste une vision de la biologie et de la paléontologie essentiellement basée sur ces mêmes concepts. Si pour un physicien l'atome peut se présenter comme concrétisation du principe-idée d'exclusion, quoi de plus naturel que de penser que chaque type, classe, espèce d'êtres vivants ne soient également que des reflets de formes préexistantes dans l'ordre des possibilités?

Naturellement, une distinction s'impose: si les réalisations corporelles des prototypes atomiques ont existé, pour ainsi dire, de toute éternité, il n'en est évidemment pas de même des prototypes biologiques. Ceci signifie simplement, à mon avis, que si les archétypes, en tant qu'idées, ont une réalité indépendante du temps, ceci ne signifie nullement qu'ils doivent tous se réaliser avec la même fréquence et dans les mêmes époques, et indique que les circonstances qui permettent d'en faire apparaître ou d'en supprimer ou même de ne jamais réaliser leurs concrétisations dans le domaine matériel peuvent dépendre de phénomènes que nous sommes peut-être encore loin d'avoir compris.

Quant à la finalité comme force directrice de toute structure douée de vie, elle paraît tellement évidente qu'on est étonné par les efforts considérables qui sont faits pour chercher à la reconduire à des associations de causes moléculaires ou organiques d'une telle complexité qu'il est à priori assez probable, — et peut-être, Lejeune voudra bien nous dire sa pensée à ce sujet —, que jamais l'intelligence humaine ne sera en état de les démêler.

J'ose penser que le tableau interprétatif que je présente n'altère en rien les beaux résultats que nous ont présentés M. De Duve au sujet de la cellule unique dont sont dérivés tous les développements successifs, et M. Lejeune au sujet de la différenciation génétique des deux sexes dans les types et classes supérieurs du règne animal. Et malgré mon incompétence en ce domaine, je ne puis m'empêcher de remarquer que ces résultats, complétés par l'observation de M. Arber qui, si je l'ai bien comprise, souligne la possibilité de mutations qui ne semblent pas dues au hasard, convergent tous dans un sens qui tend à mettre de plus en plus en doute le fameux binôme de Monod.

Les divers exemples auxquels je me suis référé sont en état de donner, je crois, une idée suffisante sur les ouvertures que la science d'aujourd'hui est en état d'offrir comme points d'entente avec tout ce que j'ai synthétisé sous le nom de métaphysique. Et je pense qu'une continuation tant soit peu systématique du travail de l'Académie Pontificale des Sciences dans cette direction puisse constituer un but correspondant bien à l'esprit de notre Institution.

---

A mon avis, ce qui ressort de cet examen, c'est que, sous les effets des restrictions mentales imposées par le positivisme, un des aspects les plus profonds de la science, relatif à ce que je voudrais appeler les «dessous» des phénomènes, au cours de près de deux siècles a été profondément négligé; et que cette négligence est à la base même de cette dichotomie, qui paraît aujourd'hui bien artificielle, entre la science d'une part et la métaphysique de l'autre, puisque les nouvelles émergences scientifiques, dont j'ai illustré quelques exemples, bien loin d'accentuer cette cassure, marquent au contraire une continuité profonde entre les divers niveaux du cosmos, du fait que le spirituel transparait dans le corporal, et le corporal se manifeste comme symbole du spirituel.

La cassure qu'aujourd'hui nous essayons de surmonter n'est point due à une diversité intrinsèque inhérente aux choses, mais uniquement à deux différentes modalités dans la façon de



les envisager. Et pour se rendre compte des différents rôles de ces deux modalités, je voudrais proposer le schéma suivant, apte à en donner une idée analogique. Si la totalité de l'univers est symboliquement représentée au moyen d'un modèle dans lequel le Principe Suprême, — de l'existence duquel nous ne pouvons douter, quel qu'il soit —, occupe le centre, alors que les différents domaines, du niveau spirituel au niveau corporel, forment l'un autour de l'autres des sortes d'enveloppes concentriques, un esprit humain quelconque situé sur un point de ce schéma, vient à posséder deux modalités diverses de motilité pour en prendre connaissance: soit en se déplaçant en sens horizontal le long de l'enveloppe corporelle; et ceci constitue la méthode scientifique, qui met en rapport des phénomènes sur un même niveau au moyen de relations quantitatives; soit en s'élevant verticalement à partir du plan corporel le long d'un rayon qui le reconduise en haut, en traversant les domaines interposés, jusqu'à s'approcher du Centre même: et ceci constitue la voie de la connaissance métaphysique, dont le fil conducteur est révélé par les aspects qualitatifs des choses, et par les valeurs esthétiques et morales. Ces deux diverses modalités, loin de se contredire, sont entre elles complémentaires, dans le sens de se compléter réciproquement, sans pourtant que l'une soit en état de donner des informations sur l'autre: la vision verticale, métaphysique, basée sur l'intuition intellectuelle, fournit à priori la structure de base des différents plans du cosmos, en les reliant au Suprême Principe dont ils dépendent, mais ne nous dit rien au sujet des détails du fonctionnement de chacun, pas plus qu'elle n'explique leurs moyens réciproques de liaison; la vision horizontale scientifique au contraire, basée sur l'expérimentation et la logique, permet de découvrir tous les détails du fonctionnement du monde matériel, mais, en vertu même des axiomes sur lesquels s'appuie sa propre méthode d'investigation, elle n'est pas en état, ni d'outrepasser les limites que de par elle-même elle s'impose, ni de rien pouvoir nous dire au sujet des enveloppes non-corporelles du monde, ni tant soit plus sur les natures profondes de l'être humain et du Principe Suprême dont tout dépend. Il va sans dire qu'à l'exception d'une science purement expérimentale se développant uniquement

dans le sens horizontal, et d'une connaissance purement métaphysique se déplaçant seulement dans la direction verticale, toute autre science ou connaissance doit forcément s'étendre pour être complète dans les deux directions d'avancement, et posséder deux points de vue explicatifs, l'un horizontal et l'autre vertical, en apparence sans rapport, mais fondamentalement complémentaires en vue d'une compréhension intégrale.

Ceci cependant n'exclut en aucune façon certaines interactions entre les deux domaines, qui peuvent se manifester du fait que les déplacements en direction horizontale dus à quelques développements scientifiques peuvent avoir des répercussions sur le sens le long duquel s'effectuent les déplacements en direction verticale. Or, les deux sens des mouvements verticaux sont loin d'être équivalents, du fait que l'impératif moral inhérent à notre nature humaine, exige que nous nous élevions vers le Centre et non que nous descendions vers la périphérie. Et c'est un tel genre d'interaction qui peut fortement conseiller, alors qu'à priori on pourrait croire qu'il n'en est rien, d'imposer certaines restrictions à tous les développements en sens horizontal qui pourraient contribuer à nous éloigner du Centre.

Le complémentarisme d'information des deux genres de connaissance, consiste à se baser sur la vision métaphysique en ce qui concerne la structure générale du cosmos, et de se servir de la méthode scientifique usuelle pour en remplir les détails, permettant de s'en faire une image cohérente et possiblement assez complète. La transition d'un point de vue à l'autre se fait simplement par un changement de perspective, mais il est indispensable, sitôt que l'on se place dans l'une, de ne pas oublier l'existence de l'autre. Ce n'est que par l'intégration de ces deux modalités de connaissance, dont la science dans le sens usuel ne constitue que l'une des moitiés, que l'homme peut véritablement aspirer à une connaissance intégrale. Et c'est seulement, à mon avis, dans l'interaction de ces deux dimensions, orthogonales l'une à l'autre, qui aujourd'hui se manifeste dans nombreux problèmes, que l'homme est à même de réaliser la plénitude de sa double fonction, laquelle exige de lui que tout en posant solidement ses propres pieds sur la terre, il ne perde pas de vue la direction qui mène en haut.

J'ose penser que, tout en s'exprimant de façon quelque peu différente, MM. Leprince-Ringuet, McConnell et Croxatto ne soient pas loin de cette manière de voir; comme représentations de la direction verticale, Leprince-Ringuet se réfère à de nombreuses qualités essentiellement morales, tandis que McConnell considère en particulier la beauté; et Croxatto, en plus, la nette distinction de signification et de portée entre le monde 1 et le monde 2 de Popper.

Et j'ose également présumer que le tableau à deux directions de connaissance que je viens d'esquisser puisse répondre, en partie du moins, à un certain nombre de questions qui, dans son travail de grande pénétration, sont posées par M. Malu au sujet des difficultés de développement de la science dans les pays africains, lequel paraît en quelque sorte inhibé par les facteurs culturels de ce continent. Ceci, comme le comprend M. Malu, dépend essentiellement du fait qu'on a voulu imposer à l'Afrique, comme base sous-jacente de ce développement même, la mentalité scientifique positiviste qui, en tant que telle, semble n'avoir aucunement cherché à tenir compte des valeurs de base de la culture religieuse des nations africaines, de sorte, qu'en relation avec le cadre que j'ai tenté de tracer, l'Afrique, à partir d'une situation première fondée peut-on dire exclusivement sur la dimension non-physique verticale, s'est vue poussée, ou contrainte, à se rallier à la situation occidentale, pratiquement réduite, depuis le siècle dernier, à une conception horizontale purement scientifique et pragmatique. Or, si, comme j'ai essayé de le montrer, le monde occidental lui-même, et l'ampleur de sa vision cognitive, exigent une réintégration harmonique englobant les deux dimensions, il en est de même pour l'Afrique, qui part peut être avantagée, du fait que n'ayant pas encore renoncé à sa culture humaniste, il peut lui suffire, tout en s'engageant à développer une science qui aujourd'hui, nous l'avons vu, a nettement dépassé le positivisme, de conserver et non de restaurer, comme l'Occident qui les a presque perdues, les valeurs de base de sa culture traditionnelle.

Evidemment, le cadre conceptuel que je viens de tracer constitue une vision théorique, qui ne change en rien l'interprétation courante, mais qui s'y superpose pour offrir une

clef de lecture du monde physique qui lui donne une valeur symbolique de représentation d'idées au sens platonique, et dont le rappel peut être senti aujourd'hui comme un trait d'union entre science et cultures humaines, dont la recherche, me semble-t-il, est sous-jacente au thème même de notre session. Et si les problèmes pratiques, considérés dans la première partie de ces observations, par leur urgence et leur ampleur semblent réclamer la précedence, une vision théorique cohérente, qui satisfasse aux exigences d'universalité et de respect réciproque des différents points de vue, peut constituer une assise de base à partir de laquelle pouvoir bâtir de justes solutions aux problèmes concrets que la société constamment nous pose. Et pour en revenir à l'aspect cognitif dominant lié à notre fonction, ce n'est que dans la conscience de cette double possibilité d'avancement que la construction de la science peut acquérir cette profondeur qui forme le but suprême de la connaissance.

## DISCUSSION

## DE DUVE

Monsieur Dallaporta nous a fait une admirable synthèse et j'ai fort peu de choses à y ajouter ou à y objecter. En tant que biologiste, je voudrais souligner cependant que la vision qu'il nous a proposée est avant tout celle du physicien - ce n'est pas un reproche puisque Monsieur Dallaporta est physicien - et il se fait que les hommes de science qui ont été le plus souvent tentés de faire un pont entre leur discipline et la philosophie ont été des physiciens. Ce n'est évidemment pas un reproche, au contraire c'est un reproche aux biologistes de ne pas avoir suffisamment participé au dialogue. Pour ma part, je crois qu'une vision du monde qui, en quelque sorte, exclut la vie est une vision incomplète. Je crois que, peut-être trop souvent, - encore une fois ce n'est pas un reproche - les physiciens ont une tendance à voir (j'en ai connu quelques uns dans ma vie) la vie comme de la matière plus quelque chose. Alors, en tant que biochimiste, je défends - et j'ai essayé de le montrer dans mon intervention - une vision de la vie comme un phénomène tout à fait naturel, intégré dans l'Univers et qui, par conséquent, doit être inclus dans une vision scientifique de l'Univers qu'on essaie de conduire vers la philosophie. C'est un premier petit point. Un deuxième point qui, en tant que biologiste encore une fois, me heurte un petit peu - et d'ailleurs aussi dans l'intervention de Monsieur Germain - c'est l'utilisation des termes "finalisme" et "finalité"; dans ce sens que "finalisme" et "finalité" - je ne suis bien entendu pas philosophe et je m'excuse, - ça me rappelle mes cours de philosophie thomiste où le "finalisme" ou la "finalité" fait appel à une cause finale qui est donc une cause qui serait fixée dans l'avenir et qui aurait une influence sur le présent, par rapport aux causes causales. Je m'excuse, je ne suis pas philosophe; mais en tout cas c'est pour un biologiste très proche du "vitalisme", c'est-à-dire encore une fois de la matière plus quelque chose; et, comme vous le savez, nous avons - provisoirement peut-être mais en tout cas d'une manière très catégorique en

biologie — exorcisé ou exclu le "vitalisme"; et nous tentons scientifiquement d'expliquer les phénomènes vitaux en faisant appel uniquement aux forces ou aux facteurs physiques et chimiques. Alors, aux termes "finalité" ou "finalisme" - c'est une question de sémantique - je serai tout autant tenté de substituer le terme "dessein", ce qui indiquerait dans l'Univers une structure qui inclut, à partir de ce moment-là, uniquement par l'intervention de forces causales toutes les manifestations connues ou peut-être toutes les autres manifestations inconnues qui vont se produire dans l'Univers. Voilà, ce sont deux petites propositions que j'aimerais faire en tant que biologiste.

## GERMAIN

J'aimerais d'abord savoir quel est le destin de ce texte. Ce texte représente-t-il le document officiel qui résume nos travaux ou bien ce texte représente-t-il la vision de Monsieur Dallaporta qui a très bien profité de l'intervention mais qui ne représente pas nécessairement le point de vue de l'Accadémie. Je constate que quand même plus de la moitié de ce texte se réfère à des questions qui n'ont pas été discutées ici. Ce texte parle par exemple d'une notion qui pour moi n'a pas beaucoup de sens ou n'est pas claire tout au moins; "la métaphysique vraie", l'idée du physique qui doit déboucher dans une métaphysique. Tout ceci en tout cas, — si cela correspond à l'opinion de la majorité des gens qui sont ici, je m'en abstiendrai - est assez fondamentalement opposé à mes conceptions et à ce que je crois comprendre du mouvement scientifique.

C'est donc un premier point. Le second point, c'est que les considérations personnelles que M. Dallaporta a exprimées au sujet du rapport causalité-finalité soit tout à fait opposées ce qu'était le but de ma communication. Et je m'aperçois, avec ce que dit Monsieur de Duve, que je ne me suis pas fait assez bien comprendre. Je disais simplement qu'il me semble regarder les choses, non pas de très haut, non pas à partir de la métaphysique, mais simplement de ce que nous faisons - que lorsque nous travaillons, lorsque nous enseignons, lorsque nous pratiquons notre science, lorsque nous participons dans des colloques ou

des symposia, dans la formulation et la justification de ce que nous faisons, il n'y a aucune interaction avec les conceptions religieuses, philosophiques, morales. Dans ce que nous faisons, comme scientifique - et je précise à Monsieur de Duve si ce n'est pas assez clair - je considère qu'il est interdit de faire appel à tout finalisme, dessein, principes anthropiques ou autre chose dans ce genre là, cela me paraît tout à fait contraire à la démarche scientifique telle qu'on la comprend au bout de trois siècles. Nous avons à rendre compte justement, par causalité, des phénomènes que nous observons, et comment ils se sont engendrés sans aller imaginer qu'il y a un esprit supérieur qui, etc. Quand j'ai parlé de finalité, c'était uniquement dans le monde complémentaire de ce monde —, celui de la liberté et de la responsabilité.

Et je disais que dans le passé, et dans ce monde complémentaire, on a voulu sans doute, sous l'influence des lumières, essayer de progresser suivant le chemin qui avait fait ses preuves en science; et que maintenant cette manière de progresser à partir de causes et de lois - j'ai donné l'exemple des droits de l'homme - ça ne me paraît pas donner une justification de ce que nous croyons; et que cette justification se trouvait en se tournant vers l'avenir en tant qu'hommes libres, engageant et risquant notre liberté. Donc, - c'était mon point de vue, - j'avais d'abord résumé, expliqué que je ferais cette communication à la suite d'un livre qui s'appelait "De la causalité à la finalité" et, à la demande des auteurs j'en ai rendu compte dans l'Avis des sciences à l'Accadémie, en précisant bien en une dizaine de lignes que ce livre était fort intéressant mais qu'il était contraire à ce que je pensais.

Ceci dit, pour qu'il n'y ait aucune ambiguïté j'affirme que personnellement j'aime beaucoup la philosophie, la théologie, et que j'ai personnellement ma petite vision comme celle que Monsieur Dallaporta décrit ici.

Bien sûr que je ne vis pas séparé comme un schyzophrène, mais il me semble important - et je ne reprendrai plus la parole sur ce sujet parce que c'est la troisième fois que j'essaie de préciser ma pensée - il me semble important vis-à-vis des populations, de nos concitoyens, des gens qui ne sont pas scientifiques

du Tiers monde, il me semble important de dire que notre pratique scientifique, nos développements scientifiques sont indépendants dans leur formulation et dans leur justification de toute question de philosophie, de religion et autre. Et que, par conséquent, il est abusif de vouloir faire passer avec la connaissance scientifique des idées philosophiques quelles qu'elles soient: que ce soit une métaphysique religieuse comme celle que Monsieur Dallaporta essaie de promouvoir dans ce texte, ou que ce soit une métaphysique, disons, antireligieuse ou profondément scientiste, quelle qu'elle soit, pour laisser à chaque être, à chaque société, chaque culture la liberté de se développer et d'exercer sa liberté et sa responsabilité.

#### DALLAPORTA

Je réponds d'abord à M. de Duve. Je crois avoir compris ce que vous avez objecté. Je ne voulais pas dire — peut-être en ai-je donné l'idée — que je considère la vie comme nature plus quelque chose. Avant tout, je n'ai aucune idée de ce que peut être la vie. J'ai l'impression qu'à un certain point de vue le monde procède à partir de ses soubassements, de ses particules, qui obéissent à un certain nombre de lois: quand on arrive à un certain niveau de complexité des combinaisons de ces particules, les lois à ce niveau sont différentes. Elles seront certes liées de quelque façon aux lois du niveau inférieur, mais ces nouvelles propriétés qui émergent au niveau supérieur ne sont pas prévisibles à partir de celles du niveau inférieur. La complexité, l'arrangement d'un certain nombre de structures fait apparaître des propriétés qui n'existent pas au-dessous, des propriétés qui ne sont pas la somme des propriétés composantes. Et alors, la vie est une de ces propriétés extraordinaires qui émerge à un certain moment et qui donne l'impression, quel que soit l'agencement des molécules à partir desquelles elle se manifeste, d'être quelque chose de tout à fait imprévu se manifestant à ce niveau-là; mais ce n'est sans doute pas la seule émergence, parce qu'on en trouve d'autres à d'autres niveaux.



En ce qui concerne la finalité, — j'ai pu employer le terme de "finalisme" pour ne pas avoir trop fait attention aux nuances de la langue, et le terme de "dessein" est peut-être encore plus adapté —, je la considère en un certain sens comme complémentaire à la causalité; c'est-à-dire: j'ai l'impression en ligne générale que la finalité, par rapport à la causalité, apparaisse et devienne de plus en plus évidente au fur et à mesure que les structures deviennent plus complexes. Je m'explique par un exemple: pourquoi la science s'est-elle toujours basée uniquement sur la causalité? Une des raisons, vous l'avez dit, c'est qu'on a fait du vitalisme un usage assez puéril, qui a donné lieu à une réaction de rejet. Mais la cause la plus profonde, je la vois en ce que la science a procédé à partir des problèmes les plus simples vers les plus compliqués. Les premiers problèmes à la base de la physique, — le mouvement de la terre autour du soleil et l'oscillation du pendule —, sont uniquement soumis à la causalité, du fait qu'une fois données les conditions initiales le mouvement se poursuit de façon prévue pour toute l'éternité. Et ceci a donné l'idée que la causalité devait être toujours suffisante à tout résoudre. Nous savons maintenant que dès qu'on ajoute d'autres composantes à ces systèmes les choses deviennent beaucoup plus difficiles, et que même avec un nombre de corps qui ne soit pas très grand, on ne trouve pas de solutions générales. Dans les problèmes de la complexité, surtout quand les composantes sont très différentes comme en biologie, le système devient absolument irréductible en termes simples et sa décomposition en une somme d'interactions élémentaires est purement idéologique. Alors, en sens pratique, y a-t-il moyen, vu que la réduction aux causes élémentaires est impraticable, de se servir de quelque autre paradigme? Ce paradigme se présente à nous dans l'expérience même, en tant que finalité. Un animal mange dans le but de croître et de se conserver. C'est à dire que dans les êtres doués de vie, nous voyons émerger une tendance vers le futur qui semble caractériser l'état de complexité dans lequel il se trouve. C'est en cela que je vois le complémentarisme causalité-finalité: dans les problèmes simples, la causalité domine totalement; dans les problèmes les plus complexes les causes s'estompent dans le lointain, et c'est la finalité qui émerge.

Cette position, je tiens à la souligner, m'est inspirée sur la base de ce que je considère comme une évidence physique et biologique. Et vu que les axiomes de ce qui est science ont été définis alors que la science s'occupait de problèmes relativement simples, on pourrait se demander s'il ne serait pas opportun, en vue des problèmes beaucoup plus complexes que la science doit affronter aujourd'hui, d'élargir le cadre même de ces axiomes pour la doter de plus amples moyens de compréhension.

JAKI

Vous avez écrit "adopté" et il me semble qu'il serait mieux de dire "adapté" à propos de rationalisme hérité de la pensée grecque adapté par la théologie médiévale. Merci beaucoup.

LICHNEROWICZ

Monsieur et cher confrère, j'ai lu avec beaucoup d'intérêt et de plaisir votre document et vos réflexions.

Nous sommes ici dans une Accadémie des Sciences; or, vous avez consacré une belle partie de votre exposé à des réflexions personnelles extrêmement intéressantes liées à des idées platoniciennes mais la distinction dans les différentes parties entre ce qui est science et ce qui ne l'est pas n'apparaît pas, et c'est ça qui m'inquiète; je me suis battu toute ma vie pour que cette distinction apparaisse en toute circonstance et c'est pourquoi je ne pourrai pas m'associer à votre document concernant par exemple le principe anthropique qui est en dehors de la science pour le moment; et il doit, pour le moment y rester. Attention, je ne voudrais pas dire qu'il y ait dichotomie artificielle (c'est le mot artificiel qui me choque le plus) entre science et métaphysique. Il y a, au contraire, une dichotomie extrêmement forte et qui est due au fait que la science prend l'ascèse. Pour revenir à la "finalité" j'ai écrit un chapitre de ce livre où j'ai voulu montrer, en prenant toutes les analyses des théories physiques, que ni la notion de finalité ni la notion de causalité, telle que les philosophes les prennent, ne seront adaptées à la science, sinon une même théorie pourrait apparaître comme causaliste ou

comme finaliste selon le cas. Le principe de Fermat c'est des équations différentielles mais c'est aussi finaliste. Je veux dire que cette distinction telle qu'elle est, n'est pas adaptée à la démarche scientifique et ceci me paraît quelque chose de très grave.

### DALLAPORTA

Je réponds à MM. Germain et Lichnerowicz au sujet de leur objection qu'en mélangeant la finalité à la causalité on ne distingue plus nettement le domaine scientifique de ce qui ne l'est pas. Or, chaque fois que j'ai travaillé comme scientifique je me suis évidemment référé aux conventions du point de vue scientifique. Cependant, le fait d'être homme de science ne peut pas me faire perdre de vue que je suis aussi un homme, et qu'en tant qu'homme, je ne me pose pas seulement des problèmes scientifiques, mais aussi relatifs à tout ce qui concerne notre vie, d'où nous venons, où nous allons, etc.. qui sont effectivement la base de la perspective métaphysique. Si methodologiquement on essaye de séparer les deux choses, au point de vue d'une connaissance integrale elles ne sont pas, à mon avis, séparables.

### LICHNEROWICZ

Chacun de nous fait sa propre synthèse. Ce n'est pas la synthèse d'un autre qui peut s'imposer dans un document.

### DALLAPORTA

Je pense avoir le droit de présenter mon point de vue sur un aspect du thème de la session. Il y a sans doute des synthèses subjectives, mais aussi des synthèses objectives; et la mienne est, en partie du moins, objective, en tant qu'elle pose en relation non des impressions mais des faits; et si certains de ces faits ne sont pas susceptibles d'être soumis à l'expérience ou d'être démontrés par le raisonnement, ils n'en restent pas moins des faits objectifs. Nul n'est en devoir d'accepter ma synthèse; mais se former une synthèse est une exigence humaine fondamentale.

En tant qu'homme de science, j'étudie d'une certaine façon, en tant qu'homme je me pose certains problèmes. Alors, du fait d'être convaincu qu'il y a une unité aussi bien dans la personne que dans le cosmos, et qu'il n'y a pas de secteurs détachés et incommensurables dans le domaine de la connaissance, j'ai toujours cherché à me former un tableau du monde unitaire, qui réunisse aussi bien le domaine extérieur que le domaine intérieur à l'homme. Et je me suis permis de soumettre ici cette vision, nullement pour dire que c'est "la" vision, mais "une" vision cohérente. Je ne pense pas du tout qu'il faille l'accepter comme conclusion générale de l'Académie; mais du fait que le thème proposé était essentiellement interdisciplinaire, je suis fortement induit à penser que si nos travaux se fussent clos sans au moins une contribution du genre de celle que j'ai produite, une des intentions, et non des moindres, incluse dans le thème proposé, "la Science en présence de la Culture humaine", aurait été presque entièrement passée sous silence. Ce que j'ai dit de la métaphysique et de la finalité se rapporte évidemment à la culture humaine; je ne crois donc pas être sorti du sujet qui nous a été proposé.

### MARINI-BETTÒLO

Merci Professeur Dallaporta, je pense que vous avez fait un grand travail qui peut servir de base pour dresser des conclusions. Sûrement ce que vous avez porté est fondamental pour fournir des éléments à la discussion.

### DE GIORGI

Evidemment dans cette Accadémie chacun à son opinion sur la science, la philosophie, etc. peut-être nous arriverons à des documents communs simplement sur des propositions pratiques. Je pense que la formulation d'une opinion commune de l'Accadémie est un danger qui n'existe pas, parce qu'une assemblée n'aurait pas de sens si elle disait; "pour moi ces choses sont physiques, ces choses ne sont pas physiques, ces choses sont mathématiques et ces choses ne sont pas mathématiques". Mon

opinion sur les rapports entre mathématiques et philosophie, mathématiques et chimie, mathématiques et biologie, sont sujets à l'inspiration. C'est-à-dire que le mathématicien peut prendre l'inspiration de tout ce qu'il a l'occasion de considérer, de la philosophie, de l'art etc. Par exemple, il y a toutes les études sur la perspective et la géométrie prospective; l'inspiration du mathématicien peut venir de là. Le mathématicien n'a pas de domaine scientifique privilégié duquel il doit prendre certaine structure qui est la structure de l'énoncé des théorèmes, des axiomes et des conjectures et que la déduction mathématique doit obéir à certaines règles. Je crois que les mathématiques sont essentiellement définies par la structure logique des énoncés, des axiomes et des théorèmes et par la structure logique des démonstrations. Leur interprétation et inspiration peuvent venir de toutes les directions; elles peuvent venir même de la guerre, même si ce n'est pas une chose agréable de voir comment l'homme doit disposer de ses forces dans une situation de guerre. Les sources d'inspiration sont soit bonnes soit mauvaises. A propos de la finalité et de la causalité: pour les mathématiciens, finalité ou finalisme, causalité ou causalisme sont des choses qui peuvent fournir de l'inspiration, comme toutes les autres choses, comme les jeux de cartes et les probabilités, etc. Si nous considérons les choses qui sont inspirées à la causalité et au finalisme, parmi les choses librement inspirées à la causalité on a les situations différentielles. La théorie des situations différentielles, surtout les problèmes des gauchers (?) avec ses données initiales, sont influencées fortement par l'idée de la causalité, par l'idée que certaines données doivent ou peuvent donner certaines conséquences. A côté d'une théorie des situations différentielles, librement inspirée à la théorie de la causalité, il y a une théorie du calcul des variations qui est librement inspirée à l'idée du finalisme. On doit rendre la plus petite possible, la plus grande possible, une certaine quantité sous certaines contraintes. Et la chose que les mathématiciens ont constatée, c'est qu'il y a une parfaite correspondance entre ces deux choses, entre les résultats que l'on obtient avec des raisonnements du type variationnel et des raisonnements que l'on obtient avec des raisonnements de type différentiel. C'est une constatation que

nous offrons aux biologistes et aux philosophes avec la même liberté avec laquelle nous avons pris des biologistes et des philosophes certaines inspirations. Cette dualité est dans la structure mathématique librement inspirée à la causalité e dans la structure mathématique librement inspirée au finalisme. Si cette constatation est ou non d'intérêt pour les biologistes est une chose à laquelle ce sont les biologistes qui doivent répondre.

### PULLMAN

Monsieur le Président, vous m'excuserez si je ne suis pas tout à fait d'accord avec un mot que vous avez employé tout à l'heure en vous adressant à Monsieur Dallaporta. Je pense que, compte tenu de la discussion qui se fait ici et du point de vue de certains de mes collègues que je comprends très bien, il faudrait éviter de donner à ce document la forme d'une conclusion. Nous sommes dans une "Concluding Session" et ceci fausse un tout petit peu l'optique. Je constate que certains de mes collègues ne voient apparemment pas d'un très bon œil qu'on ajoute un complément métaphysique à un exposé qui souhaiterait de voir se limiter entièrement à des considérations purement de science véritable. Néanmoins, je conçois que, quand on demande à quelqu'un de faire un effort tel qu'on l'a demandé à Monsieur Dallaporta, il convient de lui laisser une certaine liberté d'expression. Je crois qu'on pourrait peut-être trouver une solution au problème avec lequel nous serons confrontés, en donnant l'exposé de Monsieur Dallaporta un titre qui ne serait pas du tout "Conclusion" mais - je me permets de le suggérer je regrette de n'avoir aucune qualité pour vous suggérer un titre de votre exposé - mais quelque chose qui serait "Impressions, observations et extrapolations personnelles"; pour qu'il soit bien entendu que vous donnez vos impressions de ce que nos collègues ont dit. Moi même je ne suis pas parfaitement satisfait avec la façon dont vous avez présenté mon point de vue. C'est un point de détail, vous êtes libre de le voir de cette manière.

Impressions, observations - puisque vous faites des observations à propos des exposés - mais qu'il soit bien précisé qu'on y ajoute une vision personnelle, une extrapolation personnelle

élaborée sur le titre. Et je crois que, présenté de cette manière, le problème ne se pose plus. Ça n'engage pas la responsabilité de tout le monde. Vous avez fait une étude de présentation, nous vous en sommes très reconnaissants. Une telle synthèse est un travail engageant, je sais ce que c'est, je l'ai fait une ou deux fois, je ne voudrais pas recommencer. Vous avez eu le mérite d'y ajouter des réflexions profondes, avec lesquelles on peut être d'accord ou non. Il faut les conserver mais le fait que ce soient des réflexions personnelles doit être précisé et spécifié.

### DALLAPORTA

Je réponds de suite à M. Pullman: je suis bien d'accord qu'il n'y a aucune raison de désirer que mon texte puisse figurer comme une conclusion de toute la session. Cependant, je voudrais souligner le fait, — je le répète —, qu'en présence du thème de la session: "la Science dans le contexte de la Culture humaine", il me semblait que ce thème impliquât de considérer aussi bien la Culture que la Science. Et j'ai essayé de les mettre en rapport essentiellement pour montrer qu'il y a des possibilités, — il peut y en avoir d'autres —, que les deux choses soient reliables, et qu'une certaine façon de voir la science puisse n'être nullement en opposition avec certains aspects de la culture humaine. Je pense que c'était là un des thèmes qu'il était nécessaire de traiter; et le fait que personne d'autre ne l'ait traité donne, en un certain sens, une justification ultérieure à mon travail. De son titre: "Observations et remarques" on doit, bien sûr, enlever "dernières", qui marque la position chronologiques de mon exposition, mais qui pourrait être pris dans un sens conclusif; je suis tout à fait d'accord sur cette élimination.

### LEJEUNE

Monsieur le Président, je voudrais m'associer à ce qui a été dit à Monsieur Dallaporta sur la qualité de son travail et j'avoue que j'ai été très admiratif et je tiens à le lui dire très précisément. Je ferai deux remarques. La première, c'est sur la difficulté qui a été soulevée plusieurs fois entre "causalité" et "finalité". Je com-

prends très bien que les physiciens veuillent éliminer absolument la notion de finalité quand ils essaient d'expliquer quelque chose et de se rapporter à une certaine causalité que l'on peut décrire pas à pas. Mais je dois dire que dans le système opérationnel en lequel consiste la médecine, il est absurde de ne pas tenir compte de la finalité. L'œil est fait pour voir. La meilleure preuve est que, quand l'œil est malade, on peut suppléer sa vision en mettant des verres devant, ce qui ne répare pas l'œil, mais répare la vision. Autrement dit, c'est uniquement par une idée finaliste que l'on porte des lunettes. Or, porter des lunettes est très efficace. Il faut se rendre compte que l'opératif dans la biologie, lorsque le biologiste se met au service de son prochain tout simplement, est obligé d'être typiquement finaliste dans son raisonnement, dans son analyse et dans ça pratique. La médecine fait tout de même partie de la science, si vous le permettez.

Vous êtes un peu finaliste aussi. C'était la première réflexion que je voulais faire. C'était pour dire qu'il est très difficile de faire une conclusion générale qui mette tout le monde d'accord. La seconde, après ce qu'a dit tout à l'heure Monsieur de Duve: Monsieur de Duve, a dit à Monsieur Dallaporta, qu'autrefois on voulait expliquer la vie en disant "il y a la matière et puis quelque chose de plus". Et que maintenant les biologistes sont d'accord pour éliminer "le quelque chose de plus" et s'intéresser à la matière. Ce n'est pas vrai, pas vrai du tout. Il est très bon que nous soyons en désaccord flagrant, ça prouve qu'on peut discuter; car il y a autre chose, et c'est "l'autre chose" qui nous intéresse, c'est justement l'information. Et pour faire comprendre ce que je veux dire en un mot, je ne vais pas reparler des molécules codées, ce serait trop long, mais je vais dire quand même en un mot ce que cela veut dire pour un biologiste-médecin. Un jour notre ordinateur ne fonctionnait pas. J'ai fait venir le réparateur. Finalement il y avait de la poussière dans le ventilateur. On est tombé d'accord que c'était bien intéressant que le ventilateur ait une telle importance sur les facultés de cette machine. Et cet homme qui était fort réfléchi m'a dit: "Monsieur, ce qui est curieux — il était réparateur de machine - c'est que je n'ai jamais trouvé la mathématique au bout de mon tournevis." Et je lui ai dit: "Monsieur, vous avez tout à fait raison, c'est que le tournevis



est un mauvais instrument pour rechercher la mathématique." Et je pense que lorsque nous voulons expliquer la vie par le peu de lois de physicochimie que nous connaissons, nous avons un instrument aussi insuffisant qu'un tournevis sur un ordinateur pour comprendre les mathématiques. Merci Monsieur le Président.

### BLANC-LAPIERRE

Monsieur le Président, je voulais d'abord dire - avant d'entendre ce que nous a lu le Professeur Dallaporta, je le lui ai dit tout à l'heure - que je ne voudrais pas être à sa place. Je lui ai vu prendre énormément de notes étant donné la divergence et la structure ramifiée de toutes nos discussions, et il était en face d'une tâche considérable. Je voudrais dire deuxièmement que j'ai écouté avec beaucoup d'intérêt ce qu'il a dit et maintenant, pour être opérationnel, il me semble que la seule chose à laquelle il faut veiller c'est que cela ne soit pas pris comme une conclusion - mais ça ne ressemble pas à une conclusion de nos travaux - et en ce sens ce qu'a dit Monsieur Pullman va assez dans le sens qui est le mien. J'avais simplement remarqué que sur la couverture il était dit "Observations et remarques dernières" et que le mot "dernière" faisait penser à "conclusion" mais que dans le papier de Monsieur Dallaporta, lui-même, il était mis "observations et remarques" et il me semble que, si on ne met pas dans le texte "Concluding Session" et si on met "Observations et remarques du Professeur Dallaporta, et bien c'est une contribution, comme toutes celles que nous avons faites; personnellement cela me satisferait totalement et je crois que ça doit satisfaire beaucoup de personnes. Merci Monsieur le Président.

### MARINI-BETTÒLO

Merci, Professeur Blanc-Lapierre. Je voulais dire que c'est très clair dans le programme, ce qui a été porté par Monsieur Dallaporta, ce sont des observations justement et les remarques. Il y a maintenant un autre item, c'est-à-dire qu'il y a la discussion et il faut préparer les conclusions. Cette conclusion

nous en parlerons tout de suite après avoir donné la parole au Professeur de Duve.

#### DE DUVE

Je m'excuse de reprendre la parole mais ayant été attaqué en public, je me dois donc de répondre. Je crois que Monsieur Lejeune fait un sophisme quand il dit que "l'information c'est quelque chose en plus" parce que cette information est inscrite dans des molécules. A ce compte là, je pourrais dire aussi "il y a en plus l'énergie, il y a en plus la catalyse". Il y a toute une série de propriétés qui sont toutes exercées par et inscrites dans des molécules. C'est dans ce sens là que je dis "il y a matière et pas quelque chose en plus". Nous serons certainement d'accord, c'est une question de sémantique.

#### MARINI-BETTÒLO

Je vous remercie; and now I thank very much Professor Dallaporta for having tried to make a critical resume of what we have discussed these days.

Now we should go on and draw the conclusion. I think this is not the moment to do the conclusion because we are all tired. If we have to write down the conclusion it would take a number of hours. I think that having collected all this material, the Academy could prepare a statement, not to be circulated but to be sent to all of you for your remarks and suggestions. I think that is the only way to get to some conclusion because otherwise, beginning here, it will be rather long and complicated and we would not even finish this evening. We will distribute the text only to the people who have been present at this discussion, not to the other members of the Academy because it is only a draft which should receive all the comments, criticisms and so on from all of you. We will try to interpret in the best way what has been said here. I remember that there have been some very important contributions. I think also that everything that we have said and that should be said is quite difficult to put together. We shall try it, however, and we trust we shall have

your collaboration to produce a good document. This has also been done for other sessions and I think it can also be done in this case because we need to reflect a little bit on the data, on the results, on the observations, on the comments received from all of you.

I think if you agree to this proposal we could choose this way and you can trust that I personally will try to have a draft of what has been said here.

### TOWNES

Let me say first I think Professor Dallaporta has done a remarkable job. I am sure I could not have done anything nearly so well. But the problem before us is that we are dealing with a very complex subject, many different meanings to different words, that will mean different things in different languages. I would suggest that conclusions which we are likely all to agree to, one should try to make them relatively simple and short. I think any document of this dimension is almost inevitably going to have differences of views that are rather basic, so that while I agree completely with your suggestion, I do suggest that one works hard to make them rather short and relatively simple. That, of course, will mean that there are many valuable things that have been said that cannot be put in, but nevertheless, I think that something for universal agreement would need to be of that nature.

### CHAGAS

First of all, as everyone has said here, I want to congratulate Professor Dallaporta for his work. When you were speaking about the conclusions and so forth, I am afraid it is going to be a big document with many pages, and I am wondering if conclusions are necessary really because people are going to read the document. It is going to be an extremely hard job and a very difficult job for our President. I am wondering if it is necessary if people are going to read it. They will make their own conclusions. And what can be said in very short conclusions?

Not very much. I would suggest that we give this prize to such a good President by delivering him of any responsibility for writing the conclusion. I think we can leave the papers out there. The reader will make his own conclusions.

LEJEUNE

Excellente proposition.

GERMAIN

Je suis d'accord avec cette proposition. Néanmoins nous pourrions demander, ou on pourrait suggérer au Président, s'il le souhaite, d'écrire lui-même sous sa signature quelques lignes parce que... c'est le Président; il nous les soumettrait pour qu'aucun de nous n'y voie une objection majeure et il l'écrit en tant que Président. Je comprends très bien que pour transmettre des rapports, quelquefois, c'est bon d'avoir une page ou deux - ce que voudra le Président - pour donner un petit peu l'accent, les principaux thèmes comme il l'entendrait. Je ne voulais pas qu'on l'empêche d'exprimer ses vues à la suite de cette session de trois jours.

MOSHINSKY

I want to touch on another subject. There was a proposal made before that has been rewritten by Professor Arber and I think it should be put to a vote because I do not think there is any problem with it.

CHAGAS

I think it is being typed.

MOSHINKSY

Are we going to close this session now? Because then it would be left hanging in the air.

**MARINI-BETTÒLO**

I am just waiting to see if Professor Arber has the text.

**ARBER**

I can read it from my notes but I gave the corrected version to be typed. Maybe if you can just see if it is ready. So the declaration reads as follows:

The members of the Scientific Academy of Sciences express their serious concern with respect to the prospects with which the scientific institutions in the Third World are faced. The present difficult economic and social situations in the concerned countries have stopped the growth of these institutions and, in some cases, there is even the risk that they might disappear. The disregard of the importance of science for development would have very serious consequences for the Third World. Its numerous pending problems will have to be solved in an interdisciplinary approach in which scientific knowledge is going to play an important role. We therefore request the governments of the countries involved to continue and intensify the support given to their scientific institutions.

**CREUTZFELDT**

While waiting for this text, I think I would like to come back to your announcement of the future programmes. I think that went without our being able to respond to it. It would be nice if we could hear a little bit more about who is responsible for the workshop or the study week on Human Resources and Population. I think there was a proposal that this should be combined if possible with the Plenary Session. Now I think for the next two the programmes are fixed more or less. If you could comment on that a little bit we would be able to discuss it in the Plenary Session and not leave the responsibility alone to the Council. I think if there are any wishes here they should be expressed and then should be taken into account.

### MARINI-BETTÒLO

I think that this is not possible because we have planned that for '91 and the Plenary Session will be in '92. However, I consider that the problem of population and resources cannot be done in only one study week, so maybe we may have a second study week or a special study group that could be together immediately before the Plenary Session. You will have a full account of this study week, and it can be also debated in the Plenary Session which is scheduled for October '92 whereas the first meeting should take place during '91.

### CREUTZFELDT

Is the date already fixed for the study week so that those who would like to participate can make a schedule? Do you know exactly the dates and who is organizing?

### MARINI-BETTÒLO

You know that at every meeting of the Academy every member can participate, so there is no objection about that. We have not yet the date of this. We must contact our co-workers.

### MALU

Monsieur le Président, je dois avouer à ma confusion que je n'ai pas bien suivi la discussion concernant cette affaire de "conclusion" et de "préface". Je n'ai pas très bien suivi quelle était exactement la position de Monsieur Chagas, mais seulement la fin, la conclusion devenait préface qui était une conclusion. Est-ce que quelqu'un veut bien m'expliquer exactement de quoi il ressort dans tout ça. Il n'y a pas de conclusion, mais il y a une préface. Et la préface fera fonction de conclusion. Ça devient très métaphysique, j'ai l'impression.

**DÖBEREINER**

I wanted to comment on this as well because I am a little bit worried that if we do not have any conclusions and just the papers, I think the most interesting parts of this meeting were the discussions. And how are they coming? Because we have the papers here but we do not have anything about the discussions.

**CHAGAS**

I would say that we cannot request, we can make an appeal.

**CREUTZFELDT**

Does it not exclude the educative aspect? Is it just science or should one not include something like it has a bad effect on science and higher education, because that is a very important function of these institutions, that they train people for scientific careers.

**CHAGAS**

I think the whole problem of science policy, and the problem has been the object of so many studies; that what is needed is that the level of investment reaches a certain amount of the gross national product. We know that if we can have developing countries which spend approximately between 2 and 3 per cent of their gross national product, this would be quite good and it would really also help basic scientific education.

**DE GIORGI**

Dans la discussion, on a considéré aussi d'autres problèmes. Les problèmes d'une harmonie entre l'enseignement des sciences et tous les autres enseignements donnés dans les divers pays et dans les diverses cultures; et les problèmes d'une plus large et plus correcte et plus soignée information scientifique par la radio et la télévision. Je pense que, dans les conclu-

sions pratiques, quelques mots aussi seraient nécessaires sur tous ces problèmes.

#### MARINI-BETTÒLO

Thank you Professor De Giorgi. I think if there are no further comments and you agree that we leave to the Academy the choice; but we will consult everyone of you here now about the conclusion, about putting some conclusion or leaving, as Professor Chagas suggested, the conclusion to the people who read it. I am not sure what we shall do, but we will study the question and put the question to all of you and see what can be done for the best. I thank all of you for your contribution.



SCIENCE, CULTURE ET THÉOLOGIE  
UNE BRÈVE SYNTHÈSE À LA LUMIÈRE DE  
L'HISTOIRE DES SCIENCES

JEAN-MICHEL MALDAMÉ  
Institut Catholique  
Toulouse

Le terme de science désigne un idéal de savoir très élevé. Platon oppose la science à l'opinion, forme inférieure du savoir, vouée à la variation et soumise à des contradictions internes faute d'avoir donné accès à la réalité. Aristote donne de la science une définition non moins noble, puisque ce savoir rend raison des connexions réelles qui président à la production et au devenir du monde<sup>1</sup>.

Lors de la splendeur de la civilisation chrétienne dans l'Europe médiévale, le terme de science a été utilisé pour qualifier ce

---

<sup>1</sup> L'idéal de la science est défini par Platon dans le *Théétète*: la science ne se confond ni avec la sensation (151e-187), ni avec l'opinion vraie (187b-201d), ni avec l'opinion vraie accompagnée de raison (201-210a). La sensation est toujours changeante et elle n'atteint pas l'être; l'opinion vraie, qui suppose un jugement, se rencontre sans possibilité d'une justification; la description d'une chose par ses éléments, voire la saisie de ses caractères distinctifs n'est pas la science. La science (*épistémé*) est au terme du parcours cognitif, comme rapport à l'Être et comme fin de toute connaissance. Cet idéal se trouve chez Descartes et Hegel.

Aristote classe le savoir: *l'épistémé* comporte trois types de sciences: sciences pratiques (le principe réside dans l'agent), les sciences poïétiques (le principe réside dans le producteur), les sciences théorétiques (mathématique, physique et théologie). La nature (*Seconds Analytiques*) est une connaissance par la cause et par sa nécessité: "Nous estimons posséder la science d'une manière absolue quand nous croyons que nous connaissons la cause par laquelle la chose est, que nous savons que cette cause est celle de la chose, et qu'en outre, il n'est pas possible que la chose soit autre qu'elle n'est" (71b). La science est connaissance démonstrative des causes et par là même nécessaire et universelle. Une science correspond à un genre d'être déterminé.

que nous appelons aujourd'hui théologie. A la première question de la *Somme de théologie*: "*Utrum sacra doctrina sit scientia?*", S. Thomas d'Aquin répond affirmativement, en utilisant la doctrine aristotélicienne de la subalternation. Le terme science est entendu dans son sens majeur comme une voie royale pour accéder à la connaissance — y compris celle qui fortifie la foi et prépare la vision béatifique<sup>2</sup>.

Le terme de science reçoit aujourd'hui un sens plus particulier depuis le début du XVII<sup>e</sup> siècle. Il désigne un savoir plus spécialisé, caractérisé par l'usage des mathématiques. Il se spécifie en des disciplines particulières où il introduit une démarche de construction théorique, de mise en forme logico-mathématique et de vérification. C'est en ce sens que les modernes emploient ce mot — la preuve est que la théologie a cessé d'être considérée comme une science<sup>3</sup>; ceux qui, par souci apologétique, ont voulu soumettre la théologie à la science entendue dans ce sens restreint l'ont privée de toute saveur mystérique.

Ce second sens est acquis définitivement et à juste titre, aussi j'entendrai dans cette brève communication le terme de science en son acception courante, tant chez les scientifiques que chez les philosophes, en la distinguant de la théologie. La science est un élément parmi d'autres dans un ensemble de valeurs, de connaissances, de pratiques et de sentiments personnels ou collectifs qui font une culture. Le terme culture désigne ce qui différencie l'homme des autres vivants. L'homme est séparé du règne animal et végétal parce qu'il est doué de pensée, de parole, de raison, de liberté et de responsabilité dans

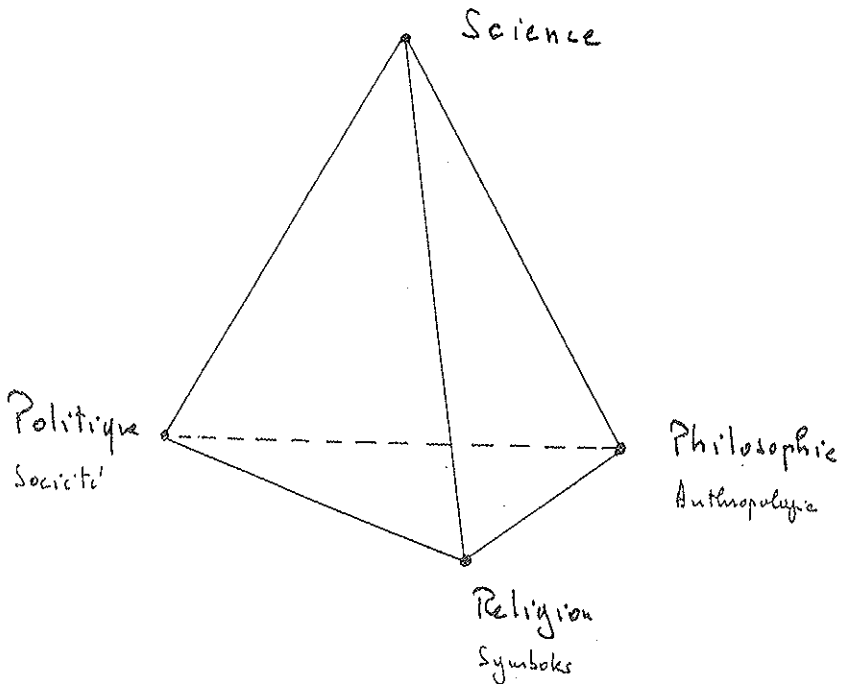
---

<sup>2</sup> Cf. M.-Dominique CHENU, *La Théologie comme science au XIII<sup>e</sup> siècle*, Paris, Vrin, 1943. Henri-Dominique GARDEIL, *La Théologie*, traduction, notes et appendices à la première question de la *Somme théologique* de S. Thomas d'Aquin, Paris, le Cerf, 1968. Yves CONGAR, article "Théologie", du *Dictionnaire de Théologie catholique*, 15A, p. 341-502. M.-Michel LABOURDETTE, "La théologie, intelligence de la foi", dans *Revue Thomiste*, 1951, p. 5-44.

<sup>3</sup> Cf. Robert LENOBLE, «Origines de la pensée scientifique moderne», dans *Histoire de la Science*, Encyclopédie de la Pléiade, Paris, Gallimard, 1951.

son action. Il le fait en se donnant à lui-même ses raisons de vivre et les moyens pour les mettre en œuvre. La notion de culture n'est pas la même selon les traditions. Pourtant à la racine l'accord pourrait se faire sur deux aspects fondamentaux: 1. L'homme n'accède à son humanité que s'il intériorise ce qui lui est apporté par le groupe humain (parents, familles, milieu, patrie,...). 2. L'horizon de l'activité humaine est celui de l'humanité à rassembler dans l'unité. Ces deux éléments sont complétés par un troisième qui a sens pour les croyants: 3. la vie humaine est finalisée par la rencontre de Dieu.

Je propose de synthétiser les différents éléments dans un modèle qui rend raison des relations qui tissent la culture: la science, la religion, l'activité socio-politique et la philosophie. Je montre leur articulation par un schéma. Les quatre éléments sont au sommet d'un tétraèdre régulier. Par ce schéma je veux signifier la distinction des éléments et que la modification de l'un d'eux influe sur les trois autres.



## I. NAISSANCE DE LA SCIENCE

Modifier le savoir scientifique entraîne des conséquences en matière religieuse, en matière philosophique et en matière sociale. Ce qui entraîne en retour une modification de la science. Il doit donc s'inscrire dans l'histoire des sciences dès sa naissance.

Les historiens s'accordent à dire que la science comme idéal de connaissance est née en Grèce. C'est en effet en Grèce qu'est née la science, mais elle n'est pas née par miracle. Elle est liée à un ensemble de facteurs qui l'ont rendue possible et que sa naissance a confirmé ou modifié.

### 1. Science et religion

La science est née dans un affrontement avec les représentations religieuses du monde dont le moyen d'expression est le symbole. La science est possible si on dépouille la nature d'une certaine sacralité qui la marque du sceau de l'interdit et qui exclut a priori certains domaines à l'enquête: observation, analyse ou classification. M. Serres le dit avec brio dans le chapitre qu'il consacre à la naissance de la science grecque dans les *Éléments pour l'histoire des sciences*: "quand une hamadryade garde chaque arbre, qu'une nymphe par fontaine veille à l'expansion des eaux, quand la mer pullule de sirènes et les prés de faunes, mille singularités s'opposent au passage de la règle générale. Il faut attendre le Dieu unique pour que l'étendue se vide soudain et que nulle localité n'obstrue l'Univers homogène" (p. 98). Il reprend la thèse de P. Duhem disant que le monothéisme était à la source de la pensée scientifique expliquant par là pourquoi la science s'est développée dans l'aire du monothéisme biblique et surtout en Europe<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Cf. Pierre DUHEM, *Le Système du monde*, 10 vol., Paris, Hermann, 1954, en particulier, t. 2, p. 453. Cf. Geoffrey E.R. LLYOD, *Magie, raison et expérience*, trad. fr., Paris, Flammarion, 1990; ID., *Les Débuts de la science*

Mais, pour autant, la science ne s'est pas développée sans être fécondée par les grands symboles religieux. La mathématique est portée par un sens esthétique qui a une forte valeur symbolique. La physique est liée à une valorisation des formes pures (en particulier le cercle) et simples<sup>5</sup>.

Une telle analyse est confirmée par l'histoire ultérieure des sciences en Europe. A chaque moment de croissance les sciences ont entretenu un rapport réciproque d'opposition et d'inspiration avec des représentations religieuses. Que l'on pense au romanisme en Europe.

## 2. Science et philosophie

La science est née dans un contexte de pensée qui valorisait la raison et la visée contemplative. Ce point est capital, car la science ce n'est pas une accumulation de connaissances, c'est la visée unificatrice fondée sur la certitude que le réel est intelligible et que le langage et la pensée peuvent en saisir les articulations et les nécessités internes. C'est là une conviction typiquement philosophique. Une théorie scientifique n'est pas la compilation des résultats, mais une construction de l'esprit humain bâtissant un système conceptuel. Les Grecs n'en savaient pas beaucoup plus matériellement que leurs prédécesseurs égyptiens, sumériens ou babyloniens. Mais il eurent le désir de construire une œuvre de pensée. Pour eux, la science est un savoir théorique, de type contemplatif. L'expérience est construite au sein d'une théorie qui est principe d'élaboration<sup>6</sup>.

En retour, la science ouvre des horizons à la philosophie. Les grands maîtres de la philosophie, que furent Platon et

---

grecque. *De Thalès à Aristote et La science grecque après Aristote*, trad. fr., Paris, la Découverte, 1990.

<sup>5</sup> Que l'on pense par exemple à la fascination du nombre d'or et à l'incidence du Pythagorisme dans la culture scientifique. Cf. Léon BRUNSCHVICG, *Le rôle du Pythagorisme dans l'évolution des idées*, Paris, Hermann, 1937.

<sup>6</sup> Jeanne PARAIN-VIAL, *Philosophie des sciences de la nature. Tendances nouvelles*, Paris, Klincksieck, 1985.

Aristote, ont été précédés par des inventeurs en matière scientifique les présocratiques et leurs considérations sur les éléments du monde. Il en va de même du stoïcisme qui est une forme de pensée essentielle à l'Occident et qui est né d'un effort de dépassement de la cosmologie, attentive à l'unité du monde et à son ordre.

Un tel mouvement ne s'est pas arrêté. Tous les grands philosophes ont été en dialogue avec les sciences de leur temps: Kant avec la Mécanique, Hegel avec la Biologie, et au tournant du vingtième siècle, les débats entre scientifiques ont porté sur des notions philosophiques: hasard, nécessité, contingence et probabilité. Tant Einstein que Poincaré ont été hantés par les questions de la philosophie.

### 3. Science et politique

La naissance de la science grecque montre le lien avec le domaine socio-politique. La Cité grecque est le lieu de la naissance de la science antique. La Cité est en effet le lieu de la parole, du commerce, des échanges d'idées et de techniques. La cité est médiatrice de la rencontre, de l'éducation du savoir. Elle donne un langage commun qui permet la rencontre. Une crise de la cité entraîne une crise de son savoir et une crise de la pensée entraîne une stérilité ou une anarchie de la production scientifique. Maria Dakari dans un livre récent lie la crise de la cité Athénienne avec la cosmologie stoïcienne<sup>7</sup>.

Une telle analyse est confirmée aujourd'hui par le fait que la science est inséparable de la société industrielle. Les productions doivent à la science, maîtresse de technologie et de technique, et celles-ci tirent leur légitimité de l'idéal désintéressé et objectif de la science<sup>8</sup>.

<sup>7</sup> Cf. Maria DAKARI, *Une religiosité sans Dieu, Essai sur la doctrine des Stoïciens d'Athènes et S. Augustin*, La découverte, Paris, 1989.

<sup>8</sup> Cf. Jacques ELLUL, *Le Système technicien*, Paris, Calman-Lévy, 1976. Cf. Jean-Marie DOMENACH, *Approches de la modernité*, Ecole polytechnique, Paris, Ellipses, 1986

Ces quelques remarques montrent comment les quatre éléments qui font la culture sont en interaction réciproque. Elles permettent de donner de la science une définition simple, dont nous pensons qu'elle correspond bien à ce que l'on entend par science en Occident depuis le XVII<sup>e</sup> siècle: la science est un système conceptuel qui tient compte de tous les faits expérimentaux connus et ses prédictions doivent être vérifiables. Cette dualité de traits implique que la science est sans cesse bouleversée par ce qu'il est convenu d'appeler des révolutions scientifiques<sup>9</sup>.

## II. CONFLITS LIÉS À L'ESSOR DE LA SCIENCE.

La science est soumise à des changements. Ils montrent eux aussi l'interaction des éléments de la culture. Le terme de révolution est reçu. Je l'emploie au sens où il a été thématiqué dans l'épistémologie anglo-saxonne qui a bien vu qu'une révolution scientifique était due à un changement de paradigme, c'est-à-dire une manière de voir le monde et d'introduire des procédures nouvelles dans la pratique de la science, en la référant à des idéaux où les anciens prenaient place de manière harmonieuse.

### 1. "Les affaires Galilée"

La science au sens strict a pris son essor en Europe. Un de ses initiateurs fut Galilée. On disait jadis l'affaire Galilée. Il me semble très heureux que l'on parle maintenant, en employant le pluriel, des affaires Galilée<sup>10</sup>. Le pluriel signifie que l'on ne peut réduire ce moment à une opposition entre science et foi, car il y a

---

<sup>9</sup> Cf. Thomas KUHN, *Structure des révolutions scientifiques*, trad. fr., Paris, Flammarion, 1973.

<sup>10</sup> Michel SERRES, *Éléments d'histoire des sciences*, Paris, Bordas 1990. Isabelle STENGERS, "Les affaires Galilée", *op. cit.*, p. 223-249

un ensemble de tensions et d'oppositions qui jouent à tous les plans de la culture. Je ne reprends pas cette histoire que tout le monde ici connaît. Je relève que chaque auteur voit les éléments de la condamnation de Galilée d'une manière qui ne s'accorde pas à ce qu'en disent d'autres. Le dossier établi par le Cardinal Poupard le montre bien<sup>11</sup>.

a) Galilée fut un créateur dans les sciences proprement dites. Il a participé à la fondation de la science classique. Sous quel aspect? 1. D'abord, au plan expérimental puisqu'il fut l'inventeur d'un instrument d'observation nouveau, la célèbre lunette, mais aussi 2. au plan théorique, en proposant une nouvelle mécanique liée étroitement à la représentation idéale des formes et des figures du mouvement. C'est en ce sens qu'il est étudié par M. Clavelin et A. Koyré et par les épistémologues classiques qui disputent sur la philosophie sous-jacente à sa pratique scientifiques (platonisme, archimédisme, ...?). D'autres, comme P. Duhem ou S. Jaki, voient en Galilée un continuateur de la science parisienne<sup>12</sup>.

<sup>11</sup> Card. Paul POUPARD, *Galileo Galilei, 350 ans d'histoire, 1633-1983*, Tournai, Desclée, 1983.

<sup>12</sup> Maurice CLAVELIN, *La Philosophie naturelle de Galilée. Essai sur les origines et la formation de la mécanique classique*, Paris, Armand Colin, 1968. En particulier, le bilan général du rationalisme de Galilée: "Expliquer c'est en premier lieu procéder, à partir d'un certain nombre de principes et de concepts, et au moyen d'un modèle, à une reproduction intelligible des phénomènes. De cette définition découlent aussitôt deux des traits constitutifs du rationalisme galiléen. D'abord la réduction quasi absolue de la nécessité physique à la nécessité rationnelle: une fois abandonné l'idéal causal de la physique aristotélicienne, l'explication n'a plus pour tâche que d'établir entre les faits, devenus conséquences d'un modèle, et les principes directeurs du domaine de rationalité, un rapport d'implication. Mais du même coup l'exigence de simplicité devient un critère physiquement significatif: la nature suit la voie la plus simple, c'est-à-dire au fond, celle qui sur le plan rationnel correspond à la déduction la plus aisée. (...) Ce projet confère à son tour des traits bien particuliers au rationalisme de Galilée. Au niveau le plus général, il le conduit à postuler, et à admettre, que le réel loin d'être irréductible à la raison mathématique, lui est au contraire foncièrement accordé: *Deus posuit omnia in numero, pondere et mensura*: la parole biblique résume bien cette confiance "



L'opposition à Galilée n'est pas celle de l'obscurantisme à la science, mais bien celle de deux sciences au moment où les observations et les démonstrations n'étaient pas absolument probantes, non seulement pour des raisons expérimentales, mais faute d'un langage commun pour s'exprimer et confronter les théories et les résultats.

b) Galilée fut aussi un homme de religion. Il ne s'agit pas de juger du secret des cœurs — Dieu seul en est le juste juge. Ses écrits comportent une réflexion théologique où il traite de la lecture des Ecritures. D. Dubarle et F. Russo ont examiné le dossier de la culture théologique de Galilée et ses sources — ce qui est fort intéressant pour le théologien lui-même. On peut dire que Galilée a obligé la théologie à se poser des questions qui ont habité la théologie fondamentale — en matière d'inspiration et d'exégèse jusqu'à la constitution conciliaire *Dei Verbum*<sup>13</sup>.

Jean Borella voit l'importance de l'œuvre de Galilée, non pas d'abord au plan du développement de la science proprement dite, mais au plan religieux. Il voit en lui le moment charnière du "désenchantement du monde", par la rupture avec le cosmos médiéval, hiérarchisé et porteur de signification. Galilée est l'initiateur d'un cosmos mécanisé, où les significations sont absentes. Il est ainsi au commencement du processus de sécularisation, corrosif de la religion et de la foi<sup>14</sup>.

---

(p. 456-457). Alexandre KOYRE, "Galilée et la révolution scientifique du XVII<sup>e</sup> siècle" dans *Etudes d'histoire de la pensée scientifique*, Paris, Gallimard, 1973, p. 196-212 et *Du monde clos à l'univers infini*, Paris, Gallimard, 1962. Pierre DUHEM, *Le système du monde*, Paris, 1954; Stanley L. Jaki, *The Road of Science and the ways to God*, Edimburgh, Scottish Academic Press, 1980.

<sup>13</sup> Cf. François RUSSO, «Galilée et la culture théologique de son temps», dans l'ouvrage dirigé par P. Poupard, Dominique DUBARLE, dans *Revue des sciences philosophiques et théologiques* 50, 1966, p. 67-87.

<sup>14</sup> Jean BORELLA, *La Crise du symbolisme religieux*, Lausanne, l'Age d'homme, 1990. Marcel GAUCHET, *Le Désenchantement du monde*, Paris, Gallimard, 1985.

c) Galilée est entré dans le débat philosophique universel par les questions qu'il a portées et qu'il a posées<sup>15</sup>.

— Problèmes d'épistémologie. La notion de paradigme mise en évidence par Th. Kuhn — et l'épistémologie moderne — a été élaborée à partir de son œuvre.

— En matière de philosophie de la nature, puisqu'il a introduit une rupture avec la vision antique qui séparait ontologiquement le monde sublunaire, soumis à la génération et à la corruption, avec le monde celeste éternel et parfait. Depuis Galilée le monde est un d'une unité qui se laisse saisir par le discours scientifique, ses lois et sa formalisation mécanique<sup>16</sup>.

— Au plan proprement ontologique, Galilée a ouvert une crise dans la représentation de la réalité. La notion de cause fut vidée de sa pluralité de sens. Depuis lors, elle ne désigne qu'un changement d'état du mouvement. Davantage, si l'on en croit la thèse de P. Redondi, Galilée a contribué à faire éclater la notion de substance en introduisant l'atomisme dans la pensée scientifique<sup>17</sup>.

d) L'œuvre de Galilée a une dimension politique. Selon J.-P. Lonchamp, il aurait été condamné à la faveur d'un changement de politique du Vatican<sup>18</sup>. Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, son procès a servi d'illustration aux thèses rationalistes qui présentaient la religion comme source d'obscurantisme et désireux d'émanciper les nations européennes de l'influence de Rome et

<sup>15</sup> Thomas KUHN, *The copernican Revolution: Planetary astronomy in the development of western thought*, Cambridge, Mass, 1957.

<sup>16</sup> Cf. Jacques MERLEAU-PONTY, *Les trois étapes de la Cosmologie*, Paris, R. Laffont, 1971.

<sup>17</sup> Pietro REDONDI, *Galilée hérétique*, Paris, Gallimard, 1985.

<sup>18</sup> Emile NAMER, *L'Affaire Galilée*, Paris, Gallimard, 1975. Jean-Pierre LONCHAMP, *L'Affaire Galilée*, Paris, Cerf, 1989: "Galilée apparaît comme une victime, d'abord de certaines de ses maladresses, mais surtout d'une conjoncture politique dramatique qui oblige le pape à faire un geste destiné à apaiser ses nombreux adversaires. Galilée a trop facilement oublié que, malgré ses préférences philosophiques, le pape reste avant tout un souverain et un chef politique qui, pour un intérêt supérieur, est capable de sacrifier même un ami. Galilée est une victime de la raison d'Etat" (p. 75).

de l'esprit de la Contre-Réforme, en faisant de Galilée la figure du martyr de la raison. La présentation de son procès dans le prolongement de celui de Giordano Bruno va dans ce sens. La littérature européenne a su trouver en Galilée une figure de martyr de la Raison.

Il n'y a pas une affaire Galilée, mais des affaires, parce que l'on touche avec une science particulière (ici l'Astronomie et la Mécanique) à toute la culture humaine. La référence à Galilée n'a pas pour but de dire le fond de l'affaire, mais seulement de montrer comment la science est en interaction avec les autres éléments de la culture.

## 2. Questions d'aujourd'hui.

La célébration du bi-centenaire de la Révolution française a donné lieu à une réflexion très riche, sur la science autour des années 1800 à Paris. On a relevé en particulier le rôle des savants dans la Révolution qui a ouvert une époque nouvelle dans la culture européenne. La science comme idéal de raison et comme source de pouvoir y joue un rôle majeur<sup>19</sup>. Plutôt que d'évoquer ce dossier et de vous lasser de questions trop liées à la France, je préfère relever quelques traits des débats d'aujourd'hui.

### a) Science et religion

Les renouvellements de la Physique ont permis de redonner sens à un certain nombre de perspectives que le rationalisme scientifique avait écarté. On voit donc avec surprise des physiciens renouer avec une attitude religieuse. On voit se multiplier des ouvrages écrits par des scientifiques qui prolongent leurs études avec le symbolisme religieux. Ce symbolisme est chrétien pour certains qui se réfèrent à la tradition mystique de Jacob Boehme

---

<sup>19</sup> Cf. Denis GUEDJ, *La Révolution des savants*, Paris, Gallimard, 1989.

et à son langage trinitaire. Il est également celui du Tao ou des religions orientales, pour F. Capra<sup>20</sup>.

La théologie chrétienne elle-même est touchée en retour par la science nouvelle. La *Process theology* le fait avec enthousiasme. De même qu'au XVIII<sup>e</sup> siècle les déistes liaient la nécessité des lois de la nature avec l'absolu de Dieu (être nécessaire), des théologiens identifient l'évolution de nature avec le changement en Dieu. Par rapport à eux P. Teilhard de Chardin apparaît comme une garantie d'orthodoxie<sup>21</sup>!

### b) Science et philosophie

Les renouvellements de la science interrogent les philosophes: les paradoxes de la mécanique quantique, les questions sur la flèche du temps sont essentielles à une philosophie de la nature.

Le débat philosophique est enrichi par des concepts nouveaux: système et structure essentiellement qui renouvellent la problématique de la philosophie: non seulement pour l'épistémologie (explication, certitude, objectivité), mais pour la philosophie (Nécessité/Contingence, Causalité/Finalité, Continuité/Emergence, Déterminisme/Hasard, Simplicité/Complexité, Ordre/Harmonie) et donc pour la métaphysique.

### c) Science et politique

Le débat est présent dans les applications de la science à l'industrie lourde et à la maîtrise de l'énergie. Il est présent dans les applications des connaissances biologiques à la médecine, à

---

<sup>20</sup> Basarab NICOLESCU, *Nous, la particule et le monde*, Paris, le Mail, 1985. Fritjof CAPRA, *Le Tao de la Physique*, Paris, Sand, 1985 et la théorisation philosophique de cette manière de lier religion et science physique, *Le Temps du changement. Science-société-nouvelle culture*, Monaco, Edit. du Rocher, 1983.

<sup>21</sup> André GOUNELLE, *Le Dynamisme créateur de Dieu. Essai sur la théologie du Process*, Numéro spécial de la revue *Études théologiques et religieuses*, Montpellier, 1981. Cf. Jean-Michel MALDAME, "Cosmologie et théologie. Étude de la notion de création dans la théologie nord-américaine du 'Process'", dans *Revue Thomiste*, 1986, p. 90-114. Cf. Nicole BONNET, *Immanence et transcendance chez Teilhard de Chardin*, Paris, Cerf, 1987.

l'enseignement et aux programmes scolaires. Au cœur de ce débat, il y a la question du rapport entre le naturel et l'artificiel.

Les théologiens, les moralistes et les philosophes sont souvent enfermés dans leur spécialité. Il est nécessaire de mener un dialogue rigoureux entre eux pour accéder à l'unité. Le modèle présenté en trace l'épure. Il montre les raisons des déformations et des impasses lorsqu'un pôle prend trop de place et qu'il écrase un ou plusieurs autres: le scientisme est dû à l'ignorance de la philosophie; le positivisme vient du fait que le langage des symboles est méconnu; le totalitarisme est dû au mépris du politique et de ses fins propres.

### III. SCIENCE ET SAGESSE, LE DON ET LE PARDON

Notre siècle a fait l'expérience amère que la science est un instrument de mort. Elle n'est pas seulement artisanne de la mort, parce qu'elle a donné de moyens plus puissants pour tuer — armes atomiques et chimiques —, mais parce que sa rigueur est corrélative de l'oubli de l'homme et de l'indifférence à des repères éthiques.

Pour la foi chrétienne, ces interactions qui font la culture sont reprises dans une dynamique différente, qui est faite à la fois d'une perspective plus vaste et d'un sens du singulier plus affiné. La foi replace la pratique scientifique dans une attitude d'ensemble qui porte à son accomplissement ce qui a été dit. Je vais suivre le chemin qui est indiqué dans la Bible et qui est resté au cœur de la tradition chrétienne et concerne toute autre foi monothéiste.

#### 1. La logique du don

Ce chemin commence de manière assurée "à la naissance de l'histoire", c'est-à-dire dans les récits qui rapportent la vie des rois d'Israël.

##### a) Le roi Salomon

Le Roi Salomon est présenté comme le sage par excellence. Le texte biblique dit: "Dieu donna à Salomon une sagesse et une intelligence extrêmement grandes et un cœur aussi vaste que le

sable qui est au bord de la mer. La sagesse de Salomon fut plus grande que la sagesse de tous les fils de l'Orient et que toute la sagesse de l'Égypte. Il fut sage plus que n'importe qui, (...) et sa renommée s'étendait à toutes les nations d'alentour. Il prononça trois mille sentences et ses cantiques étaient au nombre de mille cinq. Il parla des plantes, depuis le cèdre qui est au Liban jusqu'à l'hyose qui croît sur les murs; il parla aussi des quadrupèdes, des oiseaux, des reptiles et des poissons" (I R 5, 9-14). Cette figure royale, où paraît l'idéal de la science, est mise en œuvre dans les réalisations de Salomon qui sont la construction du temple et des palais, le commerce et les alliances avec les puissances étrangères, et, enfin, la justice et le discernement du bien et du mal<sup>22</sup>.

La figure du Salomon a été étendue par la tradition biblique de manière à dire l'universalité de cette attitude. D'une part, elle est proposée à toutes les cultures. Ainsi la Tradition attribue à Salomon la rédaction de plusieurs livres de la Bible hébraïque et, de manière particulière, le livre écrit en grec *la Sagesse de Salomon*. D'autre part, la Bible rapporte la figure de Salomon à l'inaccessible origine. Adam est présenté, dans les premières pages de la Bible, comme l'universalisation de ce qui a été en Salomon, pour bien manifester qu'il y a dans la Révélation faite à Israël quelque chose d'universel<sup>23</sup>.

#### b) Le destin universel

Au centre du premier jardin, imaginé à la ressemblance de la terre promise, se trouve l'arbre de la connaissance du bien et du mal qui est aussi nommé l'arbre de la vie. L'homme est gardien du jardin comme Israël de la terre qui lui a été donnée par Dieu. L'homme a perdu le jardin comme le fit Israël, parti en exil à cause de son péché. Ce péché a rapport avec la connaissance

---

<sup>22</sup> Cf. Paul BEAUCHAMP, *Introduction à cinq textes sapientiaux*, Paris, Centre Sèvres, p. 14-18.

<sup>23</sup> Cf. Pierre GIBERT, *Bible, mythes et récits de commencements*, Paris, le Seuil, 1986.

du bien et du mal. La main mise sur l'arbre par l'homme dit que l'homme a perdu conscience que ce qu'il a vient de Dieu. Ce n'est ni la science, ni la philosophie, ni la politique, ni la religion qui sont mauvaises, elles sont bonnes, mais elles se pervertissent si on oublie leur source. La science, la philosophie, la politique, la religion sont source de mort — l'actualité ne me dément pas. L'histoire de Salomon, universalisée dans la figure du premier Adam, nous dit la raison de cette corruption: le refus de recevoir le don de Dieu comme un don et le désir mauvais de mettre la main sur lui, comme si on en était le créateur<sup>24</sup>.

La reconnaissance que ce qui existe est un don entraîne une attitude qui place la culture humaine dans une dynamique qui lui fait porter un fruit heureux. Cette reconnaissance invite au respect de ce qui est — de tout ce qui est — sachant qu'en tout il y a plus que ce que peut donner la puissance de la science. Cette affirmation est équivoque. En effet, son sens dépend de la manière dont on la pense: cautionner la déraison, ou bien plutôt reconnaître que la science doit reconnaître qu'elle doit se défaire de la prétention à saisir ce qui est. La science a pour ennemies, non seulement la superstition ou la précipitation du jugement — qui sont des formes de paresse —, mais aussi la rationalisation qui refuse a priori tout ce qui lui est étranger. Cette prétention totalitaire en fausse l'usage. Sa légitime autonomie devient totalitaire.

Il en va de même pour tout autre domaine de la culture: la religion devient idolâtrie; la politique devient culte de la personnalité ou mystique du chef; la philosophie devient gnose ou ésotérisme, ... Pour être elle-même, la science doit laisser la

---

<sup>24</sup> Cf. Paul BEAUCHAMP, *L'un et l'autre Testament*, t. II. *L'accomplissement des Ecritures*, Paris, Le Seuil, 1990. Maurice BELLET, *L'Immense*, Paris, Nouvelle Cité, 1987. Cf. Jean-Michel MALDAME, "L'itinéraire de Maurice Bellet. Une phénoménologie de la création", *Revue Thomiste*, 1988, p. 299-314.

raison être au service de la pensée, et la pensée ouverture au réel qui est donné par un Autre, le Créateur<sup>25</sup>.

## 2. Plus que le don, le pardon.

Ce que je viens de dire du don premier qui est appelé création, vaut pour le don second qui l'accomplit et qui est pardon. En ce surcroît du don, la religion s'accomplit dans la charité, la philosophie dans la lumière de la foi, la politique dans l'espérance de la nouvelle Jérusalem.

Pour revenir au schéma présenté dans la première partie, je place les quatre sommets du tétraèdre dans une sphère où il trouve son équilibre. Ce n'est qu'une image — et comparaison n'est pas raison — mais cela place au premier plan le dynamisme et l'unité. Cette sphère est la sagesse au sens de l'Écriture. Cette sagesse est accueil du don et du pardon. "La commencement de la sagesse est la crainte de Dieu" dit le Psaume — entendons non pas la peur, mais le renoncement à la prétention. Ce renoncement touche à la science, mais aussi à l'imaginaire de la science et de ses pouvoirs.

La pensée ne commence pas par le calcul. La pensée commence et recommence dans un acte premier qui vient d'un autre dont la nature est d'aimer. La connaissance du monde est alors plus que la description minutieuse de ce qui est. La maîtrise des éléments est plus que l'affirmation de son pouvoir. Le monde apparaît comme un signe fait par son auteur. L'idéal de la science est alors pris dans une perspective où le monde est le lieu de la manifestation d'une parole première.

Cette parole n'est pas la sacralité du chiffre, de la lettre ou des éléments du monde; elle est un appel. Appel à se dépasser, appel à aller de l'avant. Cet appel reconnaît qu'il y a un sens. Le mouvement qui a commencé avec le premier don s'achèvera dans l'universelle réconciliation. La science s'accomplira dans la charité. La philosophie dans la vision. La vie sociale dans la

---

<sup>25</sup> Cf. Pierre MAGNARD, *Nature et histoire dans l'apologétique de Pascal*, Paris, Les belles lettres, 1975.



lumière de la cité de Dieu. Sur ce chemin ce qui est premier, c'est la charité. Or la charité est active. Elle est heureuse d'avoir des moyens pour agir et aider, et prolonger ce que faisait Jésus: guérir, purifier les corps et les cœurs, libérer, enseigner, apprendre à prier, ... Elle invite l'intelligence à aller de l'avant pour mieux connaître l'homme et ce qui lui permet de vivre: la vie et l'intime des forces de la nature. Elle est aussi une invitation à mettre en œuvre ce qui est dit de la liberté et de la foi. Pour cette raison, la science est née dans l'Europe marquée par le monothéisme et pur l'idéal de la charité, amour du proche dans le concret.

### Conclusion

La science nous est apparue comme un savoir noble et élevé. Cet idéal reste présent dans les disciplines particulières ou savoirs spécialisés. Elle est en tension créatrice avec les autres éléments de la culture: la science en dépend, elle les éclaire et leur donne une forme par ses rigueurs et ses audaces.

Le modèle que j'ai présenté montre que les oppositions dualistes ne sont pas satisfaisantes. La science ne s'oppose ni à la religion, ni à la philosophie, ni au politique; elle n'est ni soumise, ni dominatrice en ces domaines, car il s'agit de moyens spécifiques qui sont en interaction par des voies plurielles, directes ou indirectes et toujours réciproques.

Si la culture désigne la capacité qu'a l'homme de s'accomplir lui-même par ses propres forces, puisque Dieu a remis l'homme à son propre conseil, alors la conscience claire que la vie de Dieu est don et pardon donne à cette responsabilité humaine sa pleine dimension. "La gloire de Dieu, c'est l'homme vivant et la vie de l'homme, la vision de Dieu", disait S. Irénée pour réfuter la fausse gnose, lui qui, par la foi, avait accès à la vraie gnose.

## DISCUSSION

MALU

Je tiens à féliciter le Père Maldamé pour son exposé très attrayant, très brillant. Du moins pour ceux qui le suivent en français. C'est bien dit. Vous êtes père dans la bonne tradition de Saint-Dominique, un orateur. Ceci étant dit, votre modèle du tétraèdre est attrayant; attrayant mais un scientifique pour comprendre a besoin de simplifier. En simplifiant, on aboutit ou on risque de croire que le monde est simple. Or quelqu'un a dit que, si le monde était aussi simple qu'on le pense, notre esprit serait si simple que nous ne serions pas à même de le comprendre. Avec votre modèle du tétraèdre vous étiez, Père Maldamé, bien parti; mais vous avez terminé en parlant de non-opposition entre, en particulier, science et foi, prenant en quelque sorte le contre-pied de ceux qui affirme qu'il y a opposition. Et le fait d'affirmer qu'il y a opposition ou pas opposition c'est déjà simplifier. Ma remarque est que les choses sont complexes, tellement complexes qu'il n'est pas bon, qu'il n'est pas sain de parler d'opposition et de non opposition; parlons simplement d'interaction. Et votre modèle, c'était cela précisément: simplement affirmer qu'il y a interaction entre les quatre pôles; que l'on pourrait bien entendu, simplifier en parlant d'opposition et de

non opposition. Mais cela c'est trop simple pour être vrai. Je vous remercie.

JAKI

I felt a little disappointed when you started with the remark that you have discarded the original form of your presentation that had a title which included a very specific reference to the historical perspective of the interaction between science and culture. It is to that historical perspective that I would like to address myself, with a few factual references.

First, you remarked that Kant and Hegel were those great philosophers who dialogued with Newtonian science. Neither of them did it, for the very simple reason that neither could have read beyond the first page of the Principia. Kant pretended to dialogue not with Newtonian physics, about which he knew practically nothing, contrary to clichés, (and I have shown that in a large book on Kantian scientists), but with something very different, Newtonian philosophy, which Newton had a very small part in creating.

Second, as to Hegel, anybody who read his three volumes of the Encyclopedie of Wissenschaften, which is now available in English, so that even those in the English-speaking world who do not read German have no excuse not to know it, will realize he was mad from start to end. The only solution, the only way to cope with that madness of those three volumes, that is natural sciences, is to use the Hegelian method of aufheben, which in plain English means «to talk of ideations». With respect to the Galileo case, it boils down to a very simple case: the Church was right from the scientific viewpoint, and Galileo was right from the theological viewpoint. A complete farce: contrary to Galileo's claims, he did not provide experimental proof of the motion of the earth.

You refer to a letter to Gernbach: he had a good benedictine friend, Father Castelli Benedetti, who provided him with wonderful quotations from Augustine, Jerome and other Church fathers, concerning the caution with regard to certain passages of the Bible concerning the motionlessness of the earth.

If there is any comfort to be taken in this place, which is actually the Pontifical Academy of Sciences, about the Galileo case, it is the following: a very little known fact, but a fact. The Pope at that time was Paul V, a very strong-willed man, a lawyer by training, who was accustomed to rule by decrees. Nobody, neither the Dominicans nor the Jesuits, could appeal against his decrees. For instance in the famous dispute on freedom of will and grace: they had to obey him. Now already Paul V in 1616 was ready to come out with a peremptory declaration of behalf of the motionlessness of the earth. This might have put — might have — the doctrine of papal infallibility into serious jeopardy. Nobody knows why, but, at the last minute, he let the whole issue drop into the lap of Cardinal Bellarmino, an extraordinary cardinal, but nonetheless just a cardinal, not infallible.

My third remark concerns your reference to the French historian of science, concerning Galileo's destruction of the incorruptible, divine heavenly sphere. Galileo had nothing to destroy there, because that divine heavenly sphere had already been destroyed three hundred years earlier through the work of Buridan Endorer.

When we talk in western intellectual history of Voltaire as the great proponent of the clock-work universe, we must realise that, as a Frenchman, he merely borrowed it from Nicol Orer, who profusely spoke about the universe as a clock-work already around 1370 or so.

Last, regarding Solamon: you have given us a very inspirational, metaphorical interpretation of Solamon on which as a scientist I cannot have a hold. I appreciate it as a theologian or as a humanist, or as an artist, but as a scientist I cannot have a hold of it.

I wish you had quoted the phrase not from the book of Caves but from the Book of Wisdom, written in Alexandria around 150 b.c. In the Book of Wisdom, which is not recognised as canonical by the Protestants or by the Orthodoxes, though it has always been canonical within the Roman Catholic Church, there is a passage (Chapter 11, verse 20) where, speaking about God, the author of the Book of Wisdom says «he arranged everything according to measure, number and weight». A

magnificent scientific statement, «measure, number and weight». But not only that. As the foremost Protestant historian of medieval literature wrote in a wise book, published in 1952, this phrase from the Book of Wisdom «God arranged everything according to measure, number and weight» was the most often quoted biblical phrase through the Middle Ages. In other words, that phrase must have made some intellectual impact if it was the most often quoted biblical phrase.

Finally the point on which I must disagree with you. The above are just clarifications, but I must disagree with the last remark that «science purifies the heart». Science purifies chemical solutions, science can purify uranium, science cannot purify the heart. This statement of mine is merely an echo of a famous remark by Albert Einstein made to a reporter of the New York Times, which was quoted in big headlines. It was 1951 and the New York Times was asking precisely this type of question from Albert Einstein, who remarked «the only thing to purify today is not uranium but the human heart». Obviously he meant that physics, however powerful, cannot do the job.

## PULLMAN

Mon Père, permettez-moi en premier lieu de me joindre aux paroles de Monsieur Malu; je vous félicite beaucoup pour le contenu et également pour la beauté linguistique de votre exposé. Vous avez avancé une proposition disant que le développement de la science, est lié au développement du monothéisme. C'est infiniment tentant comme proposition car on conçoit très bien que, quand il y avait un petit Dieu derrière chaque buisson, on n'avait pas de raison de chercher des causes naturelles. Seulement, je crois que, quand même, vous simplifiez infiniment, et qu'en réalité la chose est beaucoup plus complexe du point de vue historique. Le monothéisme naît, nous le savons très bien d'Abraham, il est né au sein du peuple juif, au sein du peuple d'Israël. Le peuple d'Israël a vécu une existence plus ou moins indépendante pendant quinze siècles et on doit dire qu'il n'a, pendant cette période, pratiquement contribué en rien à la science ni à ses progrès. C'est surprenant, il a contribué beau-

coup moins que les égyptiens et les babyloniens. Ce n'est certainement pas, si l'on peut dire, les jeunes scientifiques qui manquaient, parce que si on en juge par la position du peuple juif d'aujourd'hui qui représente 0,2% de la population mondiale, 20 à 25% des Prix nobel sont juifs. Par conséquent, il y avait là probablement une potentialité scientifique; mais rien n'a été produit. Je crois que ça dépend de la nature, et de la durée du monothéisme. Parce que le monothéisme d'Israël sacralisait le monde à tel point que pratiquement il interdisait presque toute recherche scientifique individuelle. Et, en fait, je crois qu'on distingue plutôt au sein de l'antiquité un antagonisme entre Athènes et Jérusalem, qui est une tendance à une incompréhension mutuelle, l'antagonisme étant dans une certaine mesure due au monothéisme farouche, acharné du peuple juif.

Il y a bien une période helléniste dans l'histoire d'Israël, mais les hellénistes étaient plutôt considérés comme des traîtres par rapport à la conception juive. Le contact réel entre les philosophes grecs et les défenseurs du monothéisme juif s'est établi beaucoup plus tard, au Moyen-âge, au sein, justement, de cette collaboration arabo-judaïque d'Espagne, qui a essayé effectivement d'introduire une corrélation, un accord entre les conceptions, disons, philosophiques ou scientifiques de la jeunesse et les propositions des savants grecs. Donc, c'était plus délicat que cela n'apparaissait dans votre proposition.

## POLANYI

Perhaps I could start with a frivolous introduction which is that I came here through Germany and, at the Munich Airport, I was approached by a social worker who was asking everybody who they were and where they were travelling. I explained that I was a scientist and coming to the Pontifical Academy of Rome and she wasn't satisfied and asked why the Pontiff would be interested in science. And so I said that I would ask. Here is my opportunity, after Father Maldamé's nice presentation!

He spoke of the unity of culture, and divided the pursuit of truth, which I take to be culture, into four elements: science, philosophy, politics and faith. Three of these elements I

recognise at once as being developing elements – I now come to two questions I have for Father Maldamé.

The first really would be a relatively simple one: is it proper to think of faith and religion as a developing element in culture? Developing through the ages. My second question: could he exemplify for us perhaps in the last, recent centuries, the influence that science has had on the development of faith and religion, assuming of course that his answer to my first question is in the affirmative?

It would be easy for a scientist to show the traffic in the reverse direction, from religion to science. Thinking, for example, of Einstein who repeatedly explained that he was being guided by his concept of how God had created the world. He of course objected to certain elements of quantum mechanics on the grounds that he felt this was not in conformity with a view of creation that he could accept. So he was being guided by symbolism, he was being guided by faith. I wanted to ask about the traffic in the reserve direction, from science to religion.

## HELLER

Between everyday life, theology, science and philosophy, we could have in mind this beautiful picture of this beautiful platonic solid, with science, theology and so forth, at the top, and almost a diagram of interactions between these domains of human activity.

In physics it is well known that two particles, called fermions, the constituents of ordinary matter, interact with each other by exchanging another particle, called boson, which is a quantum of a given field.

I think that something similar, of course it is only an analogy, takes place in the interaction we are interested in. The role of the bosons is played by certain concepts which are exchanged between, say, science and philosophy and ordinary language. Sometimes they are not only exchanged, but there is something like a migration of concepts.

Let us have an example. The concept of time. It was born in the common language and then philosophy took over that

concept, elaborated it, changed its meaning. It went to science where the same process was repeated. Then perhaps the concept of time went back to philosophy, to common language. We can observe in the history of science many cycles of such changing of concepts. I think it is a nice, culturally important, interaction mechanism between these fields of human activity.

We can think of other concepts: of matter, of space, of causality and so on. It would be interesting and fascinating, from the historical point of view, to study more, and in more detail, such concrete examples.

## TOWNES

Well I appreciate this discussion and find it interesting. I have always had difficulty with people who try to contrast science and faith. The reason is that I don't see how one can do science without faith. Science is not simply reason. To start science, one has to believe that the world is understandable. One has to believe that thoughts have some meaning, that the world out there is not, let us say, Bishop's Berkeley's world, which is simply some arbitrary construct of the individual. That kind of faith is absolutely necessary for it to make any sense to do science or to think about science. It means that you can hope to understand, and the world is understandable.

So the separation between science and faith has never made any sense to me. It seems to me that one might talk about what kind of faith one has, what one has faith in. Faith itself in that form is quite essential however.

Another problem I have is the frequent separation between science and religion in any fundamental way. It seems to me that basically science is an attempt to understand the universe and any part of it, even the reasons for it, even the beginning. That is an attempt that may turn out to be unsuccessful, not possible. Nevertheless that is the drive of science, to understand the universe.

I would believe that that is the drive of religion too: to understand the universe. That is what it is all about. That is its meaning. There is a different emphasis, but they seem so closely



united to me in the general purpose and in the long run, that they must somehow come together. These different parts of knowledge are really not different parts but only a temporary way of looking at things.

In translation, I thought I heard you say that science was unethical. If I understood it correctly, I would like an explanation of what you mean. What you meant was maybe simply that science does not approach ethics. Had nothing to do with ethics rather than being contrary to it. If so, then I understand it better.

Nevertheless the general assumption that many people have, and many people state overtly, that science does not deal with values, ethics or values, again I have always been puzzled by. It seems to me that science teaches certain values very deeply, namely the value of truth. Truth is not only highly valued by scientists, but a scientist is taught very quickly that if he doesn't value truth, it is easy to fall by the wayside, and not to science. Any kind of scientific work immediately teaches a scientist the value and the importance of truth.

So in some sense too it seems to me that science is not so completely separated from those senses of values. I guess maybe I am having trouble making all of these distinctions so completely between the different fields of thought.

## JANSSEN

Mon Père, dans vos propos très éloquents et très intéressants d'ailleurs, vous avez parlé entre autres de la naissance de la science, vous avez défini comme un idéal de savoir très noble et élevé. Ceci est probablement de nature à flatter ceux qui s'appellent «hommes de science» parce que la science, depuis un certain nombre d'années est également devenue un métier, par conséquent il y a des hommes de science. Je me demande si la science ou la naissance de la science n'est pas beaucoup plus simple. Il me semble qu'il est évident que depuis des millénaires il y a eu des enfants doués qui simplement par curiosité, par besoin inné de se divertir, — comme le disait Pascal — ou de jouer des jeux intellectuels, se sont posés des questions simples.

Je voudrais donner deux exemples pour dire plus clairement ce que je pense. Il me semble que depuis des millénaires il y a eu d'innombrables enfants qui se sont posés une des premières questions mathématiques, c'est-à-dire: «quelle pourrait être la relation entre la circonférence d'un cercle et son diamètre?» En d'autres mots, ils ont essayé de mesurer de façon de plus en plus précise la valeur  $\pi$  et, encore actuellement, on utilise des machines qui essaient d'atteindre des précisions incroyables toujours pour la même  $\pi$ . Je voudrais également vous dire que le fondateur de la physique expérimentale moderne, Robert Boyle, un irlandais, n'a jamais été à l'école, et à l'âge de 15 ans il a inventé ces fameuses lois des gaz qui concernaient les volumes et les pressions des gaz, ayant, comme seule motivation, un besoin de se divertir et surtout de ne pas s'ennuyer. Il l'a d'ailleurs décrit dans une autobiographie, qui vaut la peine d'être lue; donc je me demande s'il n'est pas plus réaliste de définir ou de dire que la naissance de la science — de ce que nous appelons la science — est simplement le fait qu'un certain nombre d'individus, d'enfants, hommes et femmes, sont nés avec une espèce de curiosité innée et que ça n'a absolument rien à voir avec, entre autres, la religion, la philosophie ou que sais-je?

## GERMAIN

Merci Monsieur le Président. J'ai apprécié cette communication, le schéma du tétraèdre. Au total, malgré tout, je dois faire part d'une certaine déception car, puisque nous invitons une personnalité extérieure à notre Académie, ce que j'aurais aimé entendre discuter, c'est la partie qui a été trop rapidement esquissée; c'est de savoir: «actuellement dans les cercles que vous fréquentez, mon Père — c'est-à-dire les philosophes, les théologiens, — dans les cercles culturels que nous côtoyons mais que nous connaissons peut-être assez mal — vus de l'extérieur où vous vous trouvez — quelles sont les questions que vous posez l'état de la science actuellement, quels sont les lieux des débats?» Parce que là, si vous nous aviez dit quelles étaient vos questions ou les questions de ces cercles que je viens

d'évoquer, alors nous aurions pu essayer de les clarifier. Vous avez parlé des relations de la physique et du taoïsme, mais d'une façon trop vague pour que l'on puisse commencer un échange de vues: de la *procès-théologie* oui; mais enfin est-ce que c'est vraiment dans le contexte que vous fréquentez à Toulouse, dans votre couvent, avec vos frères, avec les personnes que vous voyez à l'Université de Toulouse? Est-ce que c'est vraiment la question? Alors, je crois que là j'ai été déçu, — non pas par tout ce que vous avez dit —. Vous nous avez parlé de la science et de la sagesse, mais au fond c'était un problème qui s'adressait simplement à ceux d'entre nous qui pratiquent la foi, en particulier dans la tradition judéo-chrétienne; enfin ce n'était pas exactement ça que nous attendions; et je voulais simplement dire que, si à l'Académie nous faisons appel — et je crois que c'est une bonne chose — à une ou deux personnes étrangères à notre Académie, c'est pour qu'ils nous posent des questions auxquelles nous pourrions peut-être répondre essentiellement.

## RAO

To me in very simple words religions and philosophies of the world — whether Buddhism or Christianity or Hinduism — have an element of distilled wisdom in some way; as they view a new concept, a new way of life of man. For example, the concept of love, of humanity and so on.

It would be very difficult for science to come with such concepts and distill wisdom anyway. However, this faith is necessary for all men, including scientists, to pursue their own profession, to face the world.

I was wondering how these two were ever linked. What I am saying is that in science itself, or in the work when we pursue science, at best we pursue knowledge. Whether we will ever be able to get wisdom of the kind we pursue elsewhere, through philosophy and religion, is a bridge that is very difficult to cross, in my view. I don't know if we ever will be able to cross that bridge through science, or if the two should remain separate, with our pursuing science because we already have faith.

## DE GIORGI

J'ai remarqué que, lorsqu'on a parlé de Salomon, il y a une analogie assez profonde entre Salomon et Socrate qui est un peu le symbole de la sagesse grecque. Les Grecs ont commencé leur vie avec la reconnaissance de l'ignorance. Je crois que cela est un caractère constant de la sagesse et de la science. Le scientifique toujours commence par reconnaître qu'il y a beaucoup de problèmes qui ne sont pas résolus. Une caractéristique, à mon avis, de la richesse scientifique est le fait que les problèmes non résolus sont toujours plus nombreux et plus importants que les résultats obtenus. Une autre observation que je voudrais faire c'est que lorsqu'on a parlé des sciences expérimentales, on doit peut-être parler de trois types de science en mathématiques. Mais même si l'on considère une seule discipline, comme la physique, on trouve deux genres de phénomènes: l'un, qu'on peut observer et reproduire à plaisir, par exemple la chute d'une pierre; mais il y a des phénomènes que l'on peut observer mais pas changer ou reproduire; par exemple, le mouvement de la terre. Et en plus il y a des phénomènes qu'on ne peut ni observer directement ni reproduire, comme les big bang; on peut simplement supposer qu'ils ont eu lieu par suite d'une action bien précise: l'action de la stabilité des lois naturelles, en particulier des lois physiques. Pour la même raison, on peut dire que parmi les objets de la science il y a différents niveaux de réalité des objets. Par exemple, on a des objets visibles, tangibles (la table, la pierre), et des objets plus ou moins admissibles, comme les quarks. Il y a certaines choses que l'on peut considérer de pures abstractions mathématiques comme les champs. Je ne sais pas si une confrontation entre philosophes et physiciens par exemple, ou aussi entre philosophes et biologistes, serait possible au sujet des diverses explications qu'on peut donner aux termes existence et réalité. Pour les mathématiques évidemment le niveau de réalité est le plus faible possible pour le mathématicien, il existe une infinité de nombres entiers et une infinité encore plus grande de nombres réels, etc.; ceci constitue le plus faible des niveaux du terme existence.

Je ne sais pas si quelqu'un a examiné les différents formes de l'existence dans la réalité, dans les sciences mathématiques, physiques et dans les sciences humaines.

### CROXATTO

Je voudrais remarquer que je ne suis pas déçu du tout, comme Monsieur Germain, par l'exposé du père Maldamé, je crois qu'il nous a apporté des lumières sur beaucoup de choses. Mais il y a une question que je voudrais poser. C'est la question de l'amoralité de la science. Je crois que la science elle-même, — le résultat, l'information qu'elle nous donne —, est tout à fait amonale. But there is something that is related with sagesse, with wisdom. I mean that, particularly in our times scientific knowledge is very important. There are so many problems today which didn't exist before. Wisdom I think is related to man's actions. When man has knowledge, he is not for that a wise man, this is not sufficient. Wisdom is manifested when man acts, when he applies that knowledge. I think that in this way scientific knowledge can help wisdom. It is not a question of judgement, but better judgement can be reached, if you have knowledge. I think in our time therefore scientific knowledge is very important indeed.

### LEJEUNE

Monsieur le Président, je voulais simplement remercier le Père Maldamé pour avoir cité Saint Irénée; «gloria enim dei est homo vivens» c'est la définition de la génétique humaine.

### LICHNEROWICZ

Le Père a posé, pour moi, des problèmes extrêmement intéressants. Je voudrais faire deux remarques simplement. La première ne m'a pas paru évidente mais je crois que cela a déjà été dit: les rapports entre monothéisme et mathématiques. Les mathématiques sont nées en Grèce en effet à une époque où l'influence juive du monothéisme n'existait pas; et elles ont con-

sisté en voir, à l'époque, dans une situation où mathématiques et philosophie étaient encore indistinctes — comme on le voit chez les Eléates par exemple — la nécessité de bâtir, au prix d'une ascèse, un discours qui soit contraignant pour l'autre, capable par sa forme même — c'est un rêve pour le moment — d'interdire le refus de son contenu. Quel est le prix de cette ascèse, qui est un sacrifice de la pensée? En fait, les mathématiques doivent ne s'occuper en rien d'ontologie. J'en reste là parce que ce serait trop long.

## MALDAMÉ

Vos remarques demanderaient des développements très longs. Je ne vais pas abuser de votre temps.

1. D'abord, j'ai présenté avec beaucoup de précautions mon schéma en disant que "comparaison n'est pas raison"; il n'est qu'une simplification pédagogique et je n'entends pas faire de ce modèle un archétype explicatif pour l'ensemble du monde. Un tel schéma joue un double rôle; d'une part, il permet de sortir de l'opposition entre la foi et la science - hélas très courante dans la modernité - et, d'autre part, il respecte la spécificité des divers savoirs. La science est science et se distingue de la politique. Elle est différente de la théologie et de toute connaissance religieuse. La présentation de ce schéma avait pour but de libérer l'esprit d'antinomies illusoires et de bien marquer la spécificité des objets de connaissance.

2. La deuxième difficulté vient du fait qu'on m'avait demandé de m'appuyer sur l'histoire des sciences. En cette matière, on est pris entre deux feux. Si on prend un point de vue particulier, on n'est compris que par les spécialistes; si on fait un tableau d'ensemble, on est obligé de faire des simplifications tant en matière scientifique que philosophique.

3. La question du monothéisme me paraît extrêmement importante. Elle se pose ainsi: "quelle est l'incidence du christianisme sur la naissance de la science?" Pour répondre à une telle question, il faut une double démarche. Il faut d'abord faire oeuvre historique en relevant que la science est née en Grèce; elle s'est développée en Occident chrétien. Pour le comprendre, il faut ensuite voir quels sont les liens structurels entre la foi monothéiste et les attitudes intellectuelles qui président à la science. Il y a une harmonie profonde entre le contenu du monothéisme qui désacralise le monde et l'émergence de la science.

Le monothéisme a plusieurs visages. Il y a le monothéisme abrahamique ou hébraïque (mosaïque), mais il y a aussi le monothéisme philosophique présent en Grèce. Etait-il déjà présent en Egypte? la question est ouverte: si oui, il faut alors quelle fut l'influence de ce monothéisme sur la culture mosaïque. Ce qui est sûr c'est qu'il y avait en Grèce une volonté de récuser le sacré. Une fusion de ces monothéismes a été faite très tôt. On le voit de manière exemplaire dans le discours de d'Athènes (Act XVII, 22-31) où Paul utilise, dans sa présentation du monothéisme chrétien des arguments empruntés aux philosophes grecs. Ce discours de Paul est au terme du mouvement de pensée auquel j'ai fait allusion qui s'est développé sous la patronage de Salomon dont le *Livre de la Sagesse* est une oeuvre majeure. La rencontre entre le monothéisme grec et le monothéisme biblique a porté ses fruits dans la culture chrétienne. Pierre Duhem a montré comment les Pères ont intégré la conceptualité philosophique pour formuler leur foi. Il montre que cette unification a permis l'essor ultérieur de la science en Occident. La thèse de l'origine chrétienne de la science ouvre sur une autre question en lien avec le caractère expérimental de la science.

4. Le souci pratique de la science est lié non pas tant à une théologie de la création qu'à une théologie de la charité, qui est par essence concrète par le service rendu à celui qui est dans le besoin. C'est ce besoin concret de soigner, de bâtir et d'organiser qui a présidé au développement des connaissances.

5. Vous m'avez fait une autre remarque sur le problème des rapports entre la foi et la religion et le développement culturel. J'ai introduit dans mon exposé une distinction périlleuse mais utile entre la foi et la religion. J'ai employé le mot religion dans le sens le plus général possible pour cette attitude humaine qui utilise un mode d'expression symbolique. La foi ne se réduit pas à la religion, même si elle emprunte le langage de la religion. La foi au sens spécifiquement chrétien est dans le rapport personnel avec Jésus-Christ. La foi suscite et habite la religion; mais toute religion ne se confond pas avec la foi. Quand je parlais de religion, c'est de la religion dans le sens le plus large possible.

6. Vous m'avez demandé des exemples récents de l'incidence de la foi sur le développement de la science. Je le relève en cosmologie. Cette science est fondée sur la conviction de l'unité de l'univers et sur l'universalité des lois qui le régissent. Cette conviction explicite le monothéisme de la théologie classique.

Une telle influence n'est pas immédiate. Si elle voulait l'être, ce serait dangereux parce que depuis le XVII<sup>e</sup> la science est devenue un savoir spécialisé. Le lien entre cet objet spécialisé et la visée religieuse ne se présente pas immédiatement. Le rapport se fait plus largement dans des motivations et dans un contexte culturel. Les convictions religieuses d'Einstein - son rapport au judaïsme - n'entrent pas dans l'exposé purement scientifique de la relativité. Mais il n'empêche que quand Einstein se réfère aux motivations de la science, il fait référence à la religion cosmique. Je ne pense pas que l'on puisse trouver une incidence directe de la foi sur un point de la science.

7. Du point de vue qui est le mien - point de vue d'un théologien français - les théologiens informés de connaissances scientifiques sont trop peu nombreux. Il y a eu une génération de prêtres qui ont voulu faire le lien entre la science et la foi. Beaucoup sont devenus spécialistes d'une branche mais il n'ont plus pu faire de la théologie car celle-ci demande un investissement intellectuel important. C'est la raison pour laquelle le dialogue entre la science et la théologie ne peut se faire que par des groupes de réflexion pluridisciplinaires. C'est ce que j'essaie de



faire à Toulouse dans le cadre de la Faculté de théologie. On a constitué un groupe de réflexion pluridisciplinaire, orienté sur le problème de la science où se rencontrent des philosophes et des scientifiques. Nous réfléchissons actuellement sur les problèmes de l'intelligence artificielle. Ce genre de travail permet de faire dialoguer la science et la théologie. Le nombre de théologiens compétents et intéressés par ces questions est relativement réduit - du moins en France.

8. Enfin, je remarque que la science est une ascèse dans la quête de la vérité. Elle rejoint la discipline qui fait partie de toute sagesse religieuse. Pour chercher Dieu, il faut renoncer à un certain nombre de préjugés. Il n'y a de sagesse que par un tel renoncement. Une telle attitude rejoint la tradition spirituelle; elle fait aussi partie de l'honneur de la recherche scientifique.

CHAGAS

Merci beaucoup, Père Maldamé. Je dirais que votre présentation a eu un succès parce que vous avez eu quatorze interventions et même une quinzième qui est la seconde intervention de Lejeune. D'autre part, je dirais que ces interventions montrent que nous sommes ici dans un forum de discussion parce que vous avez eu des critiques, vous avez eu des éloges. Ça montre que nous sommes ici pour débattre ou discuter, n'est-ce pas, et je vous en félicite et je vous remercie beaucoup.

Je sou mets à votre opinion la déclaration qui a été présentée par Moshinsky. Moi-même, je suis entièrement d'accord pour une raison très simple: parce qu'il y a à peu près un mois j'ai fait un discours au Président de la République — notre Président, le jeune président que nous avons — où j'ai exactement dit que l'importance de sa politique scientifique devait s'axer sur l'appui au centre d'excellence qui est exactement ce que Moshinsky propose ici. Alors ceux qui sont d'accord avec la proposition, je vous prie de lever le bras. Ceux qui ne sont pas d'accord lèvent le bras aussi. Approuvée par une grande majorité.

ARBER

I was just given that text. I would like to discuss it before I approve it. I cannot approve the wording, but I can approve the

---

aim of the thing. Therefore I rather want to vote “no”, because I think an Academy has the right to discuss things before they are approved or disapproved.

### CHAGAS

Yes, excuse me for asking for your vote because as it was presented very early here, I thought that you had read it. If you want to make any qualification there is still time.

### ARBER

That isn't necessary. I really think the essence is o.k. but the language could stand some changes.

## SOLEMN PAPAL AUDIENCE

## SOLEMN PAPAL AUDIENCE

On the morning of 29 October 1990, His Holiness John Paul II granted a Solemn Audience to the Pontifical Academy of Sciences on the occasion of its Plenary Session. The Pontifical Academicians were received in the Apostolic Palace of the Vatican. In response to an address made by the President of the Academy, His Excellency Professor Giovanni Battista Marini-Bettòlo, the Holy Father pronounced an allocution. Thereafter the President of the Academy introduced to John Paul II each of the new Pontifical Academicians, who received from His Holiness the insignia which Pontifical Academicians are entitled to wear.

---

## THE PRESIDENT'S ADDRESS TO THE HOLY FATHER

At the Solemn Audience granted to the Pontifical Academicians on 29 October 1990, the President of the Academy, His Excellency Professor Giovanni Battista Marini-Bettòlo, delivered the following address:

Holy Father,

On behalf of all the Academicians here present I thank you for having accepted to receive your Academy of Sciences on the occasion of its Plenary Session 1990.

Today, together with the Academicians who have participated for years in our work, we are pleased to have with us ten Academicians whom you have nominated this year, present here for the first time.

In this session the Academy will debate a very important question of primary importance for its philosophical, moral and social implications, i.e. the role of "Science in the context of human culture".

Scientific advances have in recent years given many results for the progress of our knowledge in various important fields, e.g. the universe, life and the mind which require an adequate reflection.

This reflection should also imply a discussion on the consequences of the scientific results and on the related conquests of technology, not only among experimental scientists, but also together with philosophers, theologians, epistemologists and other scholars of human sciences.

At present the impact of science on contemporary society, through the multiplier of technology, has deeply modified not only the knowledge of the world out-look of man but, also the way of life, the education and thus the behaviour of individuals and society.

It has been stressed that science — a fundamental part as you have said of our culture — should be directed and used only for the enhancement of man.

Therefore it is more necessary that science interacts with the other components of culture as a factor of the advancement of knowledge and progress of man.

This will be possible if the spiritual values will prevail over the material ones. Thus the improvement of the quality of life — a consequence of progress due to science — should be linked with the ethical and human values, and the development of peoples — especially those of the poorest parts of the world, should respect their cultures.

Science will thus become, in the context of culture, the positive and active instrument for human progress if used in the spirit of the charity of knowledge — as your Predecessor Paul VI reminded us — for the benefit of mankind.

## ALLOCUTION OF THE HOLY FATHER

*Monsieur le Président,  
Excellences,*

*1. C'est avec une joie toute particulière que j'accueille aujourd'hui l'Académie pontificale des Sciences, réunie en session plénière pour étudier le thème: «La science dans le contexte de la culture humaine». J'ai le plaisir d'accueillir douze nouveaux membres au sein de cette Académie, si chère aux Souverains Pontifes et que mon prédécesseur Pie XI appelait le «Sénat scientifique du Saint-Siège». En vous souhaitant personnellement la bienvenue, je vous félicite très cordialement et vous remercie déjà de la collaboration précieuse que vous apportez à l'Académie et de votre contribution à son rayonnement.*

*Comme vous le savez, Pie XI a véritablement refondé l'Académie pontificale des Sciences en 1936, en lui donnant une impulsion remarquable; et les Papes suivants ont constamment voulu l'encourager. Mon propre sentiment rejoint leurs convictions profondes sur le rôle décisif que la culture et la science sont appelées à jouer à notre époque, et sur la fécondité d'un dialogue confiant entre l'Eglise et la science. Dès lors, c'est mon vif désir que l'Académie continue à se développer selon sa nature propre et selon les exigences de la culture actuelle, où se manifestent avec vivacité les aspirations de l'humanité à la fraternité et à un exercice plus sérieux de la solidarité.*

*Le thème de votre présente session, «La science dans le contexte de la culture humaine», confirme votre intention d'allier la rigueur scientifique avec la recherche interdisciplinaire, en vue d'accroître encore les services rendus par l'Académie. Cette orientation répond aux attentes du Concile Vatican II qui a prêté une attention toute spéciale à la science, à la recherche et à toutes les dimensions de la culture. Rappelons-nous que ce Concile a adopté un point de vue éclairant sur la culture, comme en témoigne la Constitution pastorale Gaudium et spes (n. 53). Cette perspective*



se révèle très utile pour l'analyse de votre thème. En effet, les dimensions anthropologiques de la culture, mises en évidence par le Concile, intéressent directement vos recherches.

2. La culture se réfère à la croissance de l'être humain, par le développement de ses talents et de ses capacités intellectuelles, morales, spirituelles. Qui ne voit alors la contribution éminente des sciences au progrès de la culture intellectuelle? Non seulement les savants, mais l'ensemble de nos contemporains sont formés à la lumière des merveilleux progrès de la science. Celle-ci a profondément modelé les intelligences et les mentalités de nos contemporains. Certes, à côté des sciences mathématiques, physiques et naturelles et de leurs applications techniques, il faut reconnaître l'apport considérable des sciences humaines, ainsi que celui des sciences morales et religieuses. L'ensemble de ces disciplines forme progressivement le patrimoine culturel commun.

Le progrès de la science, il faut le reconnaître avec une profonde admiration, ne survient que par un engagement austère et une longue application, fruit d'une ascèse et d'une honnêteté qui font l'honneur du savant véritable. Chaque chercheur se concentre méthodiquement sur la portion du réel qu'il explore selon sa spécialisation. Dans vos disciplines distinctes et vos recherches précises, vos études de spécialistes reconnus contribuent grandement à enrichir la culture moderne par la minutie des analyses comme par les tentatives de synthèse. En parcourant la liste des membres de l'Académie, je note avec plaisir que presque toutes les disciplines scientifiques y sont représentées avec honneur. Pour la première fois se joignent à vous des spécialistes de l'épistémologie. Souhaitons que leur contribution vienne renforcer encore les études épistémologiques que vos Statuts proposent comme l'une des finalités de l'Académie (cf. art. 2).

3. Effectivement, la recherche épistémologique s'impose de plus en plus comme une exigence indissociable de la culture scientifique. Des questions fondamentales sont posées sur le comment et sur le pourquoi de la connaissance scientifique. Alors que les disciplines se spécialisent de plus en plus, elles s'interrogent en même temps sur la signification des connaissances qui

*s'accumulent, sur les liens du savoir scientifique avec la capacité quasi illimitée de l'intelligence humaine. Dans un premier temps, la culture scientifique s'accroît d'abord par l'addition de multiples études éparses. Peu à peu se constitue une mosaïque du savoir dans un champ déterminé. Cette mosaïque demande à être interprétée et analysée, de manière à répondre aux nouvelles exigences de légitimation rationnelle que pose toute discipline constituée. N'est-ce pas là un signe de maturité pour une science, lorsqu'elle s'interroge sur elle-même et sur ses rapports avec l'ordre plus général de la connaissance?*

*Permettez-moi de vous redire que vos recherches spécialisées, qui se prolongent dans la réflexion épistémologique sur la signification de la science, sont hautement estimées par l'Eglise. Vos études témoignent de l'effort de la raison humaine pour mieux explorer le réel et découvrir la vérité en toutes ses dimensions. C'est un service nécessaire et urgent. Contre les courants antiscientifiques et irrationnels qui menacent la culture actuelle, les savants eux-mêmes ont à illustrer la validité de la recherche scientifique et sa légitimation éthique et sociale. Défendre la raison est l'exigence prioritaire de toute culture. Les savants ne trouveront pas de meilleure alliée que l'Eglise dans ce combat.*

*Pour l'Eglise, en effet, rien n'est plus fondamental que de connaître la vérité et de la proclamer. L'avenir de la culture en dépend. C'est ce que je rappelais récemment aux Universités catholiques dans la Constitution apostolique *Ex corde Ecclesiae* (1990): «Notre époque a un urgent besoin de cette forme de service désintéressé qui consiste à proclamer le sens de la vérité, valeur fondamentale sans laquelle périclitent la liberté, la justice et la dignité de l'homme» (n. 4). Telle est la mission première de l'Eglise, car elle est la servante de Celui qui s'est proclamé la Voie, la Vérité et la Vie. L'Eglise se fait constamment l'avocate de l'homme, capable d'accueillir toute la vérité. Aussi encourage-t-elle la recherche qui explore tous les ordres de vérités, convaincue que tous convergent pour la gloire de l'unique Créateur, Lui-même Vérité suprême et lumière de tous les hommes, ceux d'hier comme ceux d'aujourd'hui et de demain.*

4. Ceci nous amène à un autre aspect de la culture considéré par Vatican II: la culture est perçue par nos contemporains comme une réalité sociale et historique. Le monde scientifique dans son ensemble prend vivement conscience qu'il doit se situer critiqueusement au cœur de l'évolution des cultures à notre époque; car, désormais, nos contemporains interpellent à haute voix les représentants de la science sur leurs responsabilités face aux exigences de la paix, du développement de tous les peuples, de la conservation de la vie humaine et de la nature. Cette conscience nouvelle du grand public en ce qui concerne la responsabilité des savants, constitue un trait caractéristique de la culture moderne. Il y a là une claire indication pour l'Académie pontificale des Sciences.

Je constate avec satisfaction que vous avez déjà nettement orienté vos travaux en ce sens. Sans négliger en rien vos disciplines particulières, vous avez organisé ces derniers temps plusieurs projets qui soulignent les rapports réciproques de la science et de la culture actuelle. Vous avez scruté méthodiquement des problèmes scientifiques et éthiques complexes tels que le développement, la paix, les conséquences de la guerre nucléaire, l'environnement, l'alimentation, la bioéthique, la qualité de la vie, la santé, le sens de la mort, les rapports entre la science et le monde moderne, la responsabilité de la science. Vous avez courageusement entrepris des études sur les expériences scientifiques du passé, et plus particulièrement sur le cas de Galilée, problème que j'ai demandé d'examiner sous tous ses rapports et sans aucune réserve. Toutes ces recherches supposent une compréhension très large des problématiques étudiées, où les aspects empiriques, historiques et épistémologiques rejoignent très souvent une dimension philosophique et théologique.

En cela, vous répondez à l'un des objectifs formulés par vos Statuts (art. 3), lorsqu'ils demandent que soient étudiés les problèmes scientifiques et techniques liés au développement humain, et que soient approfondies, grâce à votre contribution propre les questions morales, sociales et spirituelles.

Comme je vous y encourageais lors de la célébration de votre cinquantième anniversaire, vous avez su élargir le champ de vos recherches, en y associant d'autres organismes du Saint-Siège, tels

*les dicastères, les universités et les institutions culturelles. Je vous encourage à poursuivre cette collaboration féconde.*

*5. De tout cœur, j'encourage donc l'Académie pontificale des Sciences à développer son activité dans les deux directions déjà tracées, c'est-à-dire la poursuite d'études spécialisées de qualité et l'ouverture interdisciplinaire des recherches. Ces deux voies devraient porter l'Académie vers un réexamen constant de son action propre, en tenant compte des profondes mutations qui marquent le monde actuel. En particulier, j'attire de nouveau votre attention sur les problèmes urgents que représentent le développement intégral de l'homme et la solidarité fraternelle entre les peuples.*

*Tout donne à croire que l'humanité arrive à un tournant historique. Grâce à la science et à la technique modernes, la communication instantanée entre toutes les parties du monde a permis à la communauté des peuples de mieux se connaître et a éveillé partout un immense désir de liberté et de dignité. Les hommes et les femmes de science auront un rôle de premier plan à jouer dans l'effort commun qui s'impose à nos générations, pour rendre la terre plus habitable, plus fertile et plus fraternelle. La tâche à réaliser peut sembler utopique et engendrer un certain fatalisme. Nous devons réagir vigoureusement contre cette erreur et cette tentation. L'heure est venue, au contraire, de susciter une alliance entre toutes les personnes et tous les groupes de bonne volonté.*

*Nous devons conjuguer les forces vives de la science et de la religion pour préparer nos contemporains à relever le grand défi du développement intégral, ce qui suppose des compétences et des qualités à la fois intellectuelles et techniques, morales et spirituelles. Votre contribution, hommes et femmes de science, est indispensable et urgente. Je vous invite à explorer cette problématique avec tout votre talent et toute votre énergie. L'Académie pontificale des Sciences pourra, ainsi, j'en suis sûr, donner un témoignage exemplaire face à toute la communauté scientifique.*

*6. Ce qui est en cause finalement, c'est la signification profonde de votre vocation propre de savants dans la société actuelle. A quoi sert votre science? Comment contribue-t-elle au progrès humain, à*

la culture entendue au sens le plus haut? En posant cette question, je n'oublie pas la valeur indispensable de la recherche fondamentale. Devant la science moderne qui suscite tant d'admiration, mais qui éveille aussi tant de peurs, l'Eglise s'interroge avec vous et invite les meilleurs esprits à répondre aux questions qui engagent l'avenir de la culture et de l'homme lui-même. Je vous confie à vous aussi ce que je disais récemment aux Universités catholiques: «Ce qui est en jeu, c'est la signification de la recherche scientifique et de la technologie, de la vie en société, de la culture, mais plus profondément encore ce qui est en jeu, c'est la signification même de l'homme» (Ex corde Ecclesiae, n. 7).

Ainsi donc, Mesdames et Messieurs, le thème que vous traitez cette année, «La science dans le contexte de la culture humaine», m'apparaît très judicieux et prometteur. Ce n'est pas seulement un choix de circonstance, mais bien un programme qui devra continuer à être exploré méthodiquement. D'ailleurs, vous vous proposez de l'approfondir ultérieurement en collaboration avec le Conseil pontifical pour la Culture, et je vous y encourage vivement.

7. Dès le début de mon pontificat, je déclarais que le dialogue de l'Eglise avec la culture constitue un enjeu décisif pour l'avenir de l'humanité. Plus d'une fois, j'ai redit cette conviction et j'ai fait appel à toutes les institutions de l'Eglise pour que leur action auprès des cultures devienne toujours plus éclairée, vigoureuse et féconde.

Je sais que l'Académie pontificale des Sciences procède à une constante réévaluation de sa mission, dans le respect de sa nature constitutive et de sa spécificité. Vos efforts et vos travaux en ce sens trouveront tout mon appui. Voyez en quoi vos programmes, vos méthodes et vos objectifs pourraient être révisés afin que l'Académie réponde toujours mieux aux besoins et aux aspirations de la culture d'aujourd'hui, ainsi qu'aux vœux réitérés du Saint-Siège. Que cette révision se réalise en lien avec la rénovation analogue qui devra être poursuivie également par toutes les Académies pontificales, dans un esprit à la fois de rigueur scientifique et de collaboration interdisciplinaire.

Après cinquante ans d'éminents services rendus à la communauté scientifique et au Saint-Siège, l'Académie pontificale des

---

*Sciences peut regarder l'avenir avec la détermination renouvelée de répondre aux défis culturels d'une époque nouvelle.*

*C'est le vœu que je formule pour l'Académie et pour chacune de vos personnes, en vous redisant ma vive gratitude et en invoquant sur vous la bénédiction du Dieu Tout-puissant, qui est Vérité et Amour.*

## APPENDIX

## SCIENCE, TECHNOLOGY AND SCIENCE EDUCATION IN THE DEVELOPMENT OF THE SOUTH

MUHAMMAD ABDUS SALAM

International Centre for Theoretical Physics,  
Trieste

### ABSTRACT

This globe of ours is inhabited by two distinct species of humans. According to the UNDP count of 1987, one quarter of mankind, some 1.2 billion people are developed. They inhabit 2/5ths of land area of the earth and control 80% of the world's natural resources, while 3.8 billion developing humans - "Les Miserables" - the "mustazeffin" (the deprived ones) - live on the remaining 3/5ths of the globe.

What distinguishes one species of human from the other is the ambition, the power, the elan which basically stems from their differing mastery and utilisation of present day Science and Technology. It is a *political* decision on the part of those (principally from the South) who decide on the destiny of developing humanity if they will take steps to let Les Miserables *create, master and utilise modern Science and Technology*. These notes (written from a Southern perspective) are devoted to this topic.

### 1. SCIENCE AND TECHNOLOGY, A SHARED HERITAGE OF MANKIND

The first thing to realise about the Science and Technology gap between the South and the North is that it is of relatively recent origin. In respect of sciences, George Sarton, in his monumental History of Science, chose to divide his story of achievement into Ages, each Age lasting half a century. With each half-century he associated one central figure. Thus 450-400



BC Sarton calls the Age of Plato; this is followed by the half-century of Aristotle, of Euclid, of Archimedes and so on. These were scientists from the Greek Commonwealth consisting (in addition to the Greeks) of Egyptians, Southern Italians and ancestors of modern Syrians and Turks.

From 600 AD to 650 AD in Sarton's recount is the Chinese half-century of Hsian Tsang. From 650 to 700 AD is the age of I-Ching and of the Indian mathematician, Brahmagupta, followed by the Ages of Jabir, Khwarizmi, Razi, Masudi, Wafa, Biruni, and then Omar Khayam - Chinese, Hindus, Arabs, Persians, Turks and Afghans - an unbroken Third World succession for 500 years. After the year 1100 the first Western names begin to appear; Gerard of Cremona, Roger Bacon and others - but the honours are shared for another 250 years with the Third World men of science like Ibn-Rushd, Naseer-uddinTusi, Musa bin Maimoun and Sultan Ulugh Beg.

The same story repeats itself in Technology in China (the Chinese invented the technology of printing on paper, gun powder and the magnetic compass) and in the Middle East (at least till around 1450 when the Turks captured Constantinople because of their mastery of superior cannonade). No Sarton has yet chronicled the history of medical and technological creativity in Africa - for example of early iron-smelting in Central Africa 2500 years ago.

(*Scientific American*, June 1988 issue). Nor of the pre-Spanish Mayas and Aztecs - with their independent invention of the zero and of the calendars of the moon and Venus, as well as of their diverse pharmacological discoveries including quinine. But one may be sure, it is a story of fair achievement in Manufacturing Technologies and Applied Sciences.

From around 1450, however, the Third World begins to lose out, except for the occasional<sup>1</sup> flash of individual brilliant

---

<sup>1</sup> "It is good to recall that three centuries ago, around the year 1660, two of the greatest monuments of modern history were erected, one in the North and one in the South; St. Paul's Cathedral in London and the Taj Mahal in Agra.

scientific and technological work - principally because of the lack of tolerant attitudes to the creation of Sciences and Technology. And that brings us to the present times when the cycle begun by Michael the Scot who went from his native glens in Scotland, around the year 1220 A.D., South to Toledo and then to Sicily in order to acquire knowledge of the works of Razi and Avicenna - and even of Aristotle (the only available translations being in Arabic) - turns full cycle - and it is we in the developing world who must turn Northwards for Sciences.

Science and Technology are cyclical. They are a shared heritage of all mankind. East and West, South and North have all equally participated in their creation in the past as, we hope, they will in the future - the joint endeavour in Sciences becoming one of the unifying forces among the diverse peoples on this globe.

## 2. THE FOUR AREAS OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Civilian Science and Technology may perhaps be divided into four categories of 1) Basic Sciences; 2) Sciences in Application; 3) Conventional Low Technology, and 4) Science-based High Technology.

Let us consider each of these areas in turn.

### A) *Basic (curiosity-oriented) Sciences*

There are at present five sub-disciplines comprised among Basic Sciences which have been defined as "man's systematic

---

Between them, the two symbolise, perhaps better than words can describe, the comparative level of architectural technology, the comparative level of craftsmanship and the comparative level of affluence and sophistication the two cultures had attained at that epoch of history. But about the same time, there was also created - and this time only in the North - a third monument, a monument still greater in its eventual import for humanity. This was Newton's Principia, published in 1687. Newton's work had no counterpart in the India of the Mughuls". (Abdus Salam, *Ideals and Realities*, third edition. World Scientific Publishing Co.Pte.Ltd., Singapore. (1989) pp. 5-6).

effort to understand natural phenomena". The sub-disciplines are:

(1) Physics (including Geophysics and Astrophysics); (2) Chemistry; (3) Mathematics; (4) Biology; plus (5) Basic Medical Sciences.

Research and training for Basic Sciences is conducted in the Universities or in the Research Centres specifically created for this purpose in the North. As a rule, these are funded by National Science Foundations or by Academies of Sciences which are also responsible for international contacts of scientists.

So far as developing countries are concerned, by and large we have tended to neglect this area of Science assuming, for some reason that we could live off the scientific results obtained by others. This has been an unmitigated disaster in that it has, also deprived us - in the Third World - of men and women who would know about the basics of their disciplines, and who could act as references to whom one could turn, to discuss the inevitable scientific problems which in any case arise when applications of Science are made and solvable *applied problems are defined*.

Professor Jean-Patrick Connerade of Imperial College, London, has remarked on this birthright of every good young scientist: "In our culture, the enthusiasm (for Science and Technology) is fired by supporting basic research. Successful university laboratories are essential to attract the best young brains into a scientific career. Whether they remain in research or opt for development is up to them to decide.... This is one of the hidden benefits of fundamental research. *Its glamour has inspired many scientific careers which did not end up in the (basic) research laboratory*".

#### B) *Sciences in Application*

One may list five areas of Sciences in Application: These are (1) Agriculture (including Livestock, Fisheries and Forests); (2) Medicine, Health and Population; (3) Energy Policies; (4) Environment and Pollution; (5) Earth Sciences (including

Irrigation and Soils, Meteorology and Oceanography, as well as Seismology).

As a general rule, Research and Development in Applied Sciences are carried out in the North under the auspices of Research Councils or by private industry<sup>2</sup>. *This includes Research, Development (Adaptation and Modification) and Application of Scientific Methodology to developmental problems*.

The Research and Development effort, in order to be effective, must be supplemented with first-class extension services<sup>3</sup>.

It is important to realize that the distinction between Basic and Applied Sciences on the one hand and Applied Sciences and Technology on the other is not absolute. Inevitably there are gradations which change with time!

### TECHNOLOGY

Technology may be looked upon differently depending on what one wishes to emphasize. One possible way to subdivide Technology is as follows:

#### C) *Classical Low Technology*

The five sub-areas of this are:

(1) Bulk Chemicals; (2) Iron, Steel and Other Metals Fabrication; (3) Design and Fabrication in (indigenous) Industries (like Cotton and Leather); (4) Petroleum Technologies; (5) Power Generation and Transmission including Heavy Electrical Industry.

*Here no new scientific principles remain to be discovered.* However, developmental work relating to design, adaptation and modification, is important. This is the traditional area of

---

<sup>2</sup> In spite of the large technological content of some of these areas, it is important to realise (particularly by the Economist) that these are not areas of Manufacturing Technology, but of Applied Science. The loose use of the word Technology to designate what should more precisely be called Science, had unfortunate consequences for the development of Applied Sciences in the Third World.

<sup>3</sup> In this respect, let me mention with approval the South African Industrial Research Council's use of the initials R.D&I - Research, Development and Implementation. In accordance with this usage, R&D is meant to read as R.D&I in these Notes.

craftsmanship and skills - the science employed is of yesteryears. Thoroughness (in all aspects in manufacture and after-services), beauty of design, the quality of workmanship, cost, and manufacturing-competitiveness are all-important. These are just the areas where developing countries should NOT be deficient, though, unfortunately, they are.

This is also the classical area of "negotiated Technology Transfer" and the area on which centrally-planned economies of the Second World as well as some of the developing countries (like India in the beginning) placed their strongest emphasis. *Any country which wishes to industrialize will have to develop one or more of the technologies listed above (as, for example, Japan, USSR and South Korea initially had to).* For these countries, *imported* Low Technology played a big role in building up their technological base.

We have used the generic word Technology whenever we wish to refer to the whole area of Manufacturing Technology. (The words "Low Technology" are not used in any pejorative sense. This nomenclature is meant to differentiate this type of technology from the Science-based High Technology. Perhaps "Classical" Technology gives a better flavour of what is meant) .

One should say it clearly and emphatically that Classical Low Technology is like Basic Sciences - it must be developed by any nation wishing to industrialize - particularly the "design" and fabrication part of it. A nation may develop engineering expertise and a skilled and disciplined work-force in the first instance - i.e. undertake only Development and no Research. Such an attitude towards Research will, of course, eventually prove short-sighted - particularly in the areas of modern High Technologies, which the developed countries will not easily part with<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Very few from the North will now want to sell- one may have to learn to reinvent from published literature and this needs high expertise in Basic Sciences.

This is precisely what the Japanese claimed to have done in many instances. In his book, *Made in Japan*, Akio Morita says: "... we at Sony took the

D) Finally, there are five areas of *Science-based High Technology* which, in the conditions of today, may comprise:

(1) Communications, Informatics and Other Sciences which consist of the two types of sub-disciplines:

(a) *Microelectronics* (including Development of Software; Microprocessors, Computer-aided Design; Eventual Fabrication of Microchips and their applications to other industries, for example, the automotive); and

(b) *Microphotonics*<sup>5</sup> (including Lasers and Fibre Optics).

basic transistor and redesigned and rebuilt it for a purpose of our own that the originators hadn't envisioned. We made a completely new kind of transistor, and in our development work, our researcher, Leo Esaki, demonstrated the electron tunneling effect, which led to the development of the tunnel diode for which he was awarded a Nobel Prize seventeen years later, after he had joined IBM. ... The highly educated work force of Japan continues to prove its value in the field of creative endeavor. In the recovery from the war, the low cost of this educated labor was an advantage for Japan's growing low-technology industry. Now that the industrial demand is for high technology, Japan is fortunate to have a highly educated work force suited to the new challenge".

<sup>5</sup> "Electronics has been the main engine of innovation since the invention of the transistor forty years ago. Most of tomorrow's interesting technologies will work by manipulating light (photonics), not electricity.

The electronics revolution is not young. The electron was identified about a century ago and the microchip, on which today's information-technology industry utterly depends, has been around for twenty years. ...

"Electronics will give way to a superior technology based not on electricity but on light. Physicists did not realize until early in this century that light came in the separate packets they now call photons. But science has made startling progress in manipulating photons. A photonics revolution is already in the making.

"... Why is the switch (to photons) worth making? Because photons travel faster than electrons; ... because (unlike electrons, which interfere with each other) photons can be made to pass through each other unperturbed ...

"The customary way to make computers cheaper and faster is to squeeze electronic components closer together. The number that can be fitted on a single chip has grown from about a dozen twenty years ago to two million today. But miniaturisation is bumping against limits ...

"... The case for a photonic solution is compelling. Sending several electric currents through one chip at the same time risks cross-talk and disaster. Not so with beams of light: a chip could process several at once without their interfering with each other ...

(2) Space Technologies; (3) New Materials (including composite materials and High Temperature Superconductors); (4) Pharmaceuticals and Fine Chemicals (5) and finally, for the 21st century, Biotechnology and genesplicing, so full of promise for a true revolution in the future methods of Agriculture, Energy and Medicine.

As Giles Merritt, writing in the *International Herald Tribune* has said: "During the past year or so the bio-revolution has begun to spin off significant new developments in areas of agriculture that are far apart. These include the following: 1) A gene-splicing breakthrough that could shortly revolutionize the economics of dairy farming with the first bovine somatotropin (BST), a genetic growth hormone that offers increases in milk yields of 15 to 20 per cent without raising feed costs: 2) Calves can now be 'harvested' from cows at a greatly increased rhythm thanks to embryo duplication techniques that enable a single cow to produce twin calves five times a year" (see the report of the BCCI's NEST Foundation set up in London); "3) Industrial tissue-culture techniques may soon eliminate the need to grow whole plants ... Biotechnology specialists, notably the UK company Plant Science, are already producing digitalis, opium, ginseng and pyrethrum by culturing root cells in a fermentation vessel.

"Big chemical companies like Monsanto and Sandoz have bet ... on strategies of switching emphasis away from industrial chemicals into biotechnology. Their sights are firmly set on an industry that is forecast to grow from its present turnover of around \$25 billion a year to an annual \$100 billion by the year 2000."

High Technology differs from Classical Low Technologies in that high expertise in the relevant Basic Sciences (like Physics

---

"In communications, telephone companies are tearing out their copper cables as quickly as they can afford to and replacing them with hair-thin optical fibres made of glass. Light is a better messenger than electricity.

"... One way or another, light looks like the wave of the future". ("The Future Belongs to the Photon", *The Economist*, 1986).

or Chemistry, or Biology, or Mathematics) is crucial. The materials used are minimal in their bulk and size.

Very few of the developing countries, with the exception of the "Confucian belt" countries - like Singapore, South Korea, China, Malaysia - or Brazil or India - are conscious of the need for or have made progress in High Technologies, the general feeling being that this whole area is beyond them. It is this feeling of lack of faith in their own scientists and technologists that one must fight against, since the future undoubtedly lies here. This is on account of the enormous value-added potential of the industries based on High Technology and the possibilities of exporting its products. There can be little "High Technology Transfer" from the North (unless this is of yesteryear's technology).

Of the four aspects of Sciences and Technology which have been mentioned above, the first to be developed so far as our Southern countries are concerned, is Classical Low Technology. The next may be Sciences in Application. (This is assuming that expertise in Basic Sciences is already available). The last to develop, as a general rule, is Science-based High Technology.

To conclude this section, *for a moderate sized developing country, there is no option to developing all the four areas of Science and Technology enumerated above*<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> The two failures of the Science and Technology situation in the Third World are: 1) the confusion between Applied Science and Manufacturing Technology which has kept Applied Scientists from receiving their proper share of State help; and 2) the emphasis on importation of foreign Manufacturing Technologies by most of the developing countries.

Regarding the first point, it is to be noted that the words "Science" or "Science Transfer" do not occur in the Brandt Commission Report so that Science and, in particular, Applied Science, even as contrasted with Manufacturing Technology, has been treated as a marginal activity by the South.

Regarding the second point, what has been wrong with importing technology has been no emphasis on training nor on development of indigenous technologies and the requisite sciences. Very few within the developing world appear to appreciate that the Science of today is the Technology of tomorrow.



### 3. THE SUB-CRITICAL SIZE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY IN THE SOUTH AND SOME REMEDIES

#### *Indicators of the sub-critical size of Science and Technology in the South*

As indicators of the sub-critical size of Science and Technology in the developing world, we could use two criteria: a) the funds which the South provides for R&D and b) the numbers of scientists and engineers actively engaged in these activities.

#### *i) Funds for Science and Technology*

One of the revealing indices of the size of Third World Science and Technology is the funding which the South provides for Research, Development and Utilisation of Science and Technology. To appreciate this, one has only to look at Table I which gives the Defence, Education, Health and Science Expenditures as percentages of GNP, both in the South and the North.

The point about these Tables is the following: The industrialized versus the developing countries spend 4.35% vs. 5.3% of their respective GNP's on defence. The educational expenditures are similar too - 5.2% for the industrialized versus 3.8% for the developing countries. For health it is 4.7% for the industrialized versus 1.6% for the developing countries admittedly, a factor of three or so, but still not as striking as that for Science and Technology. *The ratio of GNP expenditures on Science and Technology (between the industrialized North and the South) lies between five to nine. (For the industrialized countries versus the South, relative average figures are 2.46% and 0.46%). Thus, the absolute total expenditures on Science and Technology in the South comes to no more than 3.1% of the world total.*

The industrialized countries generally spend 2.5%-3% of their GNP's on Research, Development and Modification, Adaptation plus the Utilisation of Science and Technology. No country in the South approaches this, except for South Korea (which is currently spending 2% of its GNP on R&D in Science

and Technology). The other "high spenders" among the developing countries are Chile, Cuba, India, Kuwait and Mexico which spend between 0.5% and 0.9% of their GNP's on Science and Technology). Though one may argue that increased spending is only a necessary condition for the developmental aspects of Science and Technology and not a sufficient one, it remains a fact *that the industrialized countries are expending GNP terms) at least five times more every year on Science and Technology than the Third World. We in the Third World are just not serious about Science and Technology.*

The profession of Science and Science-based Technology is hardly a respectable or valid profession in the South. (However, some responsibility for this may rest on our former colonial masters. For example, in the British Colonial Empire, Britain did not leave us the concept of a Scientific Civil Service, which, incidentally, has been part of the United Kingdom's own administrative and professional structure for a long time).

ii) *Total Numbers of Scientists and Engineers*

As shown in Tables I and III, the total number of scientists and engineers is around 1400 per million of population in the industrialized countries as compared with 195 engineers and scientists in the case of the developing countries. The ratio between the North and the South is highly unfavourable - running between 14 to 24 times against the latter. (Table IV gives more details on the position of individual countries of the South).

#### 4. SCIENCE AND TECHNOLOGY EDUCATION POLICIES IN DEVELOPING COUNTRIES, PARTICULARLY POLICIES TOWARDS SECONDARY AND TERTIARY SCIENCE EDUCATION

"Unless it has its own scientists and technicians, no country can call itself free. This involves the whole problem of scientific and technical training from secondary education to fundamental research ...". - René Maheu, UNESCO Director General (1965).

"If I could do it all again, I would start with education". Jean Monnet, founder of modern Europe.

Science and Technology Education<sup>7</sup> lies at the heart of all these developments. It is imperative that we should take note of what is going on in this field. In the Table (Table V) appended to this Section, I give the World Bank figures for educational enrolment for developing countries. (These figures unfortunately do not distinguish between Science and non-Science studies. I have tentatively assumed that a quarter to one third of the total number of students are pursuing science studies).

#### A) *Secondary and Tertiary Education*

There are wide variations among the different countries, as well as between the industrialised and the developing countries. *The starkest variations, however, are in the average numbers we educate in the South between the ages of 12-19 (secondary education) and the ages between 20-24 (tertiary education).* The low income developing country averages are particularly small

---

<sup>7</sup> The late Richard Feynman - perhaps the greatest physicist of my generation - related his conversation with the Japanese Ambassador on the occasion of the ceremony for the award of the Nobel Prize to him in Sweden. "He was a very interesting man, and we got to talking. I had always been interested in how it is the different countries and different peoples develop differently. I told the Ambassador that there was one thing that always seemed to me to be a remarkable phenomenon: how Japan had developed itself so rapidly to become such a modern and important country in the world. What is the aspect and character of the Japanese people that made it possible for the Japanese to do that?" I asked. The Ambassador answered in a way I like to hear: "I don't know," he said. "I might suppose something, but I don't know if it's true. The people of Japan believed they had only one way of moving up: to have their children educated more than they were; that it was very important for them to move out of their peasantry to become educated. So there has been a great energy in the family to encourage the children to do well in school and to be pushed forward. Because of this tendency to learn things all the time, new ideas from the outside world spread through the educational system very easily. Perhaps that is one of the reasons why Japan has advanced so rapidly!" (R.P. Feynman, *Surely You're Joking Mr. Feynman*. W&W Norton & Company, Inc. New York (1985). pp. 310-311).

compared with those of the developed countries (22% to 37% for the South, versus 93% for the North for secondary education; and 5% for the South versus 39% for the North for tertiary education). This means that at the earning stage, a student in most of our Southern countries is ill-equipped for the modern world.

### B) "Professional" versus "Liberal" Education

i) After a period of compulsory lower-secondary education (which may finish at the age of 15 or 16) most modern societies provide for two parallel educational systems. Using the U.K. terminology of the 1970's, these two systems may be called (1) the system of "professional" education comprising technical, vocational, agricultural and commercial courses, and (2) the system of "liberal" education comprising courses which lead on to the university level, in the sciences, engineering, medicine and the arts.

A major structural failing of the Third World educational system has been that, in general, no credible "professional" system has developed. It is true that a half-hearted system of polytechnic institutions and vocational schools has been built up in recent years in a number of Third World countries, but this system has had scant prestige attached to it. As a general rule, such systems have been run by the Ministries of Labour and Employment, rather than the Ministries of Education.

ii) To see how inadequate such a system has been, one may recall that in industrialized countries the proportion of those enrolled for the two streams is of the order of 50:50. *In the Third World, however, the proportion of the "professional" versus the "liberal" enrollment (at the secondary stage) is normally of the order of 10:90.* This preponderance of the technologically illiterate is the major cause of unemployment and of the Third World's technological backwardness.

iii) One of the main educational tasks before the Third World is to change this ratio of 10:90 to 50:50. In the conditions of today, the "professional system" should be accorded equal status with the better known "liberal" educational system.

iv) Our first concern should be to bring a measure of prestige to the "professional" system of education. One will need to give serious consideration to the institution of National Certificates - *or preferably, decide to identify these with the prevailing "liberal" awards.* What I have in mind is this. Parallel with the present "liberal" system of education, we should create a second - the "professional" system of education. *Each award* - the matriculation, or the intermediate, or the Bachelor's Degree (which usually comes at the climax of the secondary level, at the age of 19) - *may be obtained either after the present "liberal" courses in arts or sciences (as now) or after technical, agricultural, or commercial courses from a polytechnic, an agricultural, or a commercial college.* *So far as job opportunities in administrative services are concerned, all matriculates or degree holders* (from the liberal, technical, or commercial streams) would count as equivalent provided the intellectual content of the course provided is the same. Thus will the exclusive hold on the public mind (in our status-conscious countries) of the present prestigious "liberal" university-led system of education be broken.

At the secondary level, whereas in Japan, all science subjects are compulsory, and in the USSR, even the future musicians or footballers or seamstresses<sup>8</sup> must study physics, chemistry, mathematics and biology till they are sixteen - there is no such compulsion in most of our Southern countries'

---

<sup>8</sup> In this context, the following quote may be of interest: "In college, I was far better at writing and philosophy than at science, but like many of my friends, I chose to pursue a premedical major: philosophy is hardly a proper vocation for a *nice Jewish boy*". - Solomon H. Snyder. M.D., Johns Hopkins University.

Also relevant is the announcement in *Nature*, Vol. 342 of 7 December 1989, "An ambitious reform of the education system in New South Wales will make the study of mathematics, science and technology compulsory for high school students in the province. Under the present system, the only compulsory subject for final year students taking their Higher School Certificate is English, but by 1992, following the introduction of the government's white paper (policy document) on curriculum reform, students will also have to take at least one technical course".

educational systems. We are too soft towards our students! One may consider the possibility of making Science compulsory for all students, as is done in Japan, USSR and South Korea.

## 5. INTERNATIONAL MODALITIES FOR THE GROWTH AND UTILISATION OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

*Recognition that the Growth of Science Education as well as Science and Technology Research is basically a Problem for the South and a Long-Term One*

In the end, the growth of science and its utilisation by the South is a Southern problem, though outside help - particularly if it is organized - can make a crucial difference. The modalities for growth and utilisation of science and technology entail two types of actions: those needed to be adopted in and by the South and those that need to be carried out in concert with the North.

### *A) CONCERTED ACTION BETWEEN THE SOUTH AND THE NORTH*

We list here some of the modalities through which the North may help the South to build up its scientific and technological base.

*i) A Minimum of 10% of the Aid Funds to be earmarked for enhancing Science and Technology*

10-15% of aid given by developed countries should be specifically earmarked in the next twenty years to enhance Science and Technology in the South. This would mean the linking of the aid for Science and technology with the total bilateral aid received from the North, as an important political modality. At the present time only 5% of such funds appear to be so spent in the USA.

ii) *Birthright of Southern Scientific Communities: Free Access to Scientific Literature*

It should be considered as part of a birthright of scientific communities in a developing country that the country should have at least one complete Central Science Library containing most of the scientific and technological journals and all scientific books<sup>9</sup>. Arrangements (by the Aid Organisations or the World Bank) should be made with publishers in the North so that scientific books and journals are made available at a fraction of their present price - at least one copy for each country - and sent to a designated Central Library in at least fifty (in our count) of the developing countries, which can *immediately* make use of this literature.

B) *INTERNATIONAL CENTRES AS A MODALITY TO BRING SCIENCE AND TECHNOLOGY TO THE SOUTH*

i) United Nations Agencies and their Charters should include the *setting up of International Centres for Science and Technology*

The United Nations agencies - including the United Nations University - must play a prominent role in building up scientific infrastructure in their areas of competence. *This should be part of their charters*. The developing countries need international research institutions on the applied side such as the Wheat and Rice Research Institutes in Mexico and the Philippines and the International Centre for Insect Physiology and Ecology in Kenya. There is also the experience on the basics side, of IAEA and UNESCO (with generous Italian support) in relation to the

---

<sup>9</sup> The Third World Academy of Sciences has suggested that with regard to copyright, *scientific literature* should be exempted from the Uruguay Round of Provisions so far as the poorest of the developing countries are concerned. (This suggestion, of course, does not apply to copyright for normal books but only to scientific journals and selected scientific texts).

International Centre for Theoretical Physics, Trieste (with visits of 4901 physicists during 1989 - 3141 of them from developing countries and 1760 from the industrialised countries), or, of UNIDO for the International Centre for Biotechnology and Genetic Engineering, at Delhi and Trieste. These Centres are run by the scientists for the scientists. (The South should, at the least, ensure proper utilisation of those trained at these Centres and urge other United Nations Organisations to set up international centres of training for research in disciplines relevant to their competence).

There is also the question of acquisition of Ph.D. degrees by the nationals of the developing countries. While a Ph.D degree may be important, it is borne out from the experience gained at the International Centre for Theoretical Physics that a full-fledged doctorate is not essential for subsequent research work. (A "diploma" - like the D.I.C. - Diploma of Imperial College of Science, Technology and Medicine of London University from a United Nations Centre may be what is needed by those who are already teaching in developing countries. Further thought should be given to the institution of such diplomas and the value accorded to these by the developing country universities).

ii) *Three New International Centres plus Twenty National, Regional, International Centres for Science, High Technology and the Environment within the Developing Countries*

In this context, there is the proposal to create in Trieste an International Centre for Science which will have five components 1) the existing International Centre for Theoretical Physics; 2) the existing local branch of the International Centre for Genetic Engineering and Biotechnology; 3) a new International Centre for High Technology and New Materials; 4) a new International Centre for Chemistry, Pure and Applied; and finally, 5) a new International Centre for Earth Sciences and the Environment. This International Centre for Science has been projected by the Government of Italy, with United Nations sponsorship.

It has been further proposed that twenty world class *Centres for Science, High Technology and Environment* (with training and research equally emphasised) should be started with World



Bank cooperation (on the lines similar to the CGIAR agricultural institutions). This suggestion was endorsed by the Non-aligned Movement during its meeting in Belgrade in September 1989. The Heads of State or Governments concluded "that there is need to support the establishment in the developing countries of a world class Network of Research and Training Institutes dedicated to the development and application of High Technology" (and the Environment) "and we appeal to the international community, particularly the developed countries and the multilateral financial and developmental institutions, especially the World Bank, to support this network within the framework of international cooperation". (This appeal to the World Bank has come at the right time, because an internal report which the Bank has commissioned has emphasized the need for high level manpower for Africa. The Footnote on this page gives a preview of this report)<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> "African governments must commit themselves to training a cadre of world-class scientists and technologists if they are to avoid economic and social catastrophe on an unprecedented scale in the next century, according to new proposals published this week by the World Bank. In the short term, these countries must staunch their serious "brain drain"; more than 70,000 trained Africans have chosen to remain in Europe and many of the 34,000 Africans studying in the US in 1985, for example, will probably stay there.

"In the fourth - and most comprehensive - of its studies on sub-Saharan Africa to date, the World Bank outlines strategies through which Africans might free themselves from the present crisis in their economies, environment and quality of life.

"After an initial period of growth following independence, most African economies have faltered and declined. Apart from a few exceptions, sub-Saharan Africa has witnessed almost a decade of falling personal incomes, increasing hunger and accelerating ecological degradation. The Bank's report says that Africa must attend to the two potentially devastating trends of explosive population growth and rapidly increasing degradation of the environment.

"For the most part,' says the report, 'Africa is simply not competitive in an increasingly competitive world'. If Africa is to benefit from advances in information systems, biological sciences and materials research, it must 'improve its science and technology training and aim at the highest standards for at least a minimum core of specialists'.

Cooperative arrangements between the Centres in the developing countries and the International Centres (like the ICS) projected by the UN Agencies, will, we hope, ensure the requisite quality.

## 6. A FIVE-YEAR BLUEPRINT FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR THE DEVELOPING WORLD

### *A) Science and Technology Policies for Developing Countries*

If one were charged with running Science and Technology in a typical developing country of modest size, one would, in the first place:

1) Make sure that the high-level scientists and technologists in any given society know exactly what is expected of them. Their work for development should be looked after by the highest possible authorities in the land - if possible, by the rulers themselves. (Every country has a set of Merlins within its scientific communities capable of working, or at least supervising, miracles. However small their numbers may be, these men and women must have their morale built up. They must get the scientific infrastructure plus the equipment plus international contacts which they need to carry through their work. Reciprocally, they have to be told that they cannot afford to live in their ivory towers, that they must make themselves

---

'The report says that resources should be shifted especially to science, engineering, accountancy and other technical fields. The countries should cooperate to create regional programmes or centres of excellence for postgraduate education and research.

'The bank recommends that half of the increased financial aid it proposes for Africa during the next decade should be spent on the productive sectors, technical assistance and research. Each country should spend about 1 per cent of its national income on providing for scientific research and development.

'Foreign aid should go towards 'building excellence and relevance in African science and technology and helping to link institutions to others outside Africa.' (Omar Sattaur, World Bank calls for action to halt Africa's brain drain. (from an internal report of the World Bank) *New Scientist*, 25 November 1989).

available to the developing public and that society will expect returns from them).

2) Carry through the recommendations in respect of general science education, *in particular at the secondary level*;

3) Build up at the same time expertise in Classical Low Technologies emphasising craftsmanship and fabrication;

4) One would import manufacturing technologies from abroad, taking care, however, that every importation is supplemented by indigenous training.

5) Build up as a matter of priority *Comprehensive Technological Information Centres*.

6) One would commission and blue-print a comprehensive plan for Applied Sciences and for High Technology. (What one develops first, depends upon a nation's priorities and could be in one or more of the following areas: agriculture, livestock, health, population, energy, local materials and minerals, environment, soil sciences and seismology, atmosphere and oceans, biotechnology, informatics (microelectronics and microphotronics) plus new materials);

7) Finally, one would build up Scientific and Technological research within the *universities*. For this purpose, one would institute training programmes (both within the country and abroad), for cadres of scientists and technicians so as to assure critical sizes of local research/scientific communities.

#### B) *Expenditures on Basic and Applied Sciences and on Low and High Technology*

On Basic plus Applied Sciences plus Science based High Technology, one would need to spend a minimum of 4% plus 4% plus 8% = 16% of the educational budget respectively<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> Table VI shows the desirable minimum to be spent on Science and Science-based High Technology as 15% rather than 16% of the educational budgets. This has been done deliberately in order to make it possible to carry through the programme of science and technology enhancement in five years with 3% increase of the educational budgets every year. I strongly believe that

What should be spent on training, development and research in the Classical Low Technology area? The short answer is as much as one may afford.

One minimal figure which has been suggested is worth repeating. It is UNESCO's (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation) famous 1% of GNP for *all* Sciences ("Basic" and "Applied") plus *all* Technology (Classical as well as High). On the average basis of 4% of GNP being spent on education by the South (with 16% of this for Science and High Technology), this roughly works out at 1/6:1/6:1/3:1/3: of 1% of GNP for "Basic" and "Applied" Sciences versus "Classical Low" Technology versus "High" Technology. (See Table VI).

### C) *Initial Training*

Where would one get the necessary initial training? Clearly, here one would have to rely on the universities and the institutes in the North (or on South-South collaborative programmes) or on the United Nations Centres for providing the training facilities.

#### i) *Training in Basic Sciences*

For Basic Sciences, one may think of the IAEA- and UNESCO-run International Centre for Theoretical Physics (ICTP) and the UNIDO-run International Centres for Genetic Engineering and Biotechnology (ICGEB) in India and Italy (or the International Centre for Science (ICS) with its three (new) components, the International Centre for Earth Sciences and the Environment, the International Centre for Chemistry, Pure and Applied, and the International Centre for High Technology and New Materials) or the International Centre for Insect Physiology and Ecology (ICIPE) in Kenya for the relevant basic disciplines.

---

a uniform 3% increase per year for the next five years in the educational expenditures will not break these countries' finances.

## ii) *Training in Applied Sciences*

For Applied Sciences - for example, agriculture - one would think of international centres comprising the World Bank-promoted CGIAR Network, *with the training component of these Centres enhanced*. There are three centres devoted to research on tropical agriculture (in Colombia, India and Nigeria) a fourth (in Syria) concentrating on agriculture in arid zones, a fifth (in the Philippines) on cross-breeding of rice, and three on genetic improvement of cattle (in Ethiopia, Kenya and the Ivory Coast) plus the International Centre for the Potato (in Peru). In addition, there is the Centre (in Rome) for the conservation of genetic resources, one (in Holland) for the fostering of rural agricultural cooperation, a twelfth in Washington, D.C. for the study of nutrition, and, finally, the world-famous Wheat Institute (CIMMYT) in Mexico.

This group of 13 institutes commands a total of \$250 million collected from donor countries by the World Bank. There is the hope that a similar set of at least twenty regional and national institutions may be created (in three to five years) *for training and research in High Technology and for the Earth's Environment* - particularly in Africa - with a similar measure of funding by the World Bank and donor governments<sup>12</sup>. The funds devoted to the CGIAR system and their origin are shown in Table VII.

## F) *Special Points for Consideration*

There are a number of special points which should be remembered in connection with the application of Science and Technology to Development.

---

<sup>12</sup> It is important to realize that the CGIAR institutes, emphasizing inputs of pesticides, insecticides and fertilisers, represent the basic discipline of Chemistry which, in this sense, is a *Survival Science*. Once Physics and High Technology are emphasised by the World Bank also - in the new network here proposed - one will be moving on to sciences which are wealth-producing. It is this type of altered perception about the Third World which we desperately need.

1) One must remember the long-term nature of Science and Technology as applied to development. We are not likely to see the benefits for a long time. The year 2000 would be a good year to aim at if we start today.

2) We stress the necessity for saving on armaments and defence expenditures, at least for the South - 10% of the present defence budgets and expending the funds thus saved for enhancement of Science and Technology in the future.

Table I

POPULATION, GNP, GNP/CAPITA  
DEFENCE, EDUCATION AND HEALTH EXPENDITURES (as percentage of GNP)  
FOR 1986, R & D and NUMBER OF SCIENTISTS

	Population (x 1,000)	GNP (US\$ Billion)	GNP/capita (US\$)	Defence (% of GNP)	Education (% of GNP)	Health (% of GNP)	Expenditure on R&D (% of GNP)	Scient. & Eng (per million pop.)
<i>Industrialized countries</i>	746,066	9,869	13,229	4.35	5.20	5.07	2.48	2,792
- USA	241,401	4,219	17,478	6.70	5.30	4.50	2.80	3,233
- Japan	121,360	1,554	12,809	1.00	5.00	4.90	2.80	4,836
- Europe	405,750	3,495	8,615	3.30	5.00	5.70	2.04	1,351
- France	55,392	608	10,986	3.90	5.90	6.60	2.30	1,888
- F.R. Germany	60,916	734	12,049	3.10	4.50	6.30	2.70	2,382
- Sweden	8,351	114	13,734	2.90	7.60	8.00	2.80	2,537
- United Kingdom	56,679	510	9,009	5.00	5.30	5.30	2.30	n.a.
<i>Developing countries</i>	3,781,723	2,708	719	5.30	3.80	1.60	0.46	195
- Africa	490,187	293	599	3.50	4.30	1.30	0.37	161
- Middle East	159,253	325	2,041	18.00	5.60	2.10	0.31	217
- South Asia	1,044,893	275	264	3.80	3.20	0.80	0.14	106
- Far East	1,546,103	745	482	5.20	3.30	1.20	0.80	306
- Latin America and Caribbean	406,429	760	1,872	1.50	3.30	1.60	0.50	326
Central Europe	414,498	3,083	7,438	9.60	4.80	3.20	4.92	4,726
- USSR	279,213	2,357	8,442	11.50	5.20	3.20	5.50	5,414
<i>World</i>	4,919,085	15,441	3,139	5.60	4.90	4.10	1.66	1,400

*the number of countries involved in the computations is the following: 17 industrialized countries, 8 socialist countries (note that China P.R. is not included, as no figures were provided), 39 developing countries*

*Note: From 1960 to 1986, Defence expenditure (% of GNP) has decreased from 6.9 to 4.35 in industrialized countries while it increased from 3.9 to 5.3 in developing countries. Education expenditure, increased from 3.7 to 5.2 in the industrialized countries and from 2.3 to 3.8 in developing countries. Health expenditure has increased from 2.3 to 5.7 in industrialized countries and increased from 1 to 1.6 in the developing countries.*

*Source: OECD, Science and Technology indicators: Recent Results 1979-1986. Paris, September, 1986.*

As complete data on R&D expenditure and number of scientists are not available for all countries, the number of countries involved in the computation is the following: Europ. 19, Central Europe: 7, Developing countries: 39.

*Figures shown are based on "UNESCO Statistical Yearbook 1989"*

Table II

DISTRIBUTION OF R&D EXPENDITURES BY COUNTRY GROUPS  
(as percentage of world total)

Region/country	1970	1975	1980	1983
World	100	100	100	100
A. Industrialized countries	72,5	70,2	72,7	72,7
of which:				
- EEC	20,3	21,6	21,5	20,9
- Japan	6,7	9,5	11,7	12,6
- United States	39,9	33,3	33,7	33,4
B. Socialist countries of Eastern Europe	25,2	27,1	24,4	24,2
of which:				
- USSR	19,4	20,9	17,6	1,8
C. Developing countries	2,3	2,7	2,9	3,1

*Source: OECD, Selected Science and Technology Indicators: Recent Results 1979-1986. Paris, September, 1986*



Table III

AVERAGES OF R&D EXPENDITURES (IN % GNP) AND NUMBER OF TECHNOLOGISTS,  
OF SCIENTISTS AND ENGINEERS PER MILLION POPULATION

	R&D Expenditure (% of GNP)	Scientists and Engineers (per Million Population)
<i>Industrialized countries</i>	2,48	2,792
USA	2,80	3,233
Japan	2,80	4,836
Europe	2,04	1,351
France	2,30	1,888
F.R. Germany	2,70	2,382
Sweden	3,00	2,537
U.K.	2,30	n.a.
<i>Socialist Countries</i>	4,7	4,276
USSR	5,5	5,414
<i>Developing Countries</i>	0,46	195

Based on Extracts from UNESCO Statistical Yearbook 1989.

As complete data on R&D expenditure and number of scientist are not available for all countries, the number of countries involved in the computation is the following: Europe: 19, Socialist countries 8 (China P.R. not included), Developing countries 59 for R&D Exp. and 39 for Technologists, Scientists, and Engineers;

Table IV

ESTIMATED EXPENDITURE FOR RESEARCH AND DEVELOPMENT (as % of GNP) AND NUMBER OF SCIENTISTS AND ENGINEERS (per million population)

## AS PERCENTAGE OF GNP

## Selected Developing Countries

Asia	Expend. on R&D		Sc.ists & Eng.		Latin America & Caribbean		Africa		Sc.ists & Eng. (million pop.)	year
	Less than 0,4%	% GNP	(million pop.)	year	Less than 0,4%	year	Less than 0,4%	year		
Bangladesh	1975	0,2	n.a.	1982	Guyana	0,2	99	Algeria	1975	0,3
Brunei	1984	0,1	90	1984	Peru	0,2	273	Cent. African Rep.	1984	0,2
Cyprus	1984	0,1	77	1985	Venezuela	0,3	273	Egypt	1982	0,2
Indonesia	1986	0,3	175	1987				Libya	1980	0,2
Jordan	1985	0,2	77					Madagascar	1980	0,2
Philippines	1984	0,1	90					Nigeria	1980	0,3
Qatar	1986	0	746							
Sri Lanka	1984	0,2	173	1985						
0,4% or more	Sc.ists & Eng. (million pop.)		Sc.ists & Eng. (million pop.)		0,4% or more		Sc.ists & Eng. (million pop.)		Sc.ists & Eng. (million pop.)	
India	1986	0,9	109	1981	Argentina	0,4	652	More than 0,4%	year	year
Korea Rep.	1986	1,8	1129	1985	Brazil	0,7*	390	Burina Faso	1975	0,5
Kuwait	1984	0,9	929	1986	Chile	0,5	432	Burundi	1984	0,4
Pakistan	1984	0,4	87		Costa Rica	1,5	n.a.	Cameroon	1988	0,8
Singapore	1987	0,9	1287		Cuba	0,9	n.a.	Ghana	1975	0,9
Yugoslavia	1987	1,1	1445		Guatemala	0,5	348	Kenya	1975	0,8
					Mexico	0,6	215	Mauritius	1987	0,6
					Trinidad & Tobago	0,8	235	Rwanda	1985	1,2
								Zambia	1975	0,5

From UNESCO Statistics on Science and Technology (Extracts from UNESCO Statistical Yearbook 1989).

\* Recent data

**Table V**      PERCENTAGE OF AGE GROUP ENROLLED IN EDUCATION

		Primary (6 to 11 years of age) 1985	Secondary (12 to 19 years of age) 1985	Tertiary (20 to 24 years of age) 1985
Low Income economies (GNP/Cap less than 400 US\$)		99 w	34 w	...
China and India		110 w	37 w	...
Other low - Income		67 w	22 w	5 w
1	Ethiopia	36	12	1
2	Bhutan	25	4	0
3	Burkina Faso	32	5	1
4	Nepal	79	25	5
5	Bangladesh	60	18	5
6	Malawi	62	4	1
7	Zaire	98	57	2
8	Mali	23	7	1
9	Burma	102	24	...
10	Mozambique	84	7	0
11	Madagascar	121	36	5
12	Uganda	...	...	1
13	Burundi	53	4	1
14	Tanzania	72	3	0
15	Togo	95	21	2
16	Niger	28	6	1
17	Benin	65	20	2
18	Somalia	25	17	...
19	Central African Rep.	73	13	1
20	India	92	35	...
21	Rwanda	64	2	0
22	China P.R.	124	39	2
23	Kenya	94	20	1
24	Zambia	103	19	2
25	Sierra Leone	...	...	...
26	Sudan	49	19	2
27	Haiti	78	18	1
28	Pakistan	47	17	5
29	Lesotho	115	22	2
30	Ghana	66	39	2

31	Sri Lanka	103	63	5
32	Mauritania	...	...	...
33	Senegal	55	13	2
34	Afghanistan	...	...	...
35	Chad	38	6	0
36	Guinea	30	12	2
37	Kampuchea, Dem.	...	...	...
38	Lao PDR	91	19	1
39	Viet Nam	100	43	...
Middle - income economies		104 w	49 w	14 w
Lower middle-income (GNP/Cap between 400 and 1600 US\$)		104 w	42 w	13 w
40	Liberia	...	...	...
41	Yemen PDR	66	19	...
42	Indonesia	118	39	7
43	Yemen Arab Rep.	67	10	...
44	Philippines	106	65	38
45	Marocco	81	31	9
46	Bolivia	91	37	20
47	Zimbabwe	131	43	3
48	Nigeria	92	29	3
49	Dominican Rep.	124	50	...
50	Papua New Guinea	64	14	2
51	Cote d'Ivoire	78	20	3
52	Honduras	102	36	10
53	Egypt Arab Rep.	85	62	23
54	Nicaragua	101	39	10
55	Thailand	97	30	20
56	El Salvador	70	24	14
57	Botswana	104	29	1
58	Jamaica	106	58	...
59	Cameroon	107	23	2
60	Guatemala	76	17	8
61	Congo. People's Rep.	...	...	...
62	Paraguay	101	31	10
63	Peru	122	65	24
64	Turkey	116	42	9
65	Tunisia	118	39	6
66	Ecuador	114	55	33
67	Mauritius	106	51	1

68	Colombia	117	50	13
69	Chile	109	69	16
70	Costa Rica	101	41	23
71	Jordan	99	79	37
72	Syrian Arab Rep.	108	61	17
73	Lebanon	...	...	...

Upper middle-Income (GNP/Cap between 1600 and 4000 US\$)		105 w	57 w	16 w
74	Brazil	104	35	11
75	Malaysia	99	53	6
76	South Africa	...	...	...
77	Mexico	115	55	16
78	Uruguay	110	70	32
79	Hungary	98	72	15
80	Poland	101	78	17
81	Portugal	112	47	13
82	Yugoslavia	96	82	20
83	Panama	105	59	26
84	Argentina	108	70	36
85	Korea Rep. of	96	94	32
86	Algeria	94	51	6
87	Venezuela	108	45	26
88	Gabon	123	25	4
89	Greece	106	86	21
90	Oman	89	32	1
91	Trinidad & Tobago	95	76	4
92	Israel	99	76	34
93	Hong Kong	105	69	13
94	Singapore	115	71	12
95	Iran. Islamic Rep.	112	46	5
96	Iraq	100	55	10
97	Romania	98	75	11
Developing Countries		101 w	39 w	8 w
Oil Exporters		107 w	44 w	10 w
Exporters of manufactures		109 w	40 w	...
Highly Indebted countries		104 w	47 w	16 w
Sub-Saharan Africa		75 w	23 w	2 w
High Income oil exporters		86 w	56 w	11 w

98	Saudi Arabia	69	42	11
99	Kuwait	101	83	16
100	United Arab Emirates	99	58	8
101	Libya	127	87	11

Industrial market economies (GNP/Cap higher than 4000 US\$)	102 w	93 w	39 w
---	-------	------	------

102	Spain	104	91	27
103	Ireland	100	96	22
104	New Zealand	106	85	35
105	Italy	98	75	26
106	United Kingdom	101	89	22
107	Belgium	95	96	31
108	Austria	99	79	27
109	Netherlands	95	102	31
110	France	114	96	30
111	Australia	106	95	28
112	Germany, Rep. of	96	74	30
113	Finland	104	102	33
114	Denmark	98	103	29
115	Japan	102	96	30
116	Sweden	98	83	38
117	Canada	105	103	55
118	Norway	97	97	31
119	United States	101	99	57
120	Switzerland	...	...	22

Nonreporting nonmembers	105 w	92 w	21 w
-------------------------	-------	------	------

121	Albania	97	69	7
122	Angola	93	13	1
123	Bulgaria	102	100	18
124	Cuba	105	85	21
125	Czechoslovakia	97	39	16
126	German Dem. Rep.	101	79	31
127	Korea, Dem. Rep.	...	...	...
128	Mongolia	105	88	26
129	USSR	106	99	21

Table V (contin.)

Weighted Percentage of Age Group Enrolled in Education, for males and females, by group of countries

	Primary (6 to 11 years of age)		Secondary (12 to 19 years of age)		Tertiary (20 to 24 years of age)
	Males year 1985	Females year 1985	Males year 1985	Females year 1985	Toals year 1985
Low income economies (GNP less than 400 US\$)	110	88	41	26	...
China and India	121	98	45	29	...
Other low - income	75	56	28	16	5
Middle - Income economies	109	101	57	51	14
Lower middle-income (GNP between 400 and 1600 US\$)	111	100	50	41	13
Upper middle-income (GNP between 1600 and 4000 US\$)	108	102	66	63	16
Developing Countries	110	92	45	33	8
Oil Exporters	113	101	53	42	10
Exporters of manufactures	119	98	48	33	...
Highly indebted countries	108	99	57	57	16
Sub-Saharan Africa	85	67	26	14	2
High Income oil exporters	82	69	55	41	11
Industrial market economies (GNP higher than 4000 US\$)	101	101	91	92	39
Other countries with an upper middle income	...	...	...	...	21

Note. The above data refer to a variety of years and are mostly from Unesco. The data on *primary* school enrollments are estimates of children of all ages enrolled in primary school. Figures are expressed as the ratio of pupils to the population of school-age children while many countries consider primary school age to be 6 to 11 years, others do not. (For some countries with universal primary education, the gross enrollment ratios may exceed 100 percent; because some pupils are younger or older than the country's standard primary school age). The data on secondary school enrollments are calculated in the same manner.

The *tertiary* enrollment ratio is calculated by dividing the number of pupils enrolled in all post-secondary schools and universities by the population, age 20 to 24. Pupils attending vocational schools, adult education programmes two-year community colleges, and distance education centers (primarily correspondence courses) are included. The *youth* population, that is 20 to 24 years, is used as the denominator. These data and definitions come from Unesco.

The *summary measures* in this table are country enrollment rates weighted by each country's share in the aggregate population.

From: "World Development Report 1988", World Bank 1988.

Published for the World Bank Oxford University Press; 1988.

Table VI  
 COMPARATIVE EXPENDITURE ON SCIENCE AND TECHNOLOGY VERSUS PROPOSED FUNDING FOR SCIENCE AND HIGH TECHNOLOGY  
 (3% OF THE EDUCATION EXPENDITURE) BY COUNTRY.  
 DEVELOPED MARKET ECONOMY COUNTRIES

Country	Population (x 1,000)	GNP/Capita (US\$)	Defence % of GNP	Health % of GNP	Education % of GNP	SCIENCE AND TECHNOLOGY*				Visits to ICTP 1970-19		
						Actual Expenditure % of GNP	3% of education Expenditure (1) per year	% of GNP	1% of GNP UNESCO(2)		Scientists & Engineers (per Million population)	
											(Year)	
1 Iceland	244	16,443	n.a.	4,70	3,60	0,8	(1980)	32,10	4	40	n.a.	3
2 Luxembourg	367	15,738	0,80	4,80	5,20	n.a.		n.a.	9	58	n.a.	3
3 New Zealand	3,275	7,115	2,20	5,60	4,80	0,9	(1980)	209,73	34	233	n.a.	10
4 Ireland	3,584	5,198	1,90	7,80	6,90	0,9	(1986)	226,14	39	186	1,076 (1986)	45
5 Norway	4,165	15,109	3,20	5,50	6,80	1,9	(1987)	1519,96	128	629	2,490 (1987)	49
6 Israel	4,302	6,181	19,20	2,10	7,30	3,7	(1983)	664,75	58	266	4,836 (1984)	198
7 Finland	4,921	12,343	1,70	6,00	5,90	1,8	(1987)	1545,02	108	607	n.a.	47
8 Denmark	5,121	12,907	2,10	5,30	7,50	1,3	(1985)	725,93	149	661	1,673 (1985)	140
9 Switzerland	6,490	17,808	1,90	6,80	1,90	2,8	(1986)	3899,39	66	1,156	2,299 (1986)	441
10 Austria	7,496	10,159	1,30	5,30	6,00	1,3	(1985)	830,14	137	762	1,013 (1984)	481
11 Sweden	8,351	13,734	2,90	8,00	7,60	3,0	(1985)	2904,35	261	1,147	2,539 (1985)	475
12 Belgium	9,911	9,298	3,10	5,60	5,60	1,4	(1980)	1290,07	155	921	n.a.	412
13 Greece	9,966	4,617	5,70	3,50	2,50	0,3	(1986)	130,95	35	460	54 (1986)	98
14 Portugal	10,197	2,628	3,30	5,70	4,30	0,5	(1986)	132,82	35	268	439 (1986)	137
15 Netherlands	14,541	9,861	3,10	7,50	6,60	2,2	(1986)	3891,02	284	1,434	2,424 (1986)	363
16 Australia	15,962	12,454	2,70	5,10	5,10	1,4	(1986)	2176,47	304	1,988	2,118 (1986)	94
17 Canada	25,633	14,124	2,20	6,60	7,40	1,5	(1986)	5172,79	804	3,620	2,193 (1986)	245
18 South Africa	32,297	2,077	3,90	0,60	4,60	n.a.		n.a.	93	671	n.a.	-
19 Spain	38,760	5,248	2,30	4,30	3,20	0,8	(1985)	870,54	195	2,034	420 (1985)	345
20 France	55,392	10,986	3,90	6,60	5,90	2,3	(1986)	16352,87	1,077	6,085	1,898 (1986)	1,383
21 United Kingdom	56,679	9,009	5,00	5,30	5,30	2,3	(1986)	12870,82	812	5,106	n.a.	1,632
22 Italy	57,195	9,330	2,30	4,50	4,00	1,2	(1986)	6834,13	640	5,336	1,186 (1986)	4,978
23 Germany Fed. Rep.	60,916	12,049	3,10	6,30	4,50	2,7	(1985)	16820,31	991	7,340	2,354 (1985)	1,754
24 Japan	121,360	12,809	1,00	4,90	5,00	2,8	(1986)	54550,00	2,332	15,545	4,853 (1987)	399
25 United States	241,401	17,478	6,70	4,50	5,30	2,8	(1984)	109700,08	6,709	42,192	3,265 (1986)	2,954

Desirable expenditure on classical "Low Technology" are not included in (1) while they are taken into account in the UNESCO proposed expenditures of 1% of the GNP in (2)  
 For all following tables:

- Figures for population, GNP/Capita, Defence, Health and Education are from World Military and Social Expenditure 1989, (Ruth Leger Sivard, World Priorities, Inc., Washington D.C., 1989). These figures refer to 1986 and GNP/Capita is expressed in 1986 US\$.  
 - Expenditures are in million US\$  
 - Figures on Science and Technology are from Statistics and Technology (Extracts from UNESCO Statistical Yearbook 1989)



Table VI (contin.)  
CENTRAL EUROPE AND ASIAN SOCIALIST COUNTRIES

Country	Population (x 1,000)	GNP/Capita (US\$)	Defence % of GNP	Health % of GNP	Education % of GNP	SCIENCE AND TECHNOLOGY*				Visits ICTP 1970-19
						Actual Expenditure % of GNP	3% of education Expenditure (1) per year	UNESCO(2) & Engineers (per Million population)	Scientists (Year)	
1 Albania	3,020	1,391	4,00	2,30	n.a.	n.a.	n.a.	42	n.a.	7
2 Mongolia	1,966	880	10,50	1,30	n.a.	n.a.	n.a.	17	n.a.	2
3 Bulgaria	8,974	4,955	3,60	3,20	4,40	3,3 (1987)	599	181	5641 (1987)	332
4 Hungary	10,628	6,212	2,40	3,20	3,80	2,7 (1987)	1,783	75	2105 (1987)	352
5 Czechoslovakia	15,530	6,688	4,10	4,20	3,60	4,3 (1987)	4,466	112	4161 (1987)	301
6 German Dem. Rep.	16,640	8,808	4,90	2,60	3,80	4,7 (1987)	6,888	167	7574 (1987)	95
7 Korea Dem. Rep.	20,883	1,231	10,00	1,00	n.a.	n.a.	n.a.	257	n.a.	4
8 Romania	18,407	4,990	1,60	1,90	1,80	n.a.	n.a.	286	n.a.	214
9 Yugoslavia	23,272	3,659	4,00	4,30	3,80	1,1 (1987)	936	852	1445 (1987)	1,301
10 Poland	37,483	5,034	3,30	4,00	4,50	1,5 (1987)	2,830	1,887	133 (1987)	1,152
11 Vietnam	61,419	229	n.a.	n.a.	n.a.	0,63 (1985)	89	140	333 (1985)	93
12 USSR	279,213	8,442	11,50	3,20	5,20	5,5 (1987)	129,635	3,677	5414 (1987)	498
13 China P.R.	1054,173	299	6,00	1,40	2,70	0,97 (1986)	3,041	255	n.a.	1,505

Table VI (contin.)  
DEVELOPING COUNTRIES - POPULATIONS UP TO NEARLY 3 MILLIONS

Country	Population (x 1,000)	GNP/Capita (US\$)	Defence % of GNP	Health % of GNP	Education % of GNP	SCIENCE AND TECHNOLOGY*			Scientists & Engineers (per Million population)	Visits ICIP 1970-19
						Actual Expenditure % of GNP	3% of education Expenditure (1) per year	1% of GNP UNESCO(2)		
								(Year)		
1 Brunei Darussalam	232	15,388	7,10	0,70	3,40	0,1 (1984)	5,08	3,64	90 (1984)	-
2 Qatar	313	12,396	5,00	n.a.	5,60	0 (1986)	1,83	6,52	746 (1986)	20
3 Bahrain	447	8,210	5,00	2,60	5,00	n.a.	n.a.	551	n.a.	4
4 Cyprus	673	4,195	0,80	1,90	3,60	0,1 (1984)	1,99	3,05	77 (1987)	4
5 Fiji	703	1,789	1,20	2,40	6,00	0,3 (1986)	3,35	2,26	51 (1986)	5
6 Gambia	767	265	0,80	2,30	4,00	n.a.	n.a.	0,24	2	4
7 Swaziland	688	551	1,60	2,40	6,20	n.a.	n.a.	0,70	n.a.	4
8 Guyana	971	422	12,20	4,60	8,00	0,2 (1982)	0,93	0,98	99 (1982)	10
9 Guinea Bissau	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	19
10 Gabon	1,021	3,161	3,80	2	4,80	n.a.	n.a.	4,65	190 (1987)	5
11 Mauritius	1,050	1,265	0,20	1,80	3,30	0,6 (1987)	9,72	1,31	220 (1987)	15
12 Botswana	1,117	983	2,30	2,90	9,10	0,2 (1975)	2,20	3,00	n.a.	5
13 Oman	1,289	5,229	27,60	3,30	6,60	n.a.	n.a.	13,35	n.a.	3
14 Trinidad & Tobago	1,204	5,095	1,00	3,00	5,80	0,8 (1984)	59,69	10,67	235 (1984)	11
15 United Arab Em.	1,403	15,249	8,80	1,00	2,20	n.a.	n.a.	14,12	2	2
16 Lesotho	1,583	395	2,40	1,60	3,50	n.a.	n.a.	0,66	n.a.	12
17 Mauritania	1,814	444	4,90	1,90	6,00	n.a.	n.a.	1,45	n.a.	19
18 Kuwait	1,783	13,601	5,80	2,90	4,60	0,9 (1984)	240,42	33,47	929 (1985)	124
19 Congo	1,787	975	4,60	2,00	5,00	0 (1984)	0,06	2,61	509 (1984)	18
20 Yemen PDR	2,201	413	22,00	2,00	6,00	n.a.	n.a.	1,64	n.a.	4
21 Panama	2,227	2,150	2,00	5,40	5,50	0 (1986)	0,17	7,90	n.a.	8
22 Liberia	2,249	450	2,20	1,50	5,00	n.a.	n.a.	1,52	n.a.	18
23 Jamaica	2,372	993	1,50	2,80	5,60	0 (1986)	0,73	3,96	8 (1986)	15
24 Singapore	2,587	7,045	5,50	1,20	5,20	0,9 (1987)	177,94	28,43	1287 (1987)	53
25 Central African Rep.	2,638	297	1,70	1,20	5,30	0,2 (1984)	1,56	1,25	78 (1984)	3
26 Costa Rica	2,716	1,458	0,60	5,40	4,70	1,5 (1986)	10,93	5,58	n.a.	62

\* These are the desirable figures for Science and (Science - based) High Technology alone.  
Expenditure on classical "Low" Technology, (which, according to the Third World Academy of Sciences (TICAS) estimates, should minimally amount to another 8% of educational budgets) are not shown explicitly. These are however included in the UNESCO proposed expenditure of 1% of the GNP in (3).

For the Developing countries, percentages of GNP for Education Expenditure show a substantial variation around the average of 3.8%. This is reflected in the variations between

Table VI (contin.)  
DEVELOPING COUNTRIES - POPULATIONS FROM 3 TO 10 MILLIONS

Country	Population (x 1,000)	GNP/Capita (US\$)	Defence % of GNP	Health % of GNP	Education % of GNP	SCIENCE AND TECHNOLOGY*				Visits ICTP 1970-19
						Actual Expenditure M(US\$)	3% of education Expenditure (1) per year	1% of GNP UNESCO(2)	Scientists & Engineers (per Million population)	
Uruguay	3,035	1,900	2,50	1,10	3,00	11,53	5,19	58	n.a.	24
Togo	3,052	256	3,20	1,60	5,50	10,95	1,29	8	n.a.	38
Nicaragua	3,385	845	16,00	6,60	6,10	8,58	5,23	29	207 (1987)	1
Lebanon	2,707	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	6,40	n.a.	n.a.	67 (1980)	129
Paraguay	3,808	921	1,00	0,40	1,40	7,02	1,47	35	248 (1981)	2
Papua New Guinea	3,605	677	1,40	3,30	5,60	n.a.	4,10	24	n.a.	11
Jordan	3,645	1,108	13,80	1,90	5,10	9,05	6,18	40	77 (1985)	157
Libyan A. Jamahiriya	3,935	5,290	12,00	3,00	10,10	72,28	63,07	208	361 (1980)	154
Sierra Leone	3,755	341	1,20	0,70	3,00	n.a.	1,15	13	n.a.	71
Benin	4,177	275	2,30	0,80	3,50	n.a.	1,21	11	n.a.	48
Honduras	4,531	752	5,90	2,60	5,00	n.a.	5,11	34	n.a.	16
Burundi	4,860	238	3,50	0,70	2,80	3,40	0,97	12	48 (1984)	35
Chad	5,141	131	6,00	0,60	2,00	2,02	0,40	7	n.a.	2
Somalia	6,627	235	4,40	0,20	6,00	n.a.	2,80	16	n.a.	30
Haiti	6,032	369	1,50	0,90	1,20	n.a.	0,80	22	n.a.	0
El Salvador	4,840	821	3,70	1,00	2,30	71,52	2,74	40	1034 (1987)	6
Rwanda	6,312	265	1,90	0,60	3,20	9,07	1,61	17	12 (1985)	30
Guinea	6,225	305	3,00	1,00	3,00	n.a.	1,71	19	216 (1984)	44
Dominican Rep.	6,566	816	1,40	1,40	1,60	n.a.	2,57	54	n.a.	11
Bolivia	6,547	541	2,40	0,40	2,40	n.a.	2,55	35	n.a.	42
Niger	6,298	266	0,70	0,80	4,00	1,67	2,01	17	n.a.	12
Senegal	6,613	446	2,30	1,10	4,60	29,49	4,07	29	335 (1981)	76
Zambia	7,283	359	3,20	2,10	4,40	13,09	3,45	26	n.a.	37
Malawi	7,379	178	2,30	2,40	3,70	2,63	1,46	13	n.a.	20
Tunisia	7,443	1,121	6,20	2,70	5,00	n.a.	12,51	83	n.a.	115
Mali	8,322	152	2,50	0,70	3,20	n.a.	1,22	13	n.a.	57
Burkina Faso	8,090	151	3,00	0,90	2,50	6,12	0,92	12	n.a.	15
Yemen Arab Rep.	7,093	707	6,80	1,10	5,10	15,04	7,67	50	n.a.	51
Guatemala	8,194	1,292	1,30	0,70	1,80	44,80	5,72	106	348 (1984)	5
Zimbabwe	8,567	682	1,00	2,30	7,90	n.a.	13,85	58	n.a.	5

**Table VI (contin.)**  
DEVELOPING COUNTRIES - POPULATIONS FROM 10 TO 20 MILLIONS

	Country	Population (x 1,000)	GNP/Capita (US\$)	Defence % of GNP	Health % of GNP	Education % of GNP	SCIENCE AND TECHNOLOGY *						
							Actual Expenditure % of GNP	3% of education Expenditure (1) per year	1% of GNP UNESCO(2)	Scientists & Engineers (per Million population)	Visits a ICIP 1970-19		
												(Year)	
59	Côte d'Ivoire	10,688	673	1,20	1,10	5,00	0,3 (1975)	21,59	10,79	72	74 (1975)		34
60	Cuba	10,006	1,999	7,40	3,20	6,20	0,9	305,65	37,20	200	n.a.		76
61	Cameroon	10,136	935	1,70	0,70	2,80	0,8 (1988)	75,84	7,96	95	n.a.		38
62	Madagascar	10,547	256	2,40	1,80	3,50	0,20 (1980)	6,58	2,83	27	13 (1980)		53
63	Syrian Arab Rep.	10,835	1,818	14,70	0,80	5,70	n.a.	n.a.	33,68	197	n.a.		146
64	Saudi Arabia	12,072	6,385	22,70	4,00	10,60	n.a.	n.a.	245,11	771	n.a.		82
65	Chile	12,328	1,309	3,60	2,10	5,20	0,5 (1987)	91,00	25,18	161	432 (1987)		149
66	Ghana	13,276	496	0,90	0,30	3,50	0,9 (1975)	59,26	6,91	66	n.a.		250
67	Uganda	16,033	461	4,20	0,20	1,10	n.a.	n.a.	2,44	74	n.a.		219
68	Malaysia	15,815	1,865	6,10	1,80	7,90	n.a.	n.a.	69,92	295	183 (1983)		219
69	Iraq	16,467	2,308	32,00	0,80	3,70	0,1 (1975)	38,00	42,18	380	n.a.		182
70	Sri Lanka	16,342	400	5,70	1,30	3,60	0,2 (1984)	10,90	7,06	65	173 (1985)		213
71	Nepal	17,348	173	1,50	0,90	2,80	n.a.	n.a.	2,53	30	22 (1980)		127
72	Venezuela	17,790	2,922	1,60	2,70	6,60	0,3 (1985)	188,23	102,91	520	273 (1983)		179
73	Mozambique	14,079	272	7,00	1,80	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	38	n.a.		3
74	Peru	20,208	1,153	6,50	1,00	1,60	0,2 (1984)	45,87	11,18	233	273 (1981)		198

Table VI (contin.)  
DEVELOPING COUNTRIES - POPULATIONS FROM 20 TO 50 MILLIONS

Country	Population (x 1,000)	GNP/Capita (US\$)	Defence			Health			Education			SCIENCE AND TECHNOLOGY*							
			% of GNP			% of GNP			% of GNP			Actual Expenditure		3% of education		UNESCO(2)	Scientists & Engineers	ICIP	Visits
														Expenditure (1)	per year		(per Million population)	1970-19	
75 Kenya	21,224	324	2,40	1,90	6,00	0,8 (1975)	55,10	12,40	69	n.a.	119								
76 Algeria	22,386	2,654	1,90	2,20	6,10	0,3 (1975)	178,24	108,73	594	n.a.	213								
77 Morocco	22,709	604	5,10	1,00	5,90	n.a.	n.a.	24,28	137	n.a.	226								
78 Sudan	22,470	393	5,90	0,20	4,00	0,2 (1980)	17,66	10,60	88	n.a.	263								
79 U. Rep. Tanzania	23,607	284	3,30	1,20	4,20	n.a.	n.a.	8,44	67	n.a.	128								
80 Colombia	29,325	1,290	1,00	0,80	2,80	0,1 (1982)	42,98	31,77	378	40 (1982)	216								
81 Argentina	30,737	2,373	1,50	1,50	1,80	0,4 (1980)	364,75	39,39	729	652	677								
82 Zaire	31,684	160	3,00	0,80	0,40	n.a.	n.a.	0,61	51	n.a.	49								
83 Burma	38,334	191	3,10	1,00	2,10	n.a.	n.a.	4,60	73	n.a.	6								
84 Korea Rep.	41,598	2,418	5,20	0,30	4,90	1,8 (1986)	1728,51	147,88	1006	1129 (1986)	186								
85 Ethiopia	43,037	120	8,60	1,00	4,20	n.a.	n.a.	6,52	52	n.a.	111								
86 Iran Islamic Rep.	49,468	1,637	20,00	1,80	3,50		241,70	85,05	810	67	407								
87 Egypt Arab Rep.	48,857	749	8,90	1,00	4,80	0,2 (1982)	57,68	52,67	366	428	1068								
88 Turkey	51,454	1,409	4,90	0,50	2,10	0,7 (1980)	368,72	45,68	725	224	737								

Table VI (contin.)  
DEVELOPING COUNTRIES - POPULATIONS FROM 50 TO OVER 100 MILLIONS

Country	Population (x 1,000)	GNP/Capit a (US\$)	Defence		Health		Education		SCIENCE AND TECHNOLOGY *						
			% of GNP	% of GNP	% of GNP	% of GNP	% of GNP	% of GNP	Actual Expenditure	3% of education Expenditure (1) per year	1% of GNP UNESCO(2)	Scientists & Engineers (per Million population)	Visits a ICTP 1970-19	(Year)	
89 Thailand	52,477	783	4,00	1,30	4,10	0,3 (1985)	127,88	50,51	411						221
90 Philippines	56,551	590	1,70	0,70	1,70	0,1 (1984)	36,73	17,01	333					n.a.	129
91 Mexico	81,204	2,678	0,60	1,70	2,80	0,6 (1984)	949,37	182,64	2,174					90 (1984)	437
92 Nigeria	98,483	731	1,00	0,40	1,40	0,3 (1980)	215,94	30,23	720					215 (1984)	649
93 Pakistan	107,129	331	6,70	0,20	2,20	0,4 (1984)	107,87	23,40	354					87 (1986)	698
94 Bangladesh	103,895	164	1,50	0,60	2,20	0,2 (1975)	34,01	11,22	170					n.a.	344
95 Brazil	138,502	1,809	0,90	1,30	3,40	0,4 (1985)	869,40	255,58	2,506					390 (1985)	867
96 Indonesia	169,368	491	2,50	0,70	3,50	0,3 (1986)	188,49	87,34	862					175 (1986)	178
97 India	785,650	272	3,50	0,90	3,40	0,9 (1986)	222,83	217,79	2,135					109 (1986)	2,348

**Table VII**  
DONOR CONTRIBUTIONS TO CGIAR CENTER PROGRAMS, 1972-86 (IN  
US\$ MILLION)

Donor	CORE PROGRAMS				TOTAL (CORE+NON-CORE)
	1972-76	1982	1984	1986	1986
Australia	4,00	3,77	4,00	4,52	4,85
Austria				1,00	1,01
Belgium	3,48	1,85	1,71	1,77	2,48
Brazil			1,00		0,01
Canada	17,37	8,29	10,03	10,66	14,26
China			0,50	0,48	0,48
Denmark	1,71	0,96	1,24	1,65	1,67
Finland			0,50	0,99	0,99
France	1,05	0,90	0,88	2,07	2,15
Germany Fed. Rep.	13,27	7,84	6,67	8,03	8,90
India		0,50	0,50	0,50	0,50
Iran	1,98				
Ireland		0,21	0,41	0,58	0,58
Italy	0,10	1,59	6,62	8,33	9,73
Japan	2,49	8,85	9,72	15,89	18,92
Mexico		0,10	1,22	0,20	0,25
Netherlands	4,11	3,24	3,28	6,65	7,88
New Zealand	0,11	0,02	0,02	0,01	0,01
Nigeria	1,30	1,13	1,00	0,19	0,38
Norway	3,33	1,87	1,92	3,12	3,40
Philippines		0,45	0,32	0,27	0,27
Saudi Arabia	1,00		1,50		
Spain		0,46	0,52	0,50	0,50
Sweden	7,19	3,18	3,07	4,20	4,21
Switzerland	1,87	2,76	6,70	7,11	9,08
United Kingdom	9,02	6,34	5,66	8,40	8,55
United States	41,60	40,79	45,25	46,25	60,22
<i>Contry Subtotal</i>	<i>114,98</i>	<i>95,11</i>	<i>114,23</i>	<i>133,36</i>	<i>161,30</i>

**Table VII** (contin.)  
**DONOR CONTRIBUTIONS TO CGIAR CENTER PROGRAMS, 1972-86 (IN US\$ MILLION)**

	<i>CORE PROGRAMS</i>				<i>TOTAL (CORE+NON-CORE)</i>
Donor	1972-76	1982	1984	1986	1986
Ford	16,79	0,81	0,99	0,90	1,73
Kellogg	1,32		0,34		
Kresge	0,75				
Leverhulme		0,65	0,81	0,62	062
Rockefeller	17,10	0,80	0,50	0,93	1,22
<i>Foundation Subtotal</i>	<i>35,96</i>	<i>2,26</i>	<i>2,64</i>	<i>2,45</i>	<i>3,57</i>
ADB	0,30				0,71
AFDB		0,02		0,59	0,59
AFESD		0,24	0,23	0,34	0,34
EC		4,72	4,72	7,14	8,47
IDB	11,15	8,10	8,73	9,39	9,44
IDRC	3,95	1,20	1,01	1,18	3,51
IFAD		5,94	7,02	0,45	1,22
OPEC		3,58	2,19	0,47	0,87
UNDP	7,42	6,19	8,06	8,42	8,87
UNEP	0,94	0,18	0,03		0,03
World Bank (IBRD)	16,15	16,30	24,30	28,40	29,61
<i>Int'l Donor Subtotal</i>	<i>39,91</i>	<i>46,47</i>	<i>56,29</i>	<i>56,39</i>	<i>63,66</i>
Other Donors					7,01
<b>TOTAL</b>	<b>190,85</b>	<b>143,84</b>	<b>173,16</b>	<b>192,20</b>	<b>235,54</b>



# ENVIRONMENT AND SYSTEM SCIENCES

JACQUES-LOUIS LIONS

Collège de France,  
Paris

## 1. ENVIRONMENT

By "Environment" we refer to the so-called "*Global Change*" problem: Are we experiencing an increase in the global temperature of Planet Earth System? And if so, how much, and what would be the consequences if no action is taken? What action(s) could be taken?

By "Environment" we also refer to "*Local*" questions such as water pollution, whether it be in a lake, or a closed sea, or underground. We also think of the so-called "acid rain". But are these questions "local" or "global"?

There is no doubt that *actions*, if taken, are certainly "local" - meaning local from a geographical or an economical view-point - but there is also no doubt that all these "local" actions, "local" decisions, have to do with a *unique global system*.

As it has been very well noticed by our colleague E. De Giorgi we find here *some* analogies with *culture* - and E. De Giorgi speaks of "Ecological Culture". Indeed culture starts *locally*, mainly at local schools, with local teachers, and of course in the local family environment. (Here we should, maybe, add the increasing role of Television, and its "delocalizing" effects). But Culture is also universal, and therefore "local" culture interacts with "Global" Culture.

To return to the "Environment" questions, thought of in the framework briefly alluded to above, we would like to present here some remarks from *The view point of System Sciences*.

To be even more specific, what we are going to say represents *one* possible viewpoint among various viewpoints following from a System Science approach.

The viewpoint we take here consists in three steps:

- (i) Modelling
- (ii) Analysis of the Models
- (iii) Actions decided upon following the Analysis.

## 2. MODELLING

Is it *possible* to apply this methodology to the Planet Earth System, and *what can we expect* from such an enterprise?

Of course this question is immense and goes far beyond the intellectual possibilities of an individual. But very important worldwide programs are in progress. WMO (World Meteorological Organization) is developing a systematic effort. ICSU (International Council of Scientific Unions) started in 1986 the so called "*Global Change Program*" (IGBP= International Geosphere Biosphere Program). The U.N. and UNESCO are also mounting large efforts. The Space Agencies are joining forces to obtain space data in a systematic and coordinated way - and to calibrate these data.

IMU (International Mathematical Union) entered IGBP in 1988-89. A large number of meetings are devoted to these questions. It therefore goes without saying that the remarks to follow are very sketchy and very preliminary. For more information we refer to *Planet Earth System: Mathematics and Supercomputers*. Pub. Instituto d'España, 1990 (in English).

The whole approach is based on a "*basic assumption*", namely that Planet Earth System can be modelled by systems of partial differential equations of dissipative type.

This strange looking assumption follows from an already long history in Meteorology and Oceanography, where indeed it is known that classical equations of fluid dynamics play a key role. The assumption is not at all so well established in other topics such as, among others, vegetation.

However:

- (i) a large amount of research is devoted to vegetation modelling and, in particular, to the *boundary conditions* which are needed at interfaces.

(ii) there does not seem to be any other methodology than the use of *mathematical models*, in particular for *long range* predictions where statistical methods *cannot* contribute (although of course they are essential at the beginning of the modelling process, in particular to validate models).

From now on, *we make this basic assumption*, which we repeat again: there exist models for the Climate Evolution of Planet Earth System, and *these models consist in systems of non linear partial differential equations of dissipative type*.

The obvious questions are the following:

1. How to validate the models (the plural here comes from the rather obvious fact that the model to work with will depend on the *time horizon* we are interested in: the model equations are different in Meteorology and in Climatology!).

2. Assuming the models are validated, *what can be done with them?*

### 3. VALIDATION

The method is simple and clear: one compares the numerical results obtained from the model with the data obtained directly by physical measurements.

This method is based on two things: 1) having data 2) being able to *obtain numbers* from the analysis of the model.

There is a great need for an international *Data Information System* (D.I.S). Let us briefly list some rather obvious questions in this direction:

1. coordination of the data acquisition - in particular the space data. This coordination is underway, in particular the framework of SAFISY (Space Agencies Forum for International Space Year).

2. calibration of data

3. organization of a network of data banks

4. accessibility to these data banks.

These innocent looking remarks raise difficult questions, in particular number 4, since here one is immediately led to questions of :

- freedom of access to these data
- cost of this access
- problems concerning classified data, in particular all those related to deep ocean measurements.

In order to validate the models, (and this is the second point mentioned at the beginning of this section) one has to be able to obtain *numbers* from the analysis of data.

A *necessary condition* is to have access to a powerful computer (whether it be called a "super computer", "hypercomputer" or otherwise). Is this condition *sufficient*?

This question is more "mathematical" than the previous ones. It is related to the difficulty of the *various scales*, both in *space* and in *time* which *have* to be considered.

Actually the difficulty of having very many scales to consider together is one of the key difficulties met in trying to understand *turbulence*. In the present case the difficulty is increased by having to consider *also* the various scales met in *vegetation* modelling, and also the *chemical* parts of the systems (and the *time delays* which go with these phenomena).

Systematic methods are being developed to deal with these problems. Let me mention just some "key words":

- slow varieties or inertial varieties
- assimilation theory
- sentinels

As a result of all these efforts, a steady progress is being made towards the validation of various models. For instance, astonishing results are being obtained in *paleoclimatology*, with models which are compared against data for a period of about 18,000 years.

#### 4. WHAT NEXT?

Assuming we can have validated models and that we can extract from them some relevant information, what can be done? Two types of remarks are in order.

1. The *best* we can hope for are *scenarios* of possible climate changes, since of course we have only touched the surface of *some* of the phenomena which should be taken into account.

Other phenomena which are absolutely essential, are:

- Energy
- Economy
- Demography

Based on estimates devoted to these fundamental topics, we can "*plug*" into the global models *further data* concerning Energy, Soil Management, Megapolis evolution, Pollution. Once this has been done, then we can hope to derive *more and more plausible scenarios*.

2. Based on these scenarios, we scientists can propose to Governments some actions. Some of these can be of a "global" nature - such as those taken in the Montreal Protocol devoted to the emission of CFC's.

However, most of these decisions will be taken *locally*, and will be based mainly on *local observations*. Examples: pollution in water systems such as closed seas, bays, underground water, river basins etc. Therefore decisions are related to *subsystems*. And at the same time the Global Change Program is based on the *observation* that most of the phenomena are related by the so-called *feedbacks*. (For clarity, let us recall here one of the most famous feedbacks, discovered by CHARNEY, and according to which "the desert feeds back its dryness").

In classical system science theory, subsystems are defined as *components* of the whole system which, at least in a first approximation, and under some given circumstances and hypotheses on the way the system is going to be used, can be "isolated" from the other parts of the system. This approach (which of course can be made more precise!) is questionable, but at least it allows us to "start working" and can be improved in a further stage of the system study and application.

In the Planet Earth System we are faced with a different situation: the "subsystem" is *not* defined on a scientific basis (such as separation of various parts depending on the nature of the spectra of the operators involved) but is rather defined on a *geographical* or on a *political basis*.

To make a long story short: is a harbour in an island a subsystem? Certainly "yes" by all reasonable standards, but on the other hand it is also *intimately connected* with global systems such as the possible increase in sea level, the possible increase of extreme events such as typhoons, etc.

This leads to new questions which are not at all hopeless. One can use global models for obtaining boundary conditions, one can use methods coming from wave theory (such as transparent boundary conditions), and one can also use methods from control theory.

## 5. BY WAY OF CONCLUSION

It goes without saying that everything which has been briefly alluded to above does not make sense without a *systematic and open worldwide cooperation*. The world *seems* to be moving in the right direction, although still with many political difficulties; we already mentioned one of them in connection with access to data. We can add: the possibility to have *access to super computers*, where there still are restrictions which are not only of an economical nature.

We would also like to emphasize that actions will have to be taken not only *locally* but on a world-wide basis. Hence the need for *economic compensations* and also the crucial importance of *education*.

All these questions are also related to a philosophical approach to the way we think of Planet Earth. We have in mind here the GAIA theory, but we shall not proceed along these lines.

In any case, a number of actions can be taken which can *certainly* play a positive role in *many respects*. Some of them include:

- (1) organization of an easily accessible data bank network;
- (2) deepening interdisciplinary research on the modelling aspects, and where fundamental contributions can come from developing as well as developed countries.

(3) furthering the research along the connections between climatology models and Agriculture, Energy, Economy and Demography models or scenarios.

(4) organization of systematic educational programs devoted to these topics.

Another fascinating study could be devoted to the use of so-called *Experts Systems* (i.e. software with an inference machine) as a *help to modelling*. But we will not proceed here along these lines.

## INTERNATIONAL COLLABORATION IN SCIENCE

CARLO RUBBIA  
Director-General of CERN  
GENEVA

Scientific results have by essence to be accepted by all. Critical assessment by the whole scientific community is a must and the free flow of information has always been a key element of scientific research.

Scientists have always tried to discuss openly their new ideas and new results and this international character of research has been, at all times, an important aspect of their work.

The new element is that the size and complexity of the equipments which are needed to look new ground have become such that an international collaboration is needed, not only to fully assess and exploit new results but also to obtain them in the first place. This has to do with the cost of the equipment, but also very much so with the size of the scientific constituency required for the proper exploitation of any of the new big apparatus.

The financial resources but also the human resources available in one single European country are not enough for many present projects.

Particle physics, which uses the most powerful accelerators of the time, has had of course a pioneer role. It has since been strongly followed by other fields of research in which fully international cooperation has also become a must. In Europe, CERN — which was created in 1954 — stands as a model and its role and mode of operation are briefly presented. Whilst it had put Europe in the leading position worldwide in high energy physics by the early eighties, it has inspired other major international projects in other domains of research.

The size and sophistication of the equipments which are needed for this frontline research naturally associate industry to



the international scientific endeavour. An international research organization is therefore a valuable laboratory for a much wider collaboration.

Bringing together people of different backgrounds and cultures but showing the same passion for physics, this international scientific venture paves the way for a much wider mutual understanding and collaboration spirit among mankind.

DECLARATION  
OF THE PONTIFICAL ACADEMY OF SCIENCES  
URGING THE PROVISION OF IMMEDIATE  
AND INTENSIFIED SUPPORT FOR THE  
SCIENTIFIC INSTITUTIONS OF THE THIRD WORLD

The Members of the Pontifical Academy of Sciences express their serious concern with respect to the prospects with which the scientific institutions in the Third World are faced. The present difficult economic and social situations in the countries concerned have stopped the growth of these institutions and, in some cases, there is even the risk that they might disappear. The disregard of the importance of science for development would have very serious consequences for the Third World. Its numerous pending problems will have to be solved through an interdisciplinary approach, in which scientific knowledge is going to play an essential role. We therefore request that the governments of the countries involved make the greatest effort possible to continue and intensify their support given to their scientific institutions.

31 October 1990

