

LA
JAUNE
ET LA
ROUGE

LA
JAUNE
ET LA
ROUGE

LA
JAUNE
ET LA
ROUGE

LA
JAUNE
ET LA
ROUGE

LA
JAUNE
ET LA
ROUGE

LA
JAUNE
ET LA
ROUGE

LA
JAUNE
ET LA
ROUGE

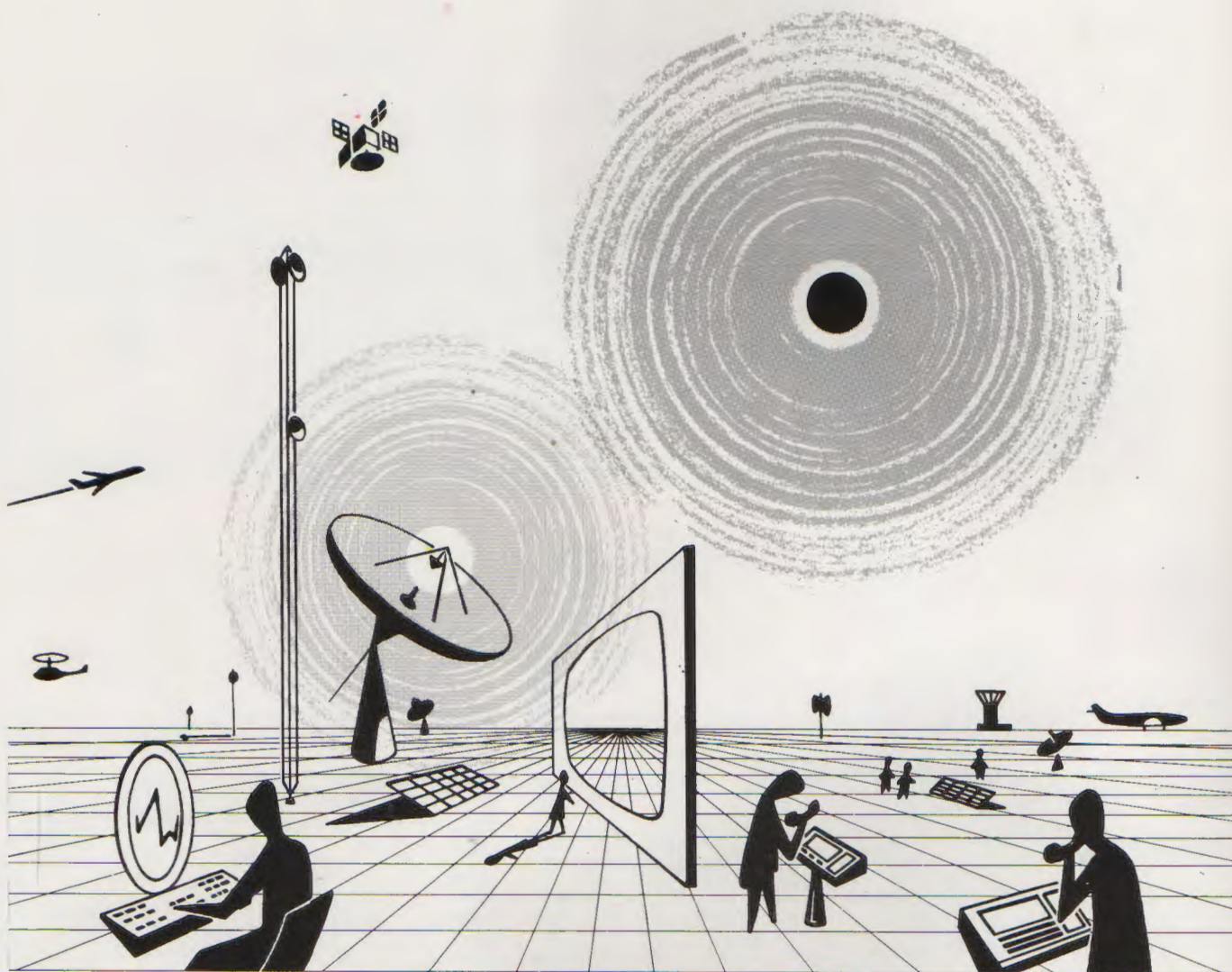
LA
JAUNE
ET LA
ROUGE

LA
JAUNE
ET LA
ROUGE



LES X

DANS LA RECHERCHE



L'ÉLECTRONIQUE DU FUTUR

THOMSON-CSF, par ses efforts de recherche et de développement,
par l'évolution continue de ses technologies, prépare dès aujourd'hui
l'électronique de demain.

Les composants, les équipements et les systèmes ainsi développés assureront demain
la présence de THOMSON-CSF sur les nouveaux marchés de l'électronique :
télécommunications - transmissions par faisceaux hertziens et par fibres optiques
télécommunications spatiales - commutation téléphonique électronique - informatique - télématique...

23, RUE DE COURCELLES / B.P. 96-08 / 75362 PARIS CEDEX 08 / FRANCE / TÉL. (1) 563 12.12



THOMSON-CSF



PROGRAMMES OTAN POUR LA COLLABORATION SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

Les programmes scientifiques de l'OTAN ont pour mission de promouvoir par une mobilité accrue des chercheurs le développement de la recherche, la diffusion des connaissances et la coopération internationale dans les domaines scientifiques et techniques.

Depuis 1958 plus de 100.000 scientifiques ont pu grâce à ces programmes :

- entreprendre des recherches à l'étranger pour des périodes de 3 à 12 mois,
- organiser ou participer aux rencontres scientifiques de haut niveau de l'OTAN,
- collaborer à des projets de recherche multinationaux.

Le programme scientifique de l'OTAN comprend des :

BOURSES D'ETUDES

Celles-ci permettent à des étudiants en doctorat ou à des chercheurs de poursuivre leurs travaux de recherche à l'étranger.

COURS D'ETE

Ils offrent un enseignement post-universitaire de haut niveau pendant deux semaines sur des questions d'actualité, jusqu'à 100 scientifiques peuvent y participer. Une liste complète des cours organisés chaque année est publiée dans un numéro de janvier de "Science", "Nature", "New Scientist" et "La Recherche".

SUBVENTIONS POUR LA COLLABORATION INTERNATIONALE DANS LA RECHERCHE

Attribuées pour des projets de recherche menés conjointement par des scientifiques dans au moins deux pays membres.

PROGRAMMES SPECIAUX

Des séminaires et d'autres activités sont également patronnés par l'OTAN dans des domaines scientifiques pour lesquels une aide particulière à la collaboration internationale est nécessaire.

Les chercheurs qui souhaitent bénéficier d'une aide dans le cadre de l'un ou l'autre des programmes scientifiques de l'OTAN peuvent adresser leurs demandes à :

**OTAN - DIVISION DES AFFAIRES SCIENTIFIQUES
B - 1110 BRUXELLES, BELGIQUE**



PROGRAMME 1981 DE COURS D'ÉTE DE L'OTAN

Les Cours d'été de l'OTAN (NATO ASI) sont des sessions didactiques de deux semaines environ sur d'importants thèmes scientifiques d'actualité. Chaque cours s'adresse à une centaine de spécialistes, provenant de plusieurs pays (chercheurs et étudiants de troisième cycle ou en doctorat). Leur but n'est pas seulement de diffuser les connaissances scientifiques les plus récentes mais aussi de créer des contacts au niveau international entre scientifiques.

Il n'est pas réclamé de frais de participation et dans certains

cas une modeste subvention peut être accordée pour couvrir une partie des frais de voyage et de séjour.

Chaque cours est placé sous l'autorité d'un directeur et d'un comité organisateur auprès de qui les demandes d'inscription et de subvention devront être directement adressées au moins quatre mois avant le début du cours.

PUBLICATIONS Les actes de la plupart des cours sont publiés dans la série ASI de l'OTAN. Près de 200 volumes ont déjà été publiés par : Plenum — Reidel — Sijthoff & Noordhoff.

LES SÉMINAIRES SONT GÉNÉRALEMENT PROFESSEÉS EN ANGLAIS. CERTAINS SONT INTERDISCIPLINAIRES; IL EST DONC RECOMMANDÉ DE CONSULTER LEUR LISTE COMPLÈTE. LES LIEUX ET DATES DES COURS SONT SUSCEPTIBLES DE MODIFICATION. LES INTITULÉS ET ADRESSES SONT ABRÉGÉS.

I LIFE SCIENCES

NATURAL AND EXPERIMENTALLY INDUCED REARRANGEMENT OF NEURONAL CONNECTIONS
Prof. S.S. EASTER Biological Sciences, Univ. of Michigan, 830 North University Ave., Ann Arbor, MI 48109, USA
28 May-8 June, 1981 : Varenna, Italy

SPINAL CORD REHABILITATION ENGINEERING
Prof. D.N. GHISTA Michigan Technological Univ., College of Engineering, Houghton, Michigan 49931, USA
11-23 May, 1981 : Stoke Mandeville Hospital, UK

ADVANCES IN BIOL. EFFECTS AND DOSIMETRY OF LOW ENERGY ELECTROMAGNETIC FIELDS
Prof. A. RINDI INFN-LNF - C.P. 13, 00044 Frascati (Rome), Italy
28 March-8 April, 1981 : Erice, Italy

COMPARTMENTATION AND NEUROTRANSMITTER INTERACTION
Prof. H.F. BRADFORD Dept. of Biochemistry, Imperial College, London SW.7 2AZ, UK
26 July-5 August, 1981 : Hotel Metropole, Powys, Mid-Wales, UK

BEHAVIORAL MEDICINE : WORK, STRESS AND HEALTH
Dr. N. BENSON Univ. of Texas Medical Branch, Galveston, Texas 77550, USA

QUANTUM ELECTRODYNAMICS OF STRONG FIELDS

Prof. Dr. W. GREINER Inst. für Theor. Physik, Univ., Robert Mayer Str. 8-10, 6000 Frankfurt/Main, Germany
14-26 June, 1981 : Lehmanns/Rhein, Germany

MAGNETISM IN SOLIDS - SOME CURRENT TOPICS

Prof. A.P. CRACKNELL Carnegie Lab. of Physics, Univ. of Dundee, Dundee DD1 4 HN, Scotland
9-29 August, 1981 : Dundee

FUNDAMENTAL INTERACTIONS

Prof. M. LEVY Phys. Théorique et Hautes Energies, Univ. P. et M. Curie, Tour 16, 4th Pl. Jussieu, 75230 Paris, France
15-31 July, 1981 : Cagliari, Corsica

QUANTUM OPTICS AND EXPERIMENTAL GENERAL RELATIVITY

Prof. P. MEYSTRE Projektgruppe für Laserforschung der Max-Planck-Gesellschaft, 8046 Garching/Munich, Germany
August 1981 : Kurs- und Kongresshotel Resident, Bad Windsheim, Germany

EXCITATIONS IN DISORDERED SYSTEMS

Prof. W.F. THORPE Physics Depart., Michigan State Univ., East Lansing, Mich. 48824, USA
23 August-4 September, 1981 : Michigan Univ., USA

CHAOTIC BEHAVIOUR OF DETERMINISTIC SYSTEMS

Prof. R. STORA Division Théorie, CERN, 1211 Genève 23, Suisse
29 June-31 July, 1981 : Les Houches, France

PATTERN RECOGNITION THEORY AND APPLICATION

Dr. J. KITTLER Nuclear Physics Laboratory, Oxford Univ., Keble Road, Oxford OX1 3RH, UK
28 March-11 April, 1981 : Oxford, UK

GAUGE THEORIES IN HIGH ENERGY PHYSICS

Prof. R. STORA, Division Théorie, CERN, 1211 Genève 23, Suisse
3 August-11 September, 1981 : Les Houches, France

INTEGRATED OPTICS: PHYSICS AND APPLICATION

Prof. S. MARTELLUCCI Inst. of Physics, Univ. of Naples, Piazza V. Tecchio 80, 80125 Napoli, Italy
17-29 August, 1981 : Erice, Italy

ADVANCES IN LASER SPECTROSCOPY

Prof. H. WALTHER Max-Planck-Gesellschaft, D-8046 Garching bei München, Germany

CO-ORDINATION CHEMISTRY ENVIRONMENTS IN PROTEINS AND ENZYMES

Dr. H.B. DUMFORD Dept. of Chemistry, Univ. of Edmonton, Alberta, Canada T6G 2G2
23rd August-5th September, 1981 : Banff, Alberta

OPERATION OF COMPLEX WATER RESOURCES SYSTEMS

Prof. E. GUGGINO School Water Resources Management, Ettore Majorana Centre Scienc. Culture, 91016 Erice, Italy
18-29 May, 1981 : Erice, Italy

NEW ADVANCES IN DISTRIBUTED COMPUTER SYSTEMS

Dr. K.G. BEAUCHAMP Computer Services Dept., Univ. of Lancaster, Bailings, Lancaster LA1 4YW, UK
15-26 June, 1981 : Bonas, France

SEDIMENT DIAGENESIS

Dr. A. PARKER Sedimentology Research Lab., Dept. of Geology, University, Whiteknights, Reading, UK
12-25 July, 1981 : Reading, UK

AUTOMATIC PROGRAM CONSTRUCTION

Prof. G. GUIHD Lab. Recherche Informatique, Univ. Paris Sud, Bât. 490, Centre d'Orsay, 91405 Orsay Cedex, France
28 September-10 October, 1981 : Bonas, France

CHEMISTRY OF THE UNPOLLUTED AND POLLUTED TROPOSPHERE

Prof. Dr. H.W. GEORGI Univ., Dept. Meteorology and Geophysics, Fellingberg Strasse 47, 8000 Frankfurt, Germany
28 September-10 October, 1981 : Corfu, Greece

THEORIE DES FONCTIONS CONSTRUCTIVE ET GEOMETRIQUE

Dr. G. SABIDUSSI Dept. mathém. et Statistique, Univ., C.P. 6128, Succ. A, Montréal, Qué. H3C 3J7, Canada
3-21 August, 1981 : Montréal, Canada

THE USE OF IONIZING RADIATION FOR STUDY OF FAST PROCESSES AND LABILE SPECIES IN CHEMISTRY AND BIOLOGY
Prof. F. BUSI Istituto F.R.A.E./CNR, Via Castagnoli 1, 40126 Bologna, Italy
7-17 September, 1981 : Capri, Italy

SOLAR SYSTEM - STUDY OF ELEMENTS AND MOLECULES NECESSARY FOR LIFE IN THE EARLY SOLAR SYSTEM
Prof. C. PONNAMPERUMA Lab. Chemical Evolution, Univ. of Michigan, College Park, Md., 20742, USA

AIR-SEA-ICE INTERACTION
Dr. N. UNTERSTEINER Office of Ocean Programs, MDAA, 6010 Executive Blvd., Rockville, Md. 20852, USA
21-31 March, 1981 : Banania, Germany

AUTOMATIC SPEECH ANALYSIS AND RECOGNITION
Prof. J.P. HATON Centre de Recherche en Informatique, Université de Nancy I, C.O. 140, 54037 Nancy, France
29 June-11 July, 1981 : Bonas, France

IV ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

DYNAMICS OF SOCIAL CONSTRAINT ON LONG-TERM RESOURCE AVAILABILITY
Prof. D.L. MEADOWS Resource Policy Cent., Dartmouth College, Hanover, NH 03755, USA
Spring 1981 : Copenhagen, Denmark

CATALYST DEACTIVATION
Prof. Dr. J.L.C.C. FIGUEROA Chemical Engin. Depart., Fac. of Engin., Univ., 4089 Porto COEIX, Portugal
18-29 May, 1981 : Algarve, Portugal

LAMINAR FORCED CONVECTION IN CHANNELS AND BUNDLES APPLIED TO HEAT EXCHANGERS
Prof. Dr. S. KAKAC Dept. Mech. Engin., Univ. Miami, Coral Gables 33124 USA
13-24 July, 1981 : Ankara, Turkey

THEORETICAL FOUNDATIONS OF PROGRAMMING METHODOLOGY
Prof. Dr. E.L. BAUER Inst. für Informatik, Tech. Univ., Postfach 202425, 8000 München 2, Germany
28 July-9 August, 1981 : Marktobendorf (near Munich)

NITROGEN CERAMICS
Dr. F.L. RILEY Department of Ceramics, Univ. of Leeds, Leeds LS2 9JT, UK
27 July-7 August, 1981 : Univ. of Sussex, UK

SURFACE MOBILITIES ON SOLID MATERIALS
Dr. YU THIEH BINH Univ. Cl. Bernard Lyon I, Phys. Matériaux, L.A. 172, CNRS, 69622 Villeurbanne Cedex, France
7-19 September, 1981 : Les Arcs, France

NUMERICAL METHODS IN GEOMECHANICS
Prof. J.B. MARTINS Univers. do Minho, Engenharia, Pavilhões de Rodovia, 4700 Braga, Portugal
24 August-4 September, 1981 : Vimeiro, Portugal

DATA BASE MANAGEMENT : THEORY AND APPLICATION
Prof. A.B. WHINSTON Purdue Univ., Kignmet Building, West Lafayette, IN 47907, USA
1-14 June, 1981 : Estoril, Portugal

ELECTRICAL BREAKDOWN AND DISCHARGES IN GASES
Dr. L.H. LUESSEN Naval Surface Weapons Center, Code F12, Dahlgren, Va. 22448, USA
14-28 June, 1981 : LaS Arcs, France

TECHNOLOGICAL RISK ASSESSMENT
P. RICCI Electric Power Research Inst., 3412 Hillview Ave., Palo Alto, Ca. 94303, USA
May 1981 : Erice, Italy

TRIBOLOGICAL TECHNOLOGY
Mr. Peter B. SCHWOLZI Mechanical Technology Inc., 1656 Homewood Landing Rd., Annapolis, Md. 21401, USA
13-26 September, 1981 : Maratea, Italy

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT
Prof. B.D. CLARK Depart. Geography, Univ. of Aberdeen, High Street, Old Aberdeen, Aberdeen AB9 2UF, Scotland UK
30 August-12 September, 1981 : Bonas, France

DETERMINISTIC AND STOCHASTIC SCHEDULING
Dr. J.K. LENSTRA Mathematisch Centrum, Tweede Boerhaavestraat 49, 1091 AL Amsterdam, Netherlands
6-17 July, 1981 : Durham, UK

MATHEMATICAL MODELS AND DESIGN METHODS IN SOLID LIQUID SEPARATION
Dr. A. RUSHTON Department of Chemical Engineering, UMIST, Manchester, Lancs., UK
8-17 July, 1981 : Algarve, Portugal

ENERGY PRODUCTION AND CONSERVATION FROM WASTES
Dr. K. CURI Bogazici University, School of Engineering, P.K. 2 - Bebek, Istanbul, Turkey
6-18 July, 1981 : Istanbul, Turkey

LARGE SCALE INTEGRATED CIRCUITS
Prof. L. ESAKI IBM Watson Research Center, P.O. Box 218, Yorktown Heights, N.Y. 10596, USA
14-28 July, 1981 : Erice, Italy

ELECTRON CORRELATIONS IN METALS
Prof. Dr. J.T. DEVERESE Dept. Natuurkunde, Univ. Antwerpen, Universiteitsplein 1, B-2610 Wilrijk, Belgium
20-31 July, 1981 : Antwerpen, Belgium

MASS TRANSFERS IN SOLIDS
Dr. C.R.A. CATLOW Dept. of Chemistry, Univ. College London, 20 Gordon Street, London WC1H 0JH, UK
28 June-11 July, 1981 : Lannion, France

CLASSICAL AND QUANTUM METROLOGY AND FUNDAMENTAL PHYSICAL CONSTANTS
Prof. P.H. CUTLER Depart. Physics, 10A Davy Lab., Pennsylvania State Univ., Univ. Park, Pennsylvania 16802, USA
16-28 November, 1981 : Erice, Italy

THE DRIFIN AND EVOLUTION OF GALAXIES
Dr. B.J.T. JONES Inst. of Astronomy, Madingley Road, Cambridge CB3 0HA, UK
11-23 May, 1981 : Erice, Italy

PHYSICS OF ION-ION AND ELECTRON-ION COLLISIONS
Prof. F. BROUILLARD Inst. de Physique, Sciences-I, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium
31 September-12 October, 1981 : Baddeck, Canada

NONLINEAR PHENOMENA AT PHASE TRANSITIONS AND INSTABILITIES
Dr. E. ANDERSON Inst. for Energy Technology, P.O. Box 40, N-2007 Kjeller, Norway
29 March-9 April, 1981 : Gato, Norway

RELATIVISTIC EFFECTS IN ATOMS, MOLECULES AND SOLIDS
Prof. G.L. MALU Dept. of Chemistry and Theoretical Sciences, Simon Fraser Univ., Burnaby, B.C. V5A 1S6, Canada
10-21 August, 1981 : Vancouver, Canada

STRUCTURAL ELEMENTS IN PARTICLE PHYSICS & STATISTICAL MECHANICS
Prof. J. HONERKAMP Fakultät für Physik d. Univ. Freiburg, Hermann-Herder-Str. 3, 7800 Freiburg, Germany
31 August-11 September, 1981 : Freiburg i.Br., Germany

SUPERNOVAE
Prof. M.J. REES Institute of Astronomy, Madingley Road, Cambridge, CB3 0HA, England
29 June-10 July, 1981 : Cambridge, UK

COMPARATIVE STUDY OF THE PLANETS
Prof. M. FULCHIGNONI Lab. di Astronomia Spaziale, C.N.R., viale dell'Università 11, 00186 Rome, Italy
14-25 September, 1981 : Vulsano, Italy

NEW DIRECTIONS IN GUIDED WAVE OPTICS
Dr. D.B. OSTROWSKY Lab. Electronique, Univ. de Nice, Parc Valrose, 06034 Nice, France
29 June-10 July, 1981 : Cargèse, Corsica, France

III CHEMISTRY, EARTH SC., MATHEMATICS

EARLY EVOLUTION OF THE PLANETS AND THEIR ATMOSPHERE
SK RUNDGREN Physics Dept. University, Newcastle-upon-Tyne NE1 7RU, UK
23 March-3 April, 1981 : Newcastle, UK

MASS TRANSFER WITH CHEMICAL REACTION TO MULTIPHASE SYSTEMS
Dr. E. ALPER Ankara Univ., Fen Fakültesi, Sıral Kimya Kuruluşu, Beytepe, Ankara, Turkey
10-21 August, 1981 : Izmir, Turkey

STATIC AND DYNAMIC STUDIES OF THE POLYMERIC SOLID STATE
Dr. R.A. PETHRICK Pure & Applied Chemistry Dept., Univ. Strathclyde, Cathedral St., Glasgow, G1 1XL, Scotland
6-18 September, 1981 : Glasgow, UK

APPLICATION OF MODERN DYNAMICS TO CELESTIAL MECHANICS AND ASTRODYNAMICS
Prof. V. SZEBERELY Depart. of Aerospace Engineering, Univ. of Texas at Austin, Austin, Texas 78712, USA
2-18 August, 1981 : Corina d'Ampezzo, Italy (?)

INTERFACIAL ASPECTS OF PHASE TRANSFORMATIONS
Dr. R. KERN Micromechanics de la Coissance Cristalline, C. de Luminy, C.P. 913, 13288 Marseille Cedex 2, France
29 August-9 September, 1981 : Erice, Italy

ORDERED SETS
Dr. I. RIVAL Depart. of Math. & Statistics, Univ., Calgary, Alberta T2N 1N4, Canada
28 August-12 September, 1981 : Banff, Canada

CONTROL AND PROCESSING IN THE BIOSYNTHESIS OF MACROMOLECULES
Prof. Brian F.C. CLARK Depart. of Chemistry, Aarhus Univ., Langelandsgade 140, 8000 Aarhus C, Denmark
30 August-12 September, 1981 : Spetsai, Greece

TARGETING OF DRUGS
Dr. G. BREGORJADIS Clin. Research Centre, Watford Road, Harrow, Middx HA1 3JU, UK
24 June-5 July, 1981 : Sounion, Greece

POST HARVEST PHYSIOLOGY AND CROP PRESERVATION
Dr. W. LIEBERMAN Lab. Chem. Postharvest Physiology Lab., U.S. Dept. of Agriculture, Beltsville, Md. 20705, USA
28 April-8 May, 1981 : Sounion, Greece

CANCER OF KIDNEY AND PROSTATE: BASIC RESEARCH AND THERAPY
Prof. P.H. SMITH St. James's University Hospital, Beckett Street, Leeds LS9 7TP, UK
2-12 July, 1981 : Erice, Italy

CURRENT METHODS IN STRUCTURAL MOLECULAR BIOLOGY
Dr. D.B. DAVIES Department of Chemistry, Birkbeck College, Malet Street, London WC1E 7HX, UK
3-16 May, 1981 : Maratea, Italy

BIOMASS UTILIZATION
Dr. H. SOBEL c/o News Inc., P.O. Box 1979, Santa Monica, California 90406, USA
1-12 March, 1981 : Blacksburg, Virginia, USA

ADVANCES IN VERTEBRATE NEUROETHOLOGY
Prof. Dr. J.P. EWERT Depart. of Neuroethology, Univ. Heinrich Heintz Str. 40, 3500 Kassel-Oberzwehren, Germany
13-24 August, 1981 : Schlosschen Schönburg, Germany

ARTERIAL POLLUTION
Dr. H. PEETERS Inst. Medical Biology, Aalsembergsteeweg 196, 1180 Brussels, Belgium
30 August-12 September, 1981 : Maratea, Italy

EXPERIMENTAL SOCIAL PSYCHOLOGY
Dr. C. FLAMENT Depart. of Psychology, Univ. of Provence, 29 av. R. Schuman, Aix-en-Provence, France
12-31 July, 1981 : Aix-en-Provence, France

CHEMICAL CARCINOGENESIS
Dr. C. NICOLINI c/o Inst. Pharmacology, CNR, Viale Benedetto XV, 2, 16132 Genova Italy
18-31 October, 1981 : Erice, Italy

DIAGNOSTIC IMAGING IN MEDICINE
Dr. H.F. DAVIDSON (DAMA-AR), Depart. of the Army, Washington DC 20310, USA
September 1981 : Italy

SOMATIC CELL GENETICS
Dr. C.T. CASKEY Room 54AE Baylor College of Medicine, Houston, Texas 77030, USA
31 May-12 June, 1981 : Algarve, Portugal

THE USE OF HUMAN CELLS FOR RISK ASSESSMENT BY PHYSICAL AND CHEMICAL AGENTS
Prof. A. CASTELLANI CHEN-CSN Casaccia, P.O. Box 2400, AD. ROME, Italy
26-30 August, 1981 : Castelgandolfo, Italy

BIOCHEMICAL AND BIOLOGICAL MARKERS OF NEOPLASTIC TRANSFORMATION
Prof. P. CHANDRA Molecular Biol. Dept., Univ. Medical School, Theodor Stern Ka 7, D-6000 Frankfurt 70, Germany
1-10 September, 1981 : Creta, Greece

DURABLE RESISTANCE IN CROPS
Prof. F. LAMBERTI Istituto di Patologia Vegetale, Univ. degli Studi di Bari, Via G. Amendola, 165/A, 70126 Bari, Italy
4-18 October, 1981 : Bari, Italy

PHOTORECEPTOR CELLS - MECHANISMS OF PHOTOTRANSDUCTION AND PHOTO RECEPTION
Dr. A. BORSELLINO Istituto di Colemetica e Biologia del C.N.R., Corso Mazzini 20, 16132 Camogli, Italy
1-10 July, 1981 : Erice, Italy

AGGRESSION IN CHILDREN AND YOUTH
Dr. R.M. KAPLAN Psychology Clinic, San Diego State Univ., San Diego, California 92182, USA
17-28 June, 1981 : Maratea, Italy

LEUKOTRIENES AND PROSTAGLYCIN
Prof. F. BERTI Dept. of Pharmacology and Pharmacognosy, Univ. of Milan, Via Vanvitelli 32, 20129 Milan, Italy
10-21 September, 1981 : Erice, Italy

II PHYSICS

COLLECTIVE EXCITATIONS IN SOLIDS
Prof. B. DI BARTOLO Depart. of Physics, Boston College, Chestnut Hill, Mass. 02167, USA
15-30 June, 1981 : Erice, Italy

L'OTAN encourage le développement de la coopération scientifique internationale en apportant son aide à des projets de recherche menés en coopération, à des rencontres scientifiques et à des visites d'étude. à l'étranger. Les scientifiques intéressés par ces programmes ou qui souhaiteraient organiser des cours d'été peuvent s'adresser à la Division des Affaires Scientifiques, OTAN, B 1110 Bruxelles, Belgique.

COLLOQUES SCIENTIFIQUES des Programmes spéciaux de l'OTAN

En 1981 plusieurs conférences (Conf), symposia (Symp), ateliers (Wks) et séminaires de recherche (ARI) seront organisés dans le cadre des programmes spéciaux du Comité scientifique. La participation à ces rencontres est largement ouverte aux spécialistes après accord du directeur du colloque; toutefois les rencontres précédées d'un astérisque sont des réunions d'experts où la participation se fait sur invitation seulement. Pour tout renseignement sur ces colloques s'adresser directement aux organisateurs.

INTERACTION AIR-MER

LARGE-SCALE TRANSPORT OF HEAT AND MATTER BY THE OCEAN (ARI)
Prof. E.B. KRAUS, C.I.M.A.S., 4600 Rickenbacker Causeway, Miami, Fla. 33149, USA
End September, 1981 : Château de Bonas, France

* **HUMIDITY FLUX EXPERIMENT OVER THE OCEAN** (Wks)
Dr. S.D. SMITH, Bedford Inst. of Oceanography, PDB 1006, Dartmouth, N.S. Canada B2Y 4A2
28 April - 1 May, 1981 : Dartmouth, Canada

SCIENCES MARINES

ACCURATE MEASUREMENT OF TRACE METALS IN SEA WATER (Symp)
Dr. C.S. WONG, Ocean Chem. Div. & Marine Carbon Ctr., Inst. of Ocean Sc., PDB 6008, Sidney, BC, Canada V8L 4B2
30 March - 3 April, 1981 : Erice, Italy

STRUCTURE AND DEVELOPMENT OF THE GREENLAND-SCOTLAND RIDGE (ARI)
Prof. M.H.P. BOTT, Univ. of Durham, Depart. Geol. Sc., Sc. Lab., South Road, Durham DH1 3LE, England
10 - 16 May, 1981 : Bressanone, Italy

ECOLOGY OF MARINE PLANKTONIC PROTOZOA (Wks)
Prof. P. BOUGIS, Univ. P. et M. Curie, Station Zool., B.P. 28, F-06230 Villefranche-sur-Mer, France
May 1981 : Villefranche-sur-Mer, France

MICROBIAL METABOLISM AND THE CYCLING OF ORGANIC MATTER IN THE SEA (ARI)
Dr. J.E. HODDIE, Marine Biological Lab., Woods Hole, Ma. 02543, USA
25 - 30 October, 1981 : Cascais, Portugal

COASTAL UPWELLING AND ITS SEDIMENT RECORD (ARI)
Prof. Dr. J. THIEDE, Dep. of Geology, Univ. of Oslo, P.O. Box 1047, Blindern, Oslo 3, Norway
30 March - 3 April, 1981 : Portugal

SCIENCES ECOLOGIQUES

INFLUENCING URBAN PLANNING AND DESIGN (Wks)
Dr. P. LACONTE, Urban Envir. Res., University, Louvain-la-Neuve, B 1348
1st Workshop : New Town, 30 March - 10 April, 1981 : M.I.T. Cambridge, USA
2nd Workshop : Role of Urban Ecology, End August, 1981 : Univ. Bari, Italy
3rd Workshop : Public-Private Interaction, September, 1981 : Louvain la Neuve
4th Workshop : Concentration-Deconcentration, End September, 1981 : Univ. Washington, USA

SCIENCES DES MATERIAUX

ATOMISTICS OF FRACTURE (ARI)
Dr. R.M. LATANISION, Dept. Materials Sc. & Eng., Massachusetts Inst. of Technology, Cambridge, MA 02139, USA
22 - 31 May, 1981 : Corsica

SURFACE MODIFICATION BY DIRECTED ENERGY PROCESSING (ARI)
Dr. J.M. POATE, Bell Labs, Murray Hill, N.J., USA
September, 1981 : Italy

FACTEURS HUMAINS/SCIENCES DES SYSTEMES

UNDERSTANDING AND AIDING HUMAN DECISION MAKING (ARI)
Prof. J. MCKENNEY, Harvard Univ., Grad. Sch. Business Adm., Soldiers Field, Boston, MA 02163, USA
Prof. C. STABELL, Norwegian Sch. Economics & Business Adm., Helleveien 30, N-5000 Bergen, Norway
date and place to be announced

FACTEURS HUMAINS

BEHAVIOURAL MEDICINE: BEHAVIOURAL TREATMENT OF DISEASE (Symp)
Prof. R.S. SURWITT, Duke Univ. Medical Center, Dept. Psychiatry, Durham, NC 27710, USA
30 June - 3 July, 1981 : Porto Carras, Halkidiki, Greece

HUMAN ASSESSMENT AND CULTURAL FACTORS (Conf)
Dr. J. IRVINE, Plymouth Polytech., Drake Circus, Plymouth, Devon PL4 8AA, UK
Dr. J. BERRY, Dept. Psychology, Queens Univ., Kingston, Ontario, Canada
Dr. H. ARICI, Dept. of Psychology, Hacettepe Univ., Ankara, Turkey
24 - 28 August, 1981 : Kingston, Ontario, Canada

ARTIFICIAL AND HUMAN INTELLIGENCE (Symp)
Dr. A. ELITHORN, Royal Free Hospital, Dept. of Psychological Medicine, Pond Str., London NW3 2DG, UK
August - September, 1981 : France

* **ADAPTIVE CONTROL FOR ILL-DEFINED SYSTEMS** (ARI)
Prof. A. SELFRIDGE, Bolt, Beranek and Newman, 50 Moulton Str., Cambridge, MA 02138, USA
date and place to be announced

SCIENCES DES SYSTEMES

WORK ORGANIZATION AND TECHNOLOGICAL CHANGE (Conf)
Dr. J. NIEHAUS, Dept. Navy, Off. Assist. Sec., Research & Modeling Odas (EO), Washington, DC 20350, USA
Dr. G. MENSCH, International Inst. Management, O-1000 Berlin, Germany
14 - 19 June, 1981 : Garmisch Partenkirchen, Germany

* **NONLINEAR OPTIMIZATION** (ARI)
Prof. M.J.D. POWELL, Univ. of Cambridge, Silver Str., Cambridge CB3 9EW, UK
Prof. Dr. F.A. LOOTSMA, Techn. Hogesch., Onderafdeling der Wiskunde, Julianalaan 132, NL-2628 BL Delft, Neth.
13 - 24 July, 1981 : Cambridge, England

* **HOMOTOPY METHODS AND GLOBAL CONVERGENCE** (ARI)
Prof. F. GOULD, Grad. Sch. Business, Univ. Chicago, 5836 Greenwood Ave., Chicago, IL 60637, USA
3 - 6 June, 1981 : Porto Cervo, Sardinia

PHYSIQUE

ARTIFICIAL PARTICLE BEAMS USED IN SPACE PLASMA STUDIES (ARI)
Dr. B.N. MAELHUM, Norwegian Defence Research Est., Box 25, Kjeller, Norway
21 - 26 April, 1981 : Geilo, Norway



BOURSES D'ETUDES

Le programme de bourses d'études de l'OTAN est administré dans chaque pays membre par une institution nationale qui sélectionne les candidatures, fixe le montant des bourses et des frais de voyage et assure la liaison avec l'université du pays hôte. La sélection est faite uniquement sur dossier et sur le mérite scientifique des demandes, mais les critères peuvent varier d'un pays à l'autre; certains réservent les bourses pour la recherche de troisième cycle, d'autres mettent l'accent sur la formation à la recherche en vue de l'obtention d'un diplôme. Les demandes d'information et les dossiers de candidature doivent être adressés à l'Administrateur du pays dont le candidat est ressortissant, à l'adresse mentionnée ci-dessous.

BELGIQUE	Min. Aff. Etrangères	GRECE	Min. Coord.	NORVEGE	NTNF
CANADA	Conseil Recherche	ISLANDE	Min. Educ.	PORTUGAL	JNIC
DANEMARK	Min. Educ.	ITALIE	CNR	TURQUIE	TUBITAK
FRANCE	Cons. Arts et Métiers	LUXEMBOURG	Min. Aff. Etrangères	ROYAUME-UNI	SRC
ALLEMAGNE	DAD	PAYS-BAS	ZNO	ETATS-UNIS	NSF



SAINT-GOBAIN- mise sur la Recherche

- Nos activités concernent le vitrage, l'isolation, les fibres de renforcement, le conditionnement, les fibres-ciment, les canalisations, la mécanique, les réfractaires, le papier, le bois, les entreprises. Nous avons entrepris une diversification dans l'électronique et l'informatique.
 - Notre chiffre d'affaire 1980 est de 40 milliards (hors informatique).
 - Nous sommes implantés dans le monde entier.
 - 145 000 personnes travaillent dans notre Groupe dont 62 000 en France.
-
- Nous disposons de 11 centres de Recherche et Développement et d'une trentaine d'unités de Développement dans 3 pays.
 - Notre budget Recherche et Développement est de plus de 600 MF pour un effectif de 2 700 personnes dont 650 cadres.
-

JEUNES X !

Nous avons décidé d'accroître nos
moyens. Nous offrons des postes d'avenir
en
Recherche et Développement
Industriels

avec des possibilités d'évolution de carrière dans
d'autres secteurs.

•

Nous sommes à votre disposition pour vous informer
sur les recrutements, stages, bourses de recherches, etc.

Adressez-vous à :

SAINT-GOBAIN Direction de la Recherche
62 bd Victor-Hugo - B.P.-421 - 92209 NEUILLY-SUR-SEINE CEDEX

métiers et avenir... en France et dans le monde... chez **TOTAL**



La Compagnie Française des Pétroles, chef de file du groupe TOTAL, anime et coordonne dans le monde l'activité de quelque 300 sociétés, et propose son expérience aux jeunes nations industrielles.

Sa vocation traditionnelle de groupe pétrolier et pétrochimique s'étend aujourd'hui à toutes les énergies.

Le groupe TOTAL consacre de très importants investissements en moyens financiers et humains à ce rôle de pourvoyeur d'énergie.

le groupe **TOTAL** recrute

des ingénieurs, des cadres, des agents de maîtrise et des techniciens dans les métiers suivants : exploration, forage, production, construction, services généraux, administration, finances, commercialisation.

Vous travaillez volontiers dans une langue étrangère, en particulier l'anglais !

TOTAL vous offre d'élargir l'horizon de votre avenir professionnel au monde entier.

Vous rejoindrez ses jeunes équipes à pied d'œuvre dans une soixantaine de pays.

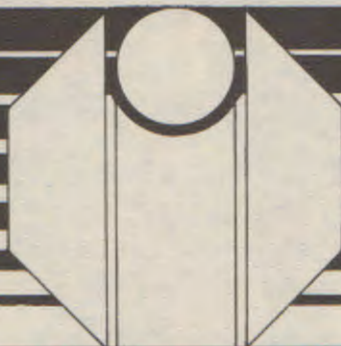
le groupe **TOTAL** accueille des stagiaires.

Étudiants de niveaux de formation variés, pour profiter pleinement des stages organisés par TOTAL, adressez vos demandes au début de l'année universitaire en liaison avec les services de vos Écoles ou de vos Universités.

S'adresser aux Services Recrutement
de la COMPAGNIE FRANÇAISE DES PÉTROLES

● soit au Siège Social,
5, rue Michel-Ange, 75781 Paris Cedex 16

● soit, pour l'Exploration-Production,
39/43, quai André-Citroën, 75739 Paris Cedex 15



IMETAL

Holding industriel français - anime et contrôle un ensemble international.

Le Groupe IMETAL représente un effectif supérieur à 22.000 personnes et réalise un chiffre d'affaires consolidé de l'ordre de 10 milliards de francs.

- PENARROYA
- LE NICKEL-SLN
- COMPAGNIE FRANÇAISE DE MOKTA
- COPPERWELD CORPORATION (USA)
- MINEMET
- MINEMET RECHERCHE
- TECMINEMET
- CARRIER-KHEOPS et COMETA

IMETAL est également le principal actionnaire (25%) de LEAD INDUSTRIES GROUP (U.K.)



Tour Maine-Montparnasse - 33, avenue du Maine - 75755 PARIS CEDEX 15 - Tél. 538.48.48 - Télex 260 918



DIAT

Plaque de réacteur à neutrons rapides, réalisés par l'A.T.S.

La Direction Technique des Armements Terrestres

responsable de l'équipement des forces terrestres françaises en matériels de combat et de défense les fait réaliser dans l'industrie privée ou au sein du

GROUPEMENT INDUSTRIEL DES ARMEMENTS TERRESTRES

qui regroupe son propre potentiel industriel.



LES X DANS LA RECHERCHE

Revue mensuelle de la Société amicale
des anciens élèves de l'École Polytechnique

SOMMAIRE

- 12 **PRÉSENTATION : LES X DANS LA RECHERCHE**
Louis Leprince Ringuet (20N)
Membre de l'Académie Française et de l'Académie des Sciences
- 14 **INTRODUCTION : LA RECHERCHE EN FRANCE**
Claude Fréjacques (43),
Délégué général à la Recherche Scientifique et Technique, Membre de l'Académie des Sciences
- 17 **LE DÉVELOPPEMENT ACTUEL DES MATHÉMATIQUES**
Jean Bass (32),
Professeur à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris VI)
- 25 **LA RECHERCHE EN SCIENCES MÉCANIQUES**
Jacques Bouttes (52),
*Directeur pour les Applications Aéronautiques et Spatiales à l'ONERA,
Professeur à l'École Polytechnique.*
- 32 **LA PHYSIQUE NUCLÉAIRE ET LA PHYSIQUE DES PARTICULES**
Louis Michel (43),
Physicien, Professeur à l'Institut des Hautes Études scientifiques, Membre de l'Académie des Sciences
- 36 **LES X ET LA PHYSIQUE DES SOLIDES**
Jacques Friedel (42),
Membre de l'Académie des Sciences, Professeur à l'Université de Paris-Sud
- 40 **LES X ET LA RECHERCHE EN GÉOLOGIE**
Jean Goguel (26),
Ingénieur général des Mines, Conseiller scientifique du B.R.G.M.
- 43 **LES POLYTECHNICIENS ET LA RECHERCHE EN BIOLOGIE**
Alain Valleron (63),
Maître de recherche à l'INSERM, Professeur à l'Université de Paris VII
- 49 **BIOLOGIE ET GÉNÉTIQUE MOLÉCULAIRES**
Philippe Kourilsky (62),
Maître de recherche au C.N.R.S.
- 53 **LES X DANS LA RECHERCHE AGRONOMIQUE**
Richard Tomassone (57),
*Professeur de mathématique et d'informatique à l'Institut National Agronomique de Paris-Grignon.
Chef du département de Biométrie de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)*
- 56 **LA RECHERCHE EN SCIENCE ÉCONOMIQUE**
Edmond Malinvaud (42),
Directeur général de l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques (INSEE)
- 60 **LA RECHERCHE A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE**
Pierre Vasseur,
Directeur des Laboratoires de l'École Polytechnique
- 71 **LA VIE DE L'ASSOCIATION**
-

AVERTISSEMENT DE LA RÉDACTION

Nous avons décidé la publication de ce numéro de la Jaune et la Rouge pour deux raisons : la première est que l'on connaît mal le rôle actuel joué par les polytechniciens dans le domaine de la Recherche de base, rôle souvent important et quelquefois essentiel ; la seconde est que nous avons voulu prendre un contact direct avec des camarades qui sont parfois séparés, professionnellement, du milieu polytechnicien, mais qui n'en demeurent pas moins attachés à notre communauté et à ses valeurs – comme le montre la façon très amicale dont ils ont répondu à notre appel.

Ce numéro est consacré à la Recherche de base. L'imprécision des critères qui séparent Recherche de base et Recherche appliquée ne nous a pas échappé. Mais il nous a bien fallu, dans le cadre étroit de cette revue, limiter le sujet, même au prix de distinctions artificielles. Nous consacrerons, dans les numéros qui suivront, une série d'articles à la Recherche appliquée.

Enfin, de nombreux lecteurs s'étonneront que des domaines de recherche aussi vastes et importants que la chimie ou l'astronomie n'aient pas été abordés.

Cette lacune provient de circonstances qui ont pesé sur l'emploi du temps des auteurs devant traiter ces sujets et ne leur a pas permis de nous donner leurs articles dans les délais imposés par la fabrication ; mais nos lecteurs n'en seront pas privés ; ces articles paraîtront dans un prochain numéro.

Des noms de polytechniciens chercheurs ont été cités dans ce dossier, en petit nombre. Cela ne veut pas dire, naturellement, que les non-cités soient de moindre mérite. Simplement, chaque auteur a présenté un rapide survol du domaine qui est le sien et, à l'occasion des exemples choisis, a nommé quelques X concernés.

Ni les auteurs ni la rédaction n'ont formé, bien entendu, le projet absurde de dresser un tableau d'honneur des chercheurs polytechniciens.

PRÉSENTATION

LES X DANS LA RECHERCHE

PAR LOUIS LEPRINCE RINGUET (20N)
DE L'ACADÉMIE FRANÇAISE
ET DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

L'orsqu'en 1929 j'envisageai de travailler auprès de Maurice de Broglie pour participer aux recherches, alors débutantes, sur les transmutations artificielles des noyaux atomiques, j'étais ingénieur des PTT (les télécommunications n'étaient pas encore inventées) et j'avais passé quatre années au service des Câbles sous-marins, ce qui m'avait permis d'acquérir un peu d'expérience dans le domaine des courants faibles.

Mon corps n'accepta pas de soutenir ma nouvelle et prometteuse orientation scientifique. J'ai dû demander un détachement sans solde et, au début, me mettre au travail sans aucune rémunération, ce qui ne pouvait durer bien longtemps. Heureusement la Caisse des Sciences, organisme précurseur du CNRS, me gratifia peu après d'une fort modeste bourse. Il fallut toute la bienveillance et l'ouverture d'esprit de Monsieur Lange, directeur général des Téléphones, qui suivait mon travail et s'intéressait personnellement à la science, pour me dépanner ultérieurement en me réintégrant dans le service de la recherche. Sans cette intervention efficace, il ne m'aurait pas été possible de poursuivre l'aventure de la physique nucléaire. Lorsqu'en 1936 les Conseils de l'X me désignèrent comme professeur, les PTT me mirent en congé définitif. Je m'installai à l'X dans de très modestes locaux attenants aux collections de physique, avec un petit atelier au niveau de la cour.

Deux ans plus tard, le « Comité de réorganisation administrative », appelé « Comité de la Hache », me demanda de faire un rapport sur la recherche scientifique dans les grands corps de l'État. J'acceptai immédiatement et exposai mes propositions au Premier Ministre, Daladier, quelques semaines avant le début de la guerre de 1939. Je me souviens parfaitement de cette audience : personne ne lui avait signalé auparavant l'état de délabrement routinier des recherches dans certains grands corps techniques : aucun centre des Poudres n'était en mesure de fabriquer même de l'ypérite. Les choses ont bien changé par la suite. Il signa le décret correspondant à mes propositions, qui fut baptisé « décret Suquet » (je travaillais sous la direction administrative de l'Ingénieur Général des Ponts et Chaussées Suquet) et ne fut appliqué qu'après la guerre. Il prévoyait entre autres l'obligation pour les divers corps de l'État de détacher dans la recherche, avec traitement et avancement normal, des ingénieurs dont le nombre était défini pour chaque corps. Les décrets d'application sortirent après la Libération et s'appliquèrent surtout aux Mines et aux Ponts. Mon laboratoire de l'X, dont l'extension après la guerre fut très rapide grâce à la construction de nouveaux bâtiments et à l'appui du CNRS, profita largement de ce décret.

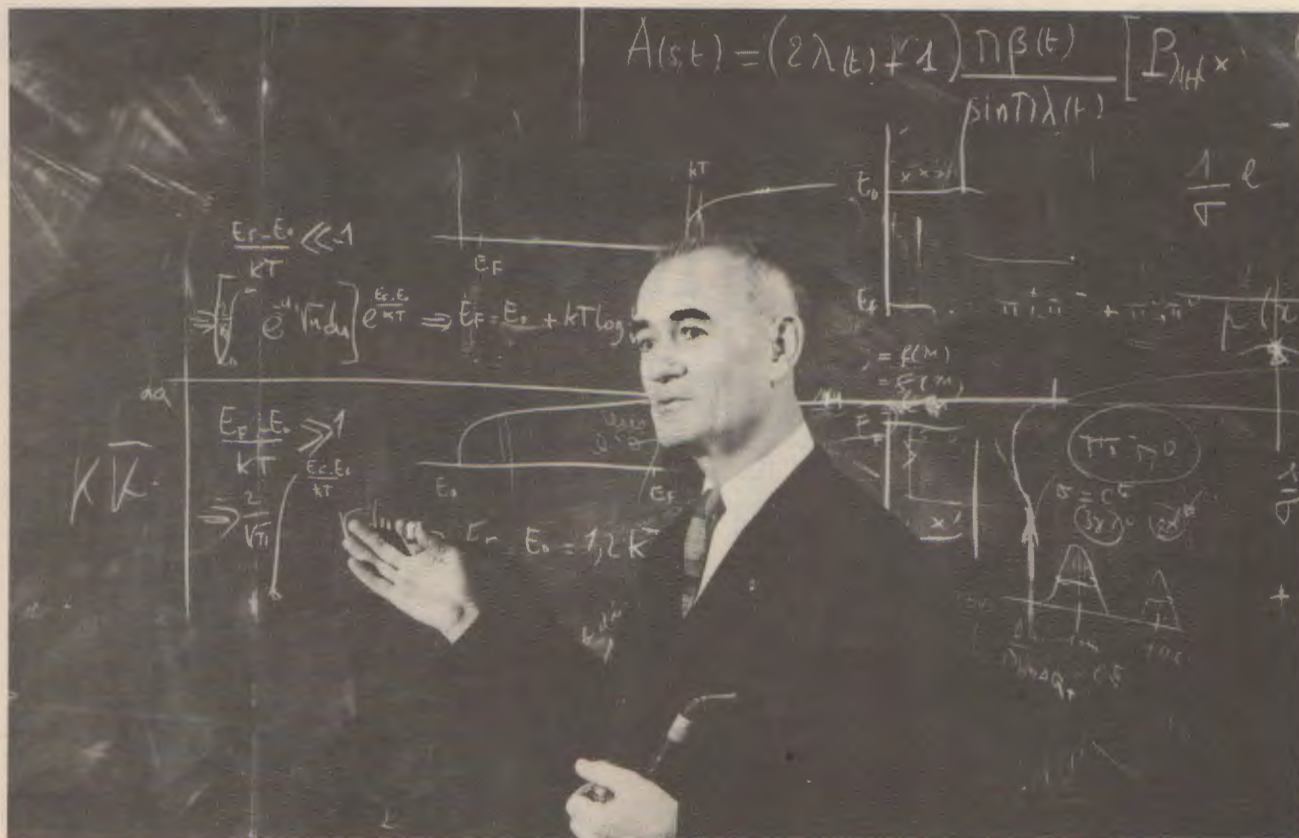
Parallèlement, des centres de recherche fondamentale ou semi-appli-

quée se développèrent un peu partout, au CEA, à l'ONERA, au CNET, dans les corps techniques, militaires,... Ce fut le début d'une période faste pour la recherche. Même à l'X les laboratoires se créèrent et s'animèrent dans un certain nombre de domaines.

Mais il y avait des difficultés. D'abord, pas de statut en général pour les laboratoires de l'X, pas d'existence légale. Ensuite, il faut bien voir que, si les Généraux successifs étaient favorables aux recherches (en particulier, ils aimaient construire), les directeurs des études se montraient souvent fort réticents. Car la présence des laboratoires n'est pas prévue dans les plans de travail des élèves (les carvas), elle gêne l'ordonnance très stricte des études, amphis manipulations, colles, avec des élèves fréquentant les laboratoires au lieu d'être à l'heure dans les salles d'études. Le professeur, l'examineur ne sont prévus que pour l'amphi, les examens, les colles : le chef d'orchestre, qui était le directeur des études, tenait avant tout à la rigueur de sa partition.

Enfin, les crédits ! L'X n'en donnait guère. Il fallait se débrouiller en sollicitant des aides extérieures. Il m'est arrivé, pour boucler mon budget, de mendier auprès de mon corps d'origine un contrat de cent mille francs avec le fallacieux argument que les rayons cosmiques traversaient la stratosphère, région intéressante les communications hertziennes !

Et puis, mon laboratoire était sur



un terrain militaire (l'X!), donc contrôle de l'identité des participants et aussi risque d'intervention des contrôleurs financiers militaires que j'ai réussi – c'est un titre de gloire – à écarter de mes comptes approximativement réguliers.

Mais la poussée de la recherche fut irrésistible grâce à la venue des élèves motivés et à l'engagement de certains d'entre eux d'une extraordinaire qualité : Charles Peyrou, Michel Lhéritier, Robert Richard-Foy, Bernard Grégory, André Lagarrigue, Jean Crussard, André Astier, Francis Muller, Bernard d'Espagnat, André Rousset, Patrick Fleury, Pierre Petitau, puis les plus jeunes : Michel Della Negra, Bernard Sadoulet, Denis Linglin, etc. et bien d'autres polytechniciens.

Toute une vie de recherche jaillissait, avec la participation de nombreux anciens élèves, mais aussi, en proportion considérable, de jeunes physiciens de toutes autres origines et de nombreux étrangers, Américains compris. Certaines années, la cadence des thèses de doctorat atteignait une par mois.

Si j'ai insisté complaisamment sur les difficiles démarrages de la recherche à l'X et autour de l'X, c'est pour montrer à quel point les structures de l'École étaient figées et routinières entre les deux guerres et encore après la Libération. Des trois termes de notre devise : pour la patrie, la science et la gloire, les deux derniers étaient devenus suspects :

pas de science, et quelle gloire ?

Aujourd'hui, tout a bien évolué. Fort heureusement, car notre avenir n'est pas dans la poursuite d'une activité, plus ou moins routinière, d'industries qui ont autrefois brillé mais ne sont plus compétitives. Il est dans la progression des idées nouvelles, l'élaboration de techniques avancées, l'imagination créatrice. Les X peuvent et doivent jouer un grand rôle dans cette évolution. Ils en ont compris la nécessité, et la position de certains d'entre eux à des postes-clefs de la recherche en est la confirmation.

Le contenu de ce cahier montre l'ampleur des recherches effectuées par des polytechniciens, ou avec leur participation, dans les domaines les plus variés : physique, astronomie, mathématiques, chimie, mécanique, voire biologie, cette branche de la science en plein épanouissement. Mais il serait fort utile, pour obtenir des résultats encore plus remarquables et intéresser davantage de polytechniciens, de réorienter la préparation aux Grandes Écoles et l'ensemble de la formation polytechnicienne en particulier. Car c'est la méthode rationnelle, indispensable d'ailleurs pour la poursuite de l'activité scientifique et technique, qui constitue la base de tout cet enseignement.

Il ne faut pas qu'elle en soit, comme ce fut le cas, la base exclusive. On doit l'équilibrer par un développement de la personnalité

créatrice, de l'imagination, de l'esprit d'invention et de remise en question. Il est de la plus grande importance d'éviter que trop d'anciens élèves soient uniquement de bons fonctionnaires, sérieux, travailleurs, à l'esprit trop logique et sans idées nouvelles. Mais c'est difficile et ambitieux. Certains polytechniciens ont assez de valeur personnelle, de génie propre, pour ne pas rester esclaves d'une formation trop uniquement rationnelle, mais beaucoup d'autres sont encore, tout au cours de leur existence, trop déformés par la haute dose de logique abstraite qu'ils ont absorbée : l'abstractocrate est une catastrophe pour notre pays.

Ce n'est pas en un an, ou par quelques modifications de programme, que l'on peut aboutir à l'équilibre fondamental que je viens d'évoquer. C'est tout un esprit, toute une mentalité qu'il faut modifier et élargir progressivement. L'enjeu vaut bien une réflexion et un effort constant et tenace : il s'agit de l'avenir de notre pays et, peut-être aussi, de celui de notre École.

Louis Lépineau R...

INTRODUCTION

LA RECHERCHE EN FRANCE

PAR C. FREJACQUES (43)

DIRECTEUR DE LA DÉLÉGATION GÉNÉRALE A LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE (D.G.R.S.T.)
MEMBRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

La Recherche a été mise dans le VIII^e Plan au premier plan des priorités nationales. Il était tentant de donner dans le cadre de la Jaune et la Rouge un aperçu des raisons, de l'ampleur des enjeux, des acteurs et d'illustrer par des articles différents secteurs de la Recherche de base, moins connue de nos camarades que les programmes appliqués des domaines industriels. Les anciens élèves de l'École se sont illustrés de tout temps par leurs découvertes scientifiques ; ils jouent actuellement un rôle majeur et insuffisamment connu dans le système de recherche français, et il est essentiel que la communauté polytechnicienne en ait conscience...

LA RECHERCHE - POURQUOI ?

Les raisons de la Recherche sont doubles : culturelles d'une part, économiques et sociales d'autre part. Le désir de comprendre le monde qui nous entoure et nous-mêmes est à la base même de l'esprit de la Recherche et une des composantes les plus importantes de la culture du XX^e siècle. Développer de nouvelles relations logiques entre les êtres ma-

thématiques, comprendre les mécanismes des forces qui lient les particules élémentaires, les unifier dans une théorie plus large, comprendre les régulations des réactions cellulaires dont dépend toute vie, comprendre demain les supports matériels des mécanismes de la pensée et de la mémoire, trouver des corrélations entre le patrimoine génétique et le caractère ou la susceptibilité aux maladies, comprendre les mécanismes complexes économiques et sociaux du monde qui nous entoure, que de questions devant nous, à portée de main un peu plus loin devant nous, qui transformeront nos conceptions et font partie de la grande quête de l'homme depuis l'utilisation de la première pierre comme outil.

Liées étroitement à cette quête de connaissances, car il y a une continuité entre Recherche fondamentale, Recherche exploratoire, Recherche appliquée et Développement industriel, les applications économiques et sociales ont leur méthodologie propre et une approche qui tient compte à la fois des besoins, des technologies accessibles, et des connaissances créées par la Recherche de base.

L'enjeu est à la fois mondial et national. Si la crise alimentaire dans

les pays en développement n'est pas plus grave, c'est à la révolution verte des nouvelles semences de céréales qu'on le doit et il y a devant nous la nécessité de doubler le rendement moyen par hectare dans les trente ans qui viennent pour nourrir la dizaine de milliards d'hommes du début du XXI^e siècle, et il n'y aura pas trop de toutes les nouvelles méthodes de culture, d'irrigation, d'engrais, de sélections génétiques pour y parvenir.

La politique de la santé pose des problèmes économiques graves dans les pays développés, et est une des priorités humaines des pays en développement. La recherche biomédicale doit à la fois résoudre les problèmes des maladies graves - cancers, parasitoses - qui restent à guérir et trouver des solutions aux techniques de prévention, seules susceptibles de changer l'évolution des coûts des soins médicaux.

L'Innovation industrielle est une des composantes majeures du développement économique des pays avancés, qui, de plus en plus, doivent tenir compte de la concurrence des pays à fortes ressources en matières premières ou à main-d'œuvre bon marché. Comme ce n'est pas le seul facteur de développement, les corrélations ne sont pas univoques

entre l'effort de recherche et le développement de telle ou telle entreprise, mais globalement cette relation existe et ce n'est pas seulement pour des raisons de concurrence des pays du tiers-monde que les branches traditionnelles, comme la sidérurgie ou le textile où l'effort de recherche et développement est inférieur à 1 %, ont des difficultés que nous connaissons. Au contraire, les branches comme l'électronique ou le médicament où l'effort de recherche dépasse 5 % s'adaptent et se développent.

Une enquête récente de la D.G.R.S.T. a montré que les entreprises qui déclarent faire de la Recherche exportent beaucoup plus que les autres, comme le montre le tableau I.

Presque toutes les grandes entreprises effectuant des recherches, les données sont surtout probantes pour les moyennes industries - inférieures à 2 000 personnes.

LA RECHERCHE - A QUEL NIVEAU ?

L'effort de recherche en France aura été en 1980 d'un peu plus de 50 milliards de francs, soit environ 1,8 % du P.I.B. Le tableau 2 donne la comparaison avec les principaux pays développés en 1978 :

Le VIII^e Plan en France propose de porter le rapport DIRB/PIB de 1,8 à 2,15 % en 1985. Ce même rapport est stationnaire ou légèrement décroissant en Allemagne et aux États-Unis, par contre le Japon prévoit de le porter à 3 % en 1990. Ce rapport est un bon indice de l'ambition et du dynamisme industriel des nations.

Si les chiffres du tableau précédent sont éloquentes par eux-mêmes, l'efficacité des sommes dépensées et les domaines dans lesquels elles sont affectées sont également importants pour les résultats. Les structures de ces dépenses donnent déjà une première réponse :

FINANCEMENT DE LA RECHERCHE EN FRANCE

Financement public civil	35 %
Financement militaire	22 %
Financement par les entreprises	43 %

Le Financement des recherches militaires est particulièrement important en URSS et aux États-Unis, moyen à faible en Allemagne et au Japon.

La Répartition entre Recherche fondamentale, Recherche appliquée et Développement, avec toutes les incertitudes relatives à la définition même de ces différents domaines, peut être estimée comme suit pour notre pays :

Recherche fondamentale	18 %
Recherche appliquée	30 %
Développement	52 %

La part du Développement est plus importante aux États-Unis en partie à cause de l'effort militaire et spatial de ce pays.

La proportion de Recherche fondamentale est sensiblement plus faible au Japon, mais va en augmentant rapidement, et son effort de recherche et de développement industriels est davantage concentré sur quelques grands domaines.

LA RECHERCHE - PAR QUI ?

Nous avons vu que les entreprises finançaient un peu plus de 40 % de l'effort total de Recherche, mais elles en exécutent environ 60 %, une partie importante des dépenses militaires et de télécommunication en particulier étant sous-traitée dans l'industrie.

Nous sommes avec la Grande-Bretagne et les États-Unis un des pays où le financement par les entreprises est le plus faible. (Tableau III)

La Répartition entre les différentes branches industrielles de l'effort de recherche et développement rapporté au chiffre d'affaires est très hétérogène et ceci dans presque tous les pays. Ceci n'est guère justifiable économiquement et est une des raisons des difficultés des in-

I RÉSULTATS A L'EXPORTATION DES ENTREPRISES EFFECTUANT OU NON DE LA R & D

TAILLE DES ENTREPRISES	ENTREPRISES FAISANT DE LA RECHERCHE		AUTRES ENTREPRISES	
	EXPORTATIONS EN MF	EXPORTATIONS VENTES H.T.	EXPORTATIONS EN MF	EXPORTATIONS VENTES H.T.
> 2 000 personnes	18 534	24,7 %	58 005	13 %
< 2 000 personnes	107 875	22,4 %	11 467	16,1 %

II

	DIRD MILLIARDS DE F	DIRD/PIB %	DIRD/ HABITANT EN FRANCS
FRANCE	38	1,8	704
ÉTATS-UNIS	223	2,4	1 020
JAPON	81	1,9	696
ALLEMAGNE	62	2,2	1 017
SUISSE	8	2,3	1 100

DIRD = Dépense Intérieure de Recherche et Développement

III FINANCEMENT ET EXECUTION DE LA R & D PAR LES ENTREPRISES

	FINANCEMENT	EXÉCUTION
FRANCE	43 %	61 %
ÉTATS-UNIS	44 %	67 %
ALLEMAGNE	53 %	65 %
JAPON	59 %	59 %
SUISSE	77 %	76 %

dustries traditionnelles ; l'Innovation est d'autant plus nécessaire pour elles.

En ce qui concerne les grands groupes industriels, leur effort de recherche rapporté au chiffre d'affaires est voisin de celui des compagnies étrangères de même nature, mais l'effort de taille joue et les chiffres globaux sont généralement plus faibles. Un effort particulier de sensibilisation est nécessaire en direction des industries petites et moyennes dont une faible fraction seulement déclare faire de la Recherche. Pour arriver à une taille et une spécialisation compétitive sur le plan international et répondre aux besoins des P.M.I., il est sans doute nécessaire de développer la recherche associative comme les relations Université-Industrie, trop faibles dans notre pays.

En ce qui concerne la Recherche de base et la Recherche orientée, elles sont effectuées essentiellement par les Universités, les Grandes

Écoles et les grands organismes public de Recherche :

- le C.N.R.S. d'abord, qui avec son budget de 4 milliards et ses 16 000 chercheurs, couvre tous les aspects de la recherche de base ;

- le C.E.A. pour les études dans le domaine du nucléaire, mais aussi pour les recherches de base physiques, chimiques et biologiques ;

- le B.R.G.M. pour les recherches géologiques et minières ;

- le C.N.E.T. dans le domaine des télécommunications ;

- L'I.N.S.E.R.M. pour les études biomédicales ;

- L'I.N.R.A. pour les recherches agricoles et agro-alimentaires ;

- L'O.R.S.T.O.M. et le G.E.R.D.A.T. pour les recherches intéressant les pays du tiers-monde ;

Enfin, le C.O.M.E.S. pour le solaire, le C.N.E.X.O. pour l'océan,

le C.N.E.S. pour le spatial font ou animent les recherches dans leurs secteurs respectifs.

Les Grandes Écoles – surtout une

quinzaine d'entre elles dont l'École Polytechnique – participent pour 4 % environ à l'effort public civil de recherche. Leur rôle pour sensibiliser les futurs cadres dirigeants de l'industrie est sans doute encore insuffisant.

EN CONCLUSION

Que nos jeunes camarades qui se sentent attirés et motivés par la Recherche n'hésitent pas à s'y lancer : c'est une vocation passionnante et riche intellectuellement. Et que nous tous ayons conscience de l'importance de l'enjeu que représente pour notre pays une Recherche fondamentale vivante et forte, un esprit d'innovation pénétrant tous les secteurs, une Recherche appliquée liée à la conquête des nouveaux espaces et à la solution des problèmes pressants du monde de demain.

Note de l'auteur : Cet article avait été rédigé avant les élections présidentielles. Le nouveau gouvernement a fait connaître sa volonté de porter l'effort français de recherche et de développement à 2,5 % du PIB en 1985.

LE DÉVELOPPEMENT ACTUEL DES MATHÉMATIQUES

PAR JEAN BASS (32)
PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ PIERRE ET MARIE CURIE (PARIS VI)

Il y eut un temps où, dans l'opinion publique, tout polytechnicien était un mathématicien. Il n'est pas inexact de dire que, pendant plus d'un siècle, l'École Polytechnique a donné à ses élèves une forte culture mathématique, qui éclipsait celle des universités, et même jusqu'à un certain point celle de l'École Normale. Cette formation de base a favorisé un nombre important de vocations. Une bonne partie des mathématiciens français de valeur qui ont fait progresser la science mathématique au 19^e siècle sont polytechniciens. Il suffit de citer Cauchy, Chasles, Liouville, Hermite, Jordan, Poincaré. Et cette liste est extrêmement incomplète. A cette époque, il était probablement plus facile qu'aujourd'hui, sinon d'avoir des idées et des aptitudes, du moins de dominer l'ensemble des mathématiques et la recherche était moins incompatible avec une occupation technique ou administrative. Il est curieux que cette lignée de mathématiciens polytechniciens se soit en quelque sorte éteinte au début du 20^e siècle. L'un de ses derniers représentants est Paul Lévy, de la promotion 1904, qui fut pendant longtemps professeur à l'école. Ensuite, jusqu'à la fin de la seconde guerre mondiale, on a une certaine impression de vide. On a l'impression que les polytechniciens qui s'intéressent encore aux mathé-

matiques sont plus des amateurs que des professionnels. Cette situation, qui devenait inquiétante, reçut des remèdes par le décret Suquet, qui rendait possible la Recherche pure dans le cadre des corps d'ingénieurs, puis par l'institution de la « botte recherche ». Les promotions 1942 à 1950 commencèrent à fournir quelques mathématiciens. Puis ce fut la période de 1950 à 1970, pendant laquelle de nombreux polytechniciens s'orientèrent vers le CNRS, l'Université et enfin les centres de recherche de l'École. Il semble que, depuis une dizaine d'années, cet engouement pour la recherche, spécialement en mathématiques, se soit ralenti. Cela peut tenir à des causes multiples, dont l'une est la difficulté de faire carrière dans l'enseignement et la recherche. Les postes permettant de préparer une thèse, puis d'en bénéficier, sont devenus rares, et cela décourage les éventuels candidats. Il est difficile de prévoir ce que sera l'avenir. Ce qui est sûr, c'est que, dans toutes les directions, on trouve aujourd'hui des polytechniciens qui contribuent brillamment au progrès des mathématiques. Je vais donc essayer de donner une idée de l'évolution actuelle des mathématiques dans leur ensemble. Je ne chercherai cependant pas à être complet. Ce serait tout à fait illusoire, et j'ai bien

conscience que mon exposé comportera d'importantes lacunes. En particulier, je parlerai fort peu d'informatique, et ne dirai rien sur les probabilités et la statistique. Ce sont des questions qui mériteraient des articles autonomes. Même en me limitant, je n'aurais pas pu rédiger cet article sans la collaboration de plusieurs camarades, dont je mentionne les noms à la fin. Ce sont les seuls que je citerai, non qu'ils soient les seuls qui méritent de l'être, bien loin de là, mais parce qu'il faut choisir. Si les polytechniciens mathématiciens sont nombreux et souvent de très haut niveau (ma liste, certainement incomplète, contient environ 80 noms), il est presque impossible de distinguer ceux qui méritent particulièrement d'être cités. Je me contenterai donc d'affirmer que, dans toutes les questions dont je vais parler, la présence polytechnicienne n'est pas négligeable.

Commençons par l'arithmétique, qui peut être considérée comme la branche originelle des mathématiques. C'est une science qui semble bien délimitée et accessible aux non spécialistes. En quoi on se trompe, car elle fait grand usage des méthodes de l'algèbre et de l'analyse. Elle a pour premier objet d'étude les nombres entiers. Rappelons l'énoncé du célèbre problème de

Fermat : existe-t-il des nombres entiers tels que $x^n + y^n = z^n$? La réponse, facile pour $n = 2$, n'est pas connue dans le cas général. On ne dispose que de résultats fragmentaires. Par exemple, si n est un nombre premier, il n'y a pas de solutions pour $n < 125\,000$. Cet énoncé attire notre attention sur le rôle fondamental que jouent les nombres premiers en arithmétique. Leurs propriétés sont toujours l'objet de recherches et leur étude nécessite l'emploi des méthodes de l'analyse. Il suffit de rappeler que le « théorème des nombres premiers », démontré essentiellement par Hadamard, d'après lequel le nombre de nombres premiers inférieurs à x augmente indéfiniment lorsque x tend vers l'infini, et est un infiniment grand de l'ordre de $\frac{x/\log x}{x}$, utilise les propriétés (incomplètement connues) de la fonction de Riemann

$$\zeta(s) = 1 + \frac{1}{2^s} + \dots + \frac{1}{n^s} + \dots$$

La théorie des nombres s'intéresse aussi aux nombres irrationnels, et par suite à des problèmes d'approximation. On sait que tout nombre x peut être approché par une suite de fractions, par exemple décimales. Le nombre 3,1415 est une approximation par défaut de π , avec une erreur inférieure à 10^{-4} . Peut-on choisir une suite de fractions qui s'approche plus vite de x que par approximations décimales ? La réponse est affirmative. Mais on connaît des limitations à la précision. Le mathématicien anglais Roth, précisant un théorème de Liouville, a montré que, si x est racine d'une équation algébrique à coefficients entiers (ce qui n'est pas le cas de π), on peut affirmer que, sauf pour un nombre fini de fractions irréductibles p/q , on a l'inégalité

$$\left| x - \frac{p}{q} \right| > \frac{1}{q^{2+\epsilon}}$$

où ϵ est un nombre positif aussi petit que l'on veut, mais non nul en général. Ce résultat permet de prouver que certains nombres irrationnels ne sont pas « algébriques », et de résoudre certaines équations en nombres entiers.

Bien que la théorie des probabilités soit en dehors du sujet de cet article, il est souvent nécessaire d'y faire allusion. Elle s'est introduite en théorie des nombres à la suite des travaux de E. Borel sur la distribution des décimales de π . On définit une mesure (de probabilité) sur les entiers de la façon suivante : on donne un ensemble A d'entiers.

Parmi tous les entiers inférieurs à x , il y en a $k(x)$ qui appartiennent à A .

On forme la fraction $\frac{k(x)}{x}$ et on regarde si elle a une limite quand $x \rightarrow \infty$. Ce sera la probabilité de A . En ce sens, la probabilité pour qu'un nombre soit pair (appartienne à l'ensemble A des nombres pairs) est bien $1/2$.

Les probabilités s'introduisent d'une autre façon en théorie des nombres par la notion de *suite équirépartie*. On considère une suite infinie de nombres (non entiers cette fois) compris entre 0 et 1. On donne arbitrairement deux nombres a et b tels que $0 < a < b < 1$. On désigne par $p(N)$ le nombre de points de la suite, pris parmi les N premiers, qui tombent dans l'intervalle $[a, b]$. Si, lorsque $N \rightarrow \infty$, la fraction $p(N)/N$ a une limite, égale à $b - a$, on dit que la suite est équirépartie entre 0 et 1. C'est le cas pour les deux suites constituées par les parties décimales des nombres

$$\sqrt{2}, 2\sqrt{2}, 3\sqrt{2}, \dots, n\sqrt{2}, \dots$$

$$\sqrt{2}, 4\sqrt{2}, 9\sqrt{2}, \dots, n^2\sqrt{2}, \dots$$

On pourrait d'ailleurs remplacer $\sqrt{2}$ par n'importe quel nombre irrationnel. Ces suites, connues par les travaux de H. Weyl (vers 1916), ont fait l'objet de nombreuses recherches, tant pour des usages proprement arithmétiques que pour des applications assez inattendues. Elles permettent en effet de réaliser une « simulation du hasard ». La succession de leurs valeurs a beaucoup d'analogie avec celle de nombres dits aléatoires, obtenus par des méthodes expérimentales de tirage au sort. Elles sont aussi à l'origine de la construction de fonctions dites pseudo-aléatoires, qui sont en quelque sorte une représentation strictement déterministe de phénomènes qu'on a souvent tendance, par habitude, à considérer comme aléatoires. Ces fonctions devraient pouvoir servir à décrire les phénomènes, tels que la turbulence, que l'on qualifie aujourd'hui de phénomènes chaotiques. Ajoutons que les suites équiréparties ont des applications en analyse numérique (méthode de Monte-Carlo). Mais nous voilà déjà loin de la théorie des nombres.

La construction de fonctions irrégulières par les procédés analytiques évoqués ci-dessus commence par des fonctions « en escalier ». Ce sont des fonctions dont la valeur reste constante sur chacun des intervalles successifs $[0,1]$, $[1,2]$, $[2,3]$ etc. C'est la succession arithmétique de leurs valeurs qui est irrégulière. On peut en déduire des fonctions

d'aspect très irrégulier qui sont cependant continues, qui ont une dérivée en chaque point, etc. Une autre direction de recherches consiste à construire par des procédés systématiques des courbes ayant non seulement un aspect chaotique, mais une irrégularité locale, comme les courbes continues sans tangente dont Weierstrass, Cantor, Peano ont prouvé l'existence. Le calcul des probabilités en fournit des exemples, en particulier la courbe du mouvement brownien, issue de la physique et étudiée par N. Wiener et P. Lévy. La théorie des fractales, due à B. Mandelbrot, constitue une synthèse de ces concepts. Elle comporte une part de géométrie : géométrie de l'irrégulier, opposée à la géométrie euclidienne et à la géométrie analytique classique. Elle fait parfois appel aux méthodes arithmétiques et probabilistes. Enfin la construction de fractales compliquées nécessite l'emploi des ordinateurs. Ces fractales sont capables de simuler de nombreuses formes qu'on rencontre dans la nature : forme des nuages, des côtes maritimes, des montagnes. Les fonctions pseudo-aléatoires, moins révolutionnaires, semblent cependant bien se prêter à la représentation de phénomènes aussi compliqués que la turbulence.

Dans la classification moderne des mathématiques, après la théorie des nombres vient l'*algèbre*, science des structures abstraites et de quelques unes de leurs réalisations. Je me contenterai de la mentionner, et passerai tout de suite à la *topologie*. La topologie présente des aspects très divers, que je vais évoquer. La topologie générale, c'est l'étude des structures dans lesquelles intervient une notion de voisinage, et par suite une possibilité de limite et de convergence. Elle est issue par abstraction de la géométrie de situation, ou *analysis situs*, du 19^e siècle, qui était l'étude des propriétés des figures géométriques qui sont invariantes par déformation continue. La topologie algébrique actuelle a pour but de calculer certains invariants numériques de ces déformations. Par exemple, à l'intérieur d'un disque, toute courbe fermée simple peut se rapetisser jusqu'à devenir un point. Il y a une seule sorte de courbes fermées. Au contraire, dans un disque percé d'un trou, il y a une seconde sorte de courbes fermées : celles qui entourent le trou. Et ces propriétés ne dépendent pas de la forme précise du disque. Elles subsistent si l'on déforme le disque. Ces remarques, que les mathématiques actuelles développent à un haut niveau d'abstraction, ont de nombreuses applications géométriques ou

analytiques. Il suffit de rappeler que l'étude des intégrales elliptiques, hyperelliptiques, abéliennes, comporte une part qualitative qui en dépend directement.

Il en est de même de l'étude globale des variétés, qui par ailleurs se rattache à la géométrie différentielle. En gros, une variété est l'extension à un nombre quelconque de dimensions d'une surface ou d'une courbe. On la décrit par un ensemble de représentations paramétriques. Mais les choses se compliquent assez vite. Par exemple, l'ensemble des plans tangents à une sphère constitue une variété. En effet, chaque plan tangent dépend de deux paramètres (coordonnées géographiques du point de contact), et dans ce plan, un point dépend à nouveau de deux paramètres. Les coordonnées x, y, z d'un point du plan sont donc des fonctions de quatre paramètres. Cette variété s'appelle le fibré tangent à la sphère. L'étude du fibré tangent sert à comprendre les propriétés topologiques des variétés et à en faire la classification. Il est remarquable que les problèmes les moins bien résolus concernent les cas en apparence les plus simples : la structure globale des variétés de dimension 3 ou 4. Là, on se heurte à des questions d'arithmétique et on est vite désarmé.

L'analyse fonctionnelle peut être considérée comme un chapitre « appliqué » de la topologie. A l'origine, vers 1925, elle est surtout l'œuvre de mathématiciens italiens, en particulier L. Fantappiè et V. Volterra. Avant de prendre son orientation actuelle, elle a fait l'objet de travaux de P. Lévy. Au lieu de fonctions d'une ou plusieurs variables, son objectif initial était d'introduire des « fonctionnelles », où la variable était remplacée par un élément géométrique. C'est ainsi que la longueur d'une courbe fermée est une fonctionnelle de cette courbe, que l'intégrale

$$\int_0^1 f(x) dx$$

est une fonctionnelle de la fonction f . On voulait pouvoir parler de limite d'une suite de fonctionnelles, de dérivée d'une fonctionnelle. Grâce à divers mathématiciens, en particulier S. Banach et F. Riesz, l'analyse fonctionnelle a pris une forme plus abstraite, celle de l'étude des espaces métriques et des espaces vectoriels normés, et de leurs réalisations comme espaces de fonctions. Certaines notions élémentaires sur la convergence d'une suite de fonctions, par exemple la convergence uniforme, sont déjà de l'analyse fonctionnelle.

Une application de l'analyse fonc-

tionnelle est l'analyse harmonique ou analyse de Fourier. A l'origine se trouve la théorie des séries de Fourier classiques, dont l'étude de la convergence a fait l'objet de nombreux travaux au 19^e siècle. Peu à peu, l'importance des intégrales de Fourier — intégrales du type

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{ixt} f(t) dt -$$

— s'est manifestée avec beaucoup de force, en même temps que les séries de Fourier de fonctions périodiques subissaient des généralisations (fonctions presque-périodiques, fonctions moyennes-périodiques). Ces problèmes ont subi à nouveau des généralisations dans diverses directions. L'une des plus fécondes consiste à remarquer le rôle que joue en analyse harmonique l'opération de translation, qui associe à la fonction $f(t)$ toutes ses « translatées » $f(t+h)$. Or l'addition définit sur les nombres réels un groupe commutatif. D'où l'idée d'étendre la transformée de Fourier à certains groupes commutatifs. L'exponentielle complexe e^{ix} est alors remplacée par une fonction φ à valeurs complexes définie sur le groupe, de module 1, vérifiant la relation $\varphi(x \circ y) = \varphi(x) \varphi(y)$, où $x \circ y$ est le composé de deux éléments du groupe, qui est l'addition ordinaire dans le cas des nombres réels. Si l'on sait construire une intégrale sur les éléments du groupe, on obtient une importante extension de l'analyse harmonique. Mais le cas des groupes non commutatifs offre encore quelque résistance.

Il est curieux que l'analyse harmonique ait contribué à rajeunir la théorie des fonctions analytiques qui, à la suite des travaux de Cauchy, avait dominé les mathématiques du 19^e siècle. L'orientation actuelle est surtout vers les fonctions holomorphes de plusieurs variables, représentées localement par des séries entières à plusieurs variables. Là comme en bien d'autres circonstances, c'est Poincaré qui a été l'initiateur. Mais aujourd'hui on dispose de moyens plus puissants qu'à son époque. L'un des problèmes qui se posent est celui du prolongement analytique, qui est beaucoup plus compliqué que celui des fonctions d'une variable (les valeurs de

$$\frac{1}{1-z},$$

en tout point du plan complexe autre que $z = 1$, constituent un prolongement analytique des valeurs de la somme de la série $1+z+z^2+\dots+z^n+\dots$, somme qui n'est définie qu'à l'intérieur du cercle unité). L'objectif est de caractériser

le domaine maximal dans lequel se prolonge une fonction analytique connue dans un certain domaine. Cela peut exiger l'introduction de certaines équations aux dérivées partielles non linéaires.

Dans le vocabulaire mathématique d'aujourd'hui, on rencontre de plus en plus fréquemment l'expression système dynamique. Elle va nous servir de clé pour pénétrer maintenant dans des domaines assez variés, sans être tout à fait indépendants, des mathématiques et de leurs applications. Définir d'une façon générale un système dynamique exigerait une longue introduction de géométrie différentielle. Contentons-nous des systèmes dynamiques qui sont engendrés par des systèmes d'équations différentielles ordinaires, ou plutôt par des équations différentielles dont l'inconnue est un vecteur fonction du temps. On sait que ce type d'équations régit en particulier les problèmes classiques de la dynamique du point et des systèmes de solides. Le vecteur inconnu est la position du système, mais il est commode de doubler sa dimension en lui adjoignant le vecteur vitesse. Les solutions d'un système dynamique constituent des trajectoires, ou orbites. Le problème classique consiste à chercher la trajectoire qui, à l'instant origine, passe par un point donné. Cette trajectoire existe-t-elle, et est-elle unique ?

Ce problème a reçu de Cauchy une solution locale, qui a été ensuite bien améliorée par la méthode des approximations successives de E. Picard. La théorie de E. Picard est le point de départ des théories modernes concernant les « théorèmes du point fixe », dont l'objet est de répondre à la question suivante : f étant une application d'un ensemble E dans lui-même, existe-t-il dans E un point x , et un seul, tel que $f(x) = x$? Dans le cas des équations différentielles, la méthode des approximations successives fournit un procédé de construction des solutions, mais ce procédé reste souvent local, comme le montre l'exemple suivant : essayons de trouver la solution du système différentiel

$$\frac{dx}{dt} = y, \quad \frac{dy}{dt} = -x$$

qui, pour $t = 0$, passe par le point $x = 0, y = 1$. On trouve successivement pour x les solutions appro-

$$x = t, \quad x = t - \frac{t^3}{6},$$

$$x = t - \frac{t^3}{6} + \frac{t^5}{120}, \text{ etc. } \dots$$

c'est-à-dire les premiers termes du développement de $\sin t$ en série entière. Ces approximations par des polynômes cachent très soigneusement le fait que la solution exacte est une fonction périodique. Elles sont même difficilement conciliables avec le fait banal que la trajectoire du point (x,y) est un cercle.

Or bien des questions de ce type méritent d'être posées. Les trajectoires du système différentiel restent-elles sur certaines surfaces simples ? Existe-t-il des régions de l'espace telles que, au cours du temps, la trajectoire passe très près de tout point de cette région (trajectoire dense dans la région en question) ? La trajectoire repasse-t-elle par le point initial au bout d'un temps fini (trajectoire périodique) ou d'un temps infini (point attractif) ? Que le lecteur s'amuse par exemple à construire la courbe $x=\sin at$, $y=\sin bt$, solution du système différentiel

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -a^2x, \quad \frac{d^2y}{dt^2} = -b^2y.$$

Si $\frac{a}{b}$ est un nombre irrationnel,

elle passe aussi près qu'on le souhaite de tout point donné à l'intérieur d'un certain carré. Dans l'exemple de la figure 1, on a choisi $a = 3$, $b = \pi$; ce sont des nombres suffisamment voisins pour que la courbe reste d'abord proche d'une ellipse, avant de se déformer.

Nous rencontrons à nouveau ici le rôle que joue la théorie des nombres à propos de problèmes d'analyse.

La théorie qualitative des équations différentielles a reçu sa première impulsion de Poincaré. Elle présente toujours un grand intérêt. On sait aujourd'hui que les trajectoires de certains systèmes dynamiques peuvent présenter une grande complexité, qui donne, peut être à tort, une impression de désordre, et a conduit à les qualifier de chaotiques. On retrouve donc ici un vocable qui s'était spontanément introduit à propos de l'interprétation des propriétés des nombres irrationnels. Notons que, dans la plupart des cas, la nature de ces trajectoires chaotiques est mal connue et que ce qu'on sait à leur sujet provient en grande partie d'expérience numérique faites à l'aide de grands ordinateurs. En particulier, la liaison avec les fonctions pseudo-aléatoires reste à faire.

Les figures 2-3 ci-contre concernent un système différentiel non linéaire à quatre fonctions inconnues x, y, u, v . La figure 2 représente l'une des inconnues y comme fonction de la variable t . La figure 3 est la trajectoire décrite, en fonction de t , par le point de coordonnées x, y .

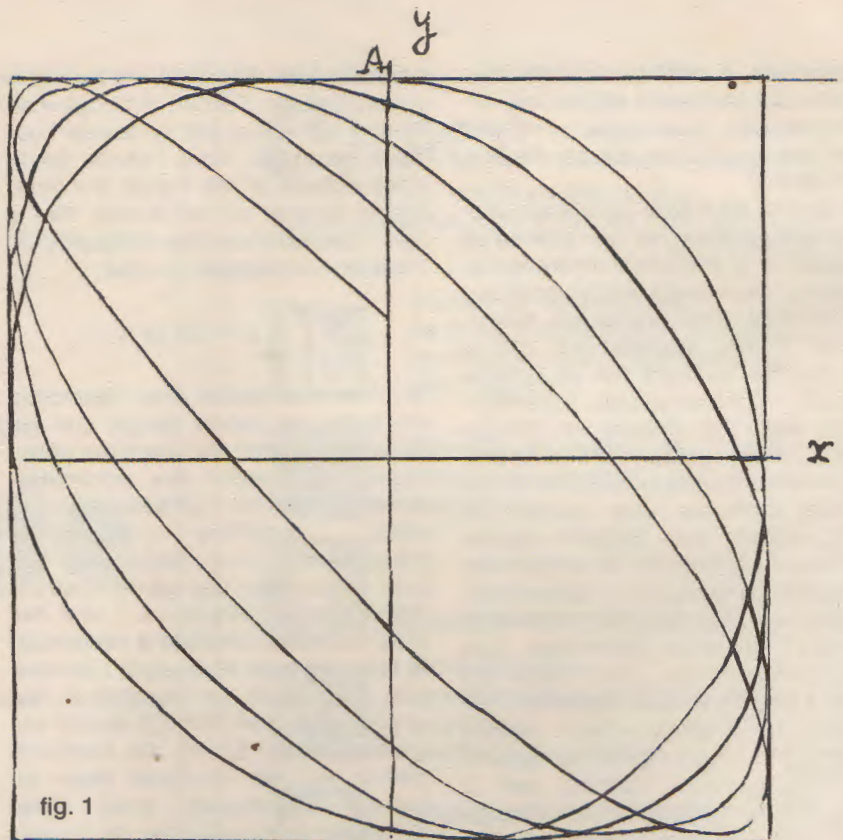


fig. 1

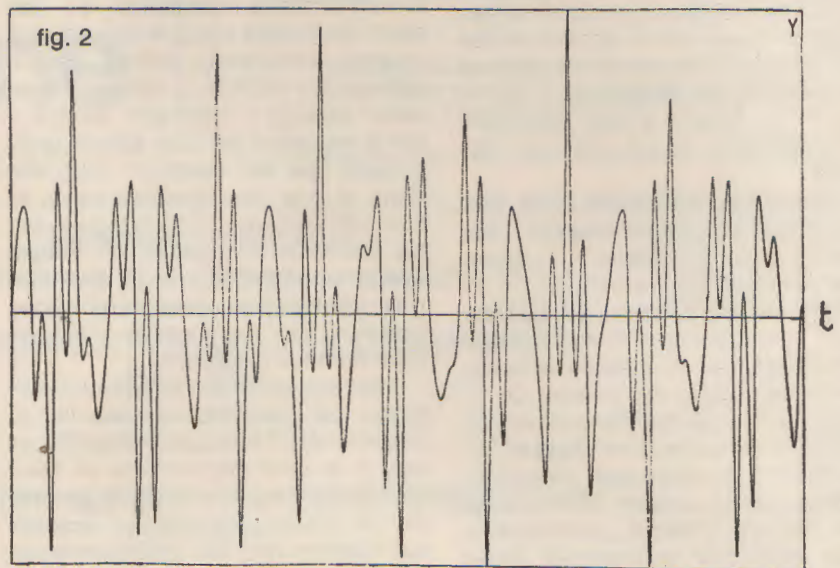


fig. 2

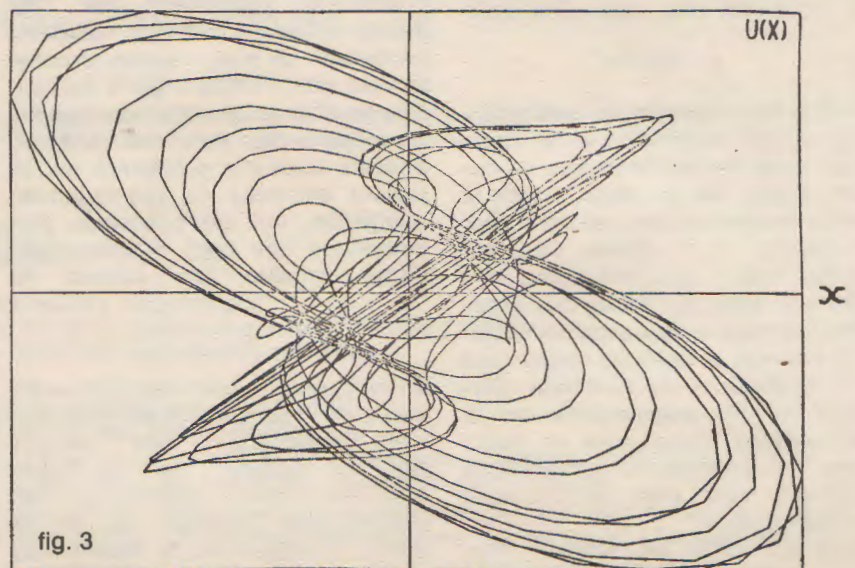


fig. 3

L'étude des solutions d'un système dynamique présente un intérêt nouveau lorsque le système dépend d'un paramètre μ . Les conditions d'application du théorème d'existence et d'unicité peuvent alors dépendre des valeurs du paramètre. Supposons qu'on cherche des solutions ayant certaines propriétés imposées, ce qu'on traduira en disant qu'elles doivent appartenir à un certain espace fonctionnel. Il arrive que de telles solutions existent pour certaines valeurs de μ , et n'existent pas pour d'autres valeurs de μ , tout aussi acceptables a priori. Il est facile de voir, sur un exemple peut être un peu trop simple, pourquoi les valeurs de μ jouent un rôle important. Cherchons si l'équation différentielle

$$\mu \frac{d^2x}{dt^2} + x = 0,$$

où μ est un paramètre réel, a des solutions bornées quel que soit t , c'est-à-dire des solutions « appartenant à l'espace vectoriel des fonctions deux fois dérivables bornées sur \mathbb{R} ». Cette équation a toujours la bonne solution $x = 0$. Si μ est négatif, c'est la seule. Au contraire, si μ est positif, en plus de la solution nulle, il existe une famille de solutions sinusoïdales, qui sont toutes bornées. On dit alors que les solutions de l'équation différentielle (appartenant à l'espace choisi) ont pour $\mu = 0$ une *bifurcation*. La solution, unique pour $\mu < 0$, se dédouble et donne naissance à d'autres solutions, qui sont ici des fonctions oscillantes. Cette théorie des bifurcations joue un grand rôle dans l'étude des systèmes dynamiques. Il semble qu'elle ait été suggérée par des problèmes physiques. C'est le cas du problème de la turbulence, bien qu'il soit régi par des équations plus compliquées que des équations différentielles. Un écoulement aérodynamique dépend de données fixes, et de certains paramètres μ qu'on peut faire varier à volonté, par exemple le nombre de Reynolds. Si $\mu = 0$, le fluide est au repos. Si μ est petit, le mouvement du fluide est très régulier (à notre échelle). Pour une certaine valeur de μ , des mouvements périodiques apparaissent. Il y a bifurcation. Après un certain nombre de bifurcations, le mouvement prend cet aspect irrégulier qu'on appelle parfois le chaos ou la turbulence.

L'existence de bifurcations et le comportement des solutions successives ont pu être justifiés dans un certain nombre de cas. Mais cela reste des problèmes difficiles, et, souvent, seules des méthodes numériques permettent de prévoir

l'éventualité d'une bifurcation. Quant à la structure des solutions chaotiques, tout le monde semble s'accorder pour les doter d'un spectre continu, ce qui les identifierait aux fonctions pseudo-aléatoires. Mais cela reste à préciser.

L'expression « système dynamique » suggère l'application des mathématiques à la *mécanique*. La mécanique des points et des solides, qui est la première des sciences à avoir été complètement mathématisée (après la géométrie), n'a pas fini de poser des problèmes aux mathématiciens. On sait qu'un système mécanique est défini par un certain nombre de « paramètres de Lagrange » q_1, \dots, q_n , dont le point représentatif décrit une trajectoire dans l'espace à n dimensions. Il est cependant utile de compléter ces paramètres par leurs dérivées, qui définissent la vitesse du point image du système. Les paramètres de Lagrange satisfont aux célèbres équations différentielles de Lagrange. Mais il est commode de procéder à un changement de variables qui, conservant q_1, \dots, q_n , remplace les dérivées $\dot{q}_1, \dots, \dot{q}_n$ par d'autres variables p_1, \dots, p_n , appelées composantes de l'impulsion ou moments conjugués.

Il existe une fonction H de la position, de l'impulsion et du temps, telle que les $2n$ fonctions $p_1, \dots, p_n, q_1, \dots, q_n$ satisfassent au système différentiel.

$$\frac{dq_i}{dt} = \frac{\partial H}{\partial p_i}, \quad \frac{dp_i}{dt} = - \frac{\partial H}{\partial q_i}$$

connu depuis Hamilton (vers 1834). Il s'agit d'intégrer ce système, et d'avoir une connaissance globale des trajectoires dans l'espace des phases à $2n$ dimensions. Comment se comporte le système mécanique lorsque le temps s'écoule ? Les trajectoires sont-elles stables sous l'effet de petites perturbations ?

Or les paramètres de Lagrange, une fois qu'ils ont été choisis au mieux, ne sont pas indépendants. Ils sont liés par des relations qui traduisent les liaisons auxquelles le système est soumis. Le point image du système est donc contraint de rester sur une variété, appelée variété symplectique. Les propriétés topologiques de cette variété conditionnent qualitativement l'évolution globale du système. Pour un point, se mouvoir à l'intérieur d'un rectangle, sur la surface d'une sphère, sur un tore, dans un plan percé d'un trou, cela n'est pas la même chose, et les différences ou analogies qui existent entre ces variétés influent sur la nature des trajectoires. Mais ces variétés peuvent aussi avoir des propriétés plus précises d'invariance par

certaines transformations géométriques. Ces propriétés sont essentielles lorsque les transformations considérées se rassemblent en des *groupes*. C'est ainsi qu'une sphère est invariante par le groupe des rotations autour du centre. Or ces groupes peuvent avoir des fonctions invariantes.

Le groupe des rotations autour d'un point O admet pour invariant la distance au point O . Par contre, le groupe des transformations linéaires du plan n'a aucun invariant. L'étude de ces invariants place dans son cadre véritable la traditionnelle recherche des intégrales premières, bien connue en mécanique. Mais il faut noter que ces groupes opèrent dans des espaces de dimension différente de celle de l'espace physique et que leur étude apporte souvent des résultats nouveaux. Je me bornerai à ces quelques indications, car un exposé sur les *groupes de Lie* me semble hors du sujet de cet article.

Quand un système dynamique dépend d'un paramètre, il se peut que ce paramètre, au lieu d'être un scalaire, soit lui-même une fonction. Les solutions sont alors des fonctionnelles du paramètre. Les problèmes les plus intéressants appartiennent à la *théorie du contrôle et de l'optimisation*. Mais il faut d'abord faire un rapide retour en arrière vers le *calcul des variations*, dont les bases remontent à plus de deux siècles. Rappelons de quoi il s'agit par un exemple élémentaire, celui du plus court chemin entre deux points dans le plan. Le problème consiste à chercher une fonction $y(x)$, suffisamment régulière, prenant des valeurs données en deux points d'abscisses x_1 et x_2 , et telle l'intégrale

$$I = \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + y'^2(x)} dx,$$

soit plus petite pour cette fonction que pour toute autre de la même classe. On sait depuis longtemps que la fonction y cherchée est solution d'une équation différentielle non linéaire du second ordre (très simple dans cet exemple), appelée équation d'Euler. Au cours du 19^e siècle et au début du 20^e siècle, on a beaucoup raffiné sur les hypothèses de ce type de problèmes, et sur les conditions pour qu'on obtienne effectivement un minimum. On a aussi appris à interpréter le calcul des variations comme un problème de calcul différentiel. L'intégrale I est une fonctionnelle de la fonction y , définie dans un certain espace fonctionnel, et l'on cherche à écrire que sa différentielle s'annule. Rappelons encore que les problèmes de la mécanique hamiltonienne peuvent s'énoncer en

langage variationnel. Les trajectoires possibles du système mécanique, solutions des équations différentielles de Hamilton, proviennent de la recherche du minimum d'une certaine intégrale, appelée action hamiltonienne.

Revenons au problème du plus court chemin et posons $y' = u$. La fonction y étant soumise à des conditions imposées (par exemple prendre des valeurs données en deux points donnés), la relation $y' = u$ devient une équation différentielle permettant de calculer y lorsque u est donné. A la place de

$$\int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + y'^2} dx$$

ou plutôt

$$\int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + u^2} dx$$

mettons plus généralement une fonctionnelle $g(y, u)$ dépendant de y et de y' (y dépendant elle-même de u). Nous voulons choisir u de façon que la valeur de cette fonctionnelle soit la plus petite possible. Voici le langage qu'on utilise dans ce genre de problèmes. On dit que l'inconnue y est contrôlée par la fonction u . On cherche u de façon qu'une certaine fonction de coût $g(y, u)$ soit minima. Les problèmes de calcul des variations apparaissent aussi comme des problèmes de contrôle. La théorie du contrôle, dont les promoteurs sont essentiellement Pontryagin en Russie et Bellman aux Etats-Unis, continue à alimenter de nombreuses recherches. Voici un exemple de problème pratique de contrôle. Un avion va de A à B. Le régime des vents entre A et B est connu. Déterminer la route qu'il doit suivre pour que la consommation en carburant – ou la durée du trajet – soit la plus petite possible. La fonction de contrôle, c'est le cap que le pilote doit prendre à chaque instant. La fonction coût, c'est la consommation, considérée comme fonction du cap et de la position de l'avion.

Si la théorie du contrôle a pour but de rechercher des maxima et des minima, elle ne fait cependant pas toujours appel aux méthodes du calcul différentiel, contrairement au calcul des variations. Il existe en effet bien des problèmes de maxima et de minima dont la solution ne s'obtient pas en écrivant qu'une différentielle, ou une dérivée, s'annule. Exemple : recherche du minimum de la fonction $2x + 3$ sur l'intervalle $0 \leq x \leq 1$. Ce genre de problèmes apparaît constamment dans les applications, où la fonction de coût a des limitations qui, du point de vue mathématique, sont tout à fait arbitraires. Voici un exemple très simple de ce

type de problèmes : un mobile se déplace sur une droite. Il part de A avec une vitesse donnée. Il veut arriver en B avec une vitesse nulle, pour pouvoir rester en B. Son accélération ne peut pas dépasser une valeur fixée γ_0 . Comment doit-il organiser son mouvement pour que la durée du trajet soit la plus courte possible ? Je laisse au lecteur le soin de trouver la réponse.

La théorie du contrôle nous conduit à dire quelques mots de ce qu'on appelle la *théorie générale des systèmes*. Elle est voisine de la *cybernétique*, introduite par N. Wiener vers 1948. Le mot « système » évoque des structures naturelles très diverses, physiques, biologiques, sociales, économiques. On suppose qu'on a fait une théorie qui les représente par des systèmes dynamiques. Dans ces systèmes figurent : des fonctions d'entrée, comportant une part obligée et une part dont on dispose (commande ou contrôle) – des fonctions d'état, qui décrivent l'évolution du système – des fonctions de sortie, qui sont ce qu'on peut finalement observer. On passe de la commande u à l'état x en intégrant une équation différentielle, en général vectorielle,

$$\frac{dx}{dt} = f(x, u, t).$$

On s'intéresse à une certaine fonction de sortie $y = g(x, u, t)$. Imaginons par exemple un dispositif industriel auquel on fournit de la chaleur. On souhaite que sa température suive une loi imposée $u(t)$ en fonction du temps. On construit donc un système mécanique qui règle l'arrivée de la chaleur de telle façon que la température réelle $x(t)$ soit une certaine fonction (ou fonctionnelle) de la température idéale $u(t)$ qui s'écarte le moins possible de $u(t)$. Ce système se traduit par une équation différentielle scalaire relative à $x(t)$, et qui dépend de $u(t)$. Ici x joue à la fois le rôle de fonction d'état et de fonction de sortie. Une équation différentielle de la forme

$$\frac{dx}{dt} = a(u - x)$$

où a est un nombre positif, rend assez bien compte de ce type d'asservissement. Si $x(t) < u(t)$, $\frac{dx}{dt}$ est positif, x a tendance à croître et à se rapprocher de u . De même si $x(t) > u(t)$. Plus a est grand, plus rapide est le rapprochement entre x et u . Il est amusant de voir comment les choses se passent avec des choix particuliers de fonctions $u(t)$, par exemple

$$u(t) = 1, u(t) = t, u(t) = \sin t.$$

Après les équations différentielles et leurs applications, il est naturel de passer aux *équations aux dérivées partielles*. Leur étude, motivée tantôt par des questions purement mathématiques, tantôt par des problèmes d'origine physique, a débuté au 18^e siècle et, jusque dans le courant du 20^e siècle, a suivi une ou deux routes assez rigides. L'une d'entre elles concerne la résolution locale du problème de Cauchy. Par exemple, pour une équation du premier ordre à deux variables indépendantes, il s'agit de faire passer une surface solution par un arc de courbe donné. La possibilité de ce problème et ses cas d'exception sont l'objet du théorème de Cauchy-Kowalevski, qui utilise la représentation de la solution par des séries entières. L'autre direction est celle des problèmes globaux. Le problème de Dirichlet en est le plus célèbre modèle. Il s'est posé à une époque où il faisait un peu bande à part, et sa résolution a exigé bien des efforts, jusqu'au jour où les théorèmes de Fredholm sur les équations intégrales ont permis de dominer le sujet. Je rappelle qu'il s'agit de trouver une fonction harmonique (fonction dont le laplacien

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

est nul), définie en tout point intérieur à un certain domaine borné, et prenant des valeurs données en chaque point de la surface frontière de ce domaine. Aujourd'hui, beaucoup de problèmes relatifs aux équations aux dérivées partielles sont incorporés à un chapitre général de l'analyse fonctionnelle, celui des équations différentielles opérationnelles. Ce sont des équations de la forme

$$\frac{dx}{dt} = A(x),$$

où A est un certain opérateur différentiel, et où x est assujéti à appartenir à un espace fonctionnel donné. Il est à remarquer qu'on ne se limite plus à la recherche de solutions x qui soient des fonctions. Il peut fort bien arriver que x soit une distribution au sens de L. Schwartz, et aussi que la formulation de l'équation différentielle contienne des distributions. Par exemple la classique « fonction de Green » de l'opérateur laplacien (qui sert à résoudre le problème de Dirichlet) est solution de l'équation

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \delta$$

où δ est la distribution de Dirac.

On est conduit aujourd'hui à se poser au sujet des équations aux dé-

rivées partielles bien des problèmes qu'on n'aurait pas osé attaquer il y a un siècle. Même sur les problèmes locaux relatifs aux équations linéaires, on a beaucoup à découvrir. On sait que, schématiquement, on partage les équations linéaires en trois types : équations elliptiques (comme l'équation de Laplace

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0)$$

hyperboliques (comme l'équation des cordes vibrantes

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0)$$

paraboliques (comme l'équation de la chaleur

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\partial u}{\partial y} = 0)$$

Mais, si ces équations ont des coefficients non constants, il y a des équations de type mixte ; elles sont par exemple elliptiques dans un certain domaine des variables, hyperboliques dans une autre. C'est le cas de l'équation

$$x \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0,$$

qu'on rencontre en mécanique. Les équations de type mixte sont l'objet de nombreuses recherches. On peut mentionner plus particulièrement les équations semi-elliptiques, qui sont elliptiques sauf en certains points. Pour comprendre leurs particularités, on mène de front des méthodes générales et la constitution de véritables catalogues de solutions

Le monde des équations aux dérivées partielles pose bien d'autres problèmes, surtout lorsqu'il s'agit d'équations non linéaires. Je me contenterai d'énumérer les noms attachés à quelques équations aux dérivées partielles qui font aujourd'hui beaucoup parler d'elles : équations de Navier-Stokes, de Burgers, de Korteweg-de Vries, de Yang-Mills, sans oublier les équations de la gravitation d'Einstein et l'équation de Schrödinger, linéaire ou non. Les problèmes de propagation d'ondes ont pris un intérêt nouveau par l'étude des ondes solitaires, et de certaines structures particulières qu'on nomme les solitons.

Toutes ces grandeurs, nombres, fonctions dont on s'efforce de prouver l'existence, on souhaiterait les connaître d'une façon plus précise. mais la richesse des mathématiques, c'est justement de construire des objets qui n'appartiennent pas au catalogue des objets préalablement connus. Or les applications des mathématiques ont des exigences que n'ont pas les mathématiques pures.

Il faut pouvoir atteindre des valeurs numériques, construire des courbes, en un mot résoudre numériquement des problèmes. Cela exige des méthodes et du matériel et c'est l'objet de l'analyse numérique. Autrefois, le matériel se réduisait aux tables de logarithmes, qui, depuis plusieurs siècles, avaient été patiemment calculés « à la main ». A cela s'est ajouté dans la première moitié du 20^e siècle un matériel de précision limitée : règles à calcul, planimètres, abaques, calculateurs analogiques, dont l'emploi n'a pas changé grand chose aux méthodes. On connaissait dans certains cas des formules de résolution, qu'il fallait « rendre logarithmiques ». Ou bien, à défaut des formules exactes maniables, on utilisait des méthodes d'approximations successives. Exemple de la première méthode : résoudre l'équation du second degré en employant les formules de résolution.

Exemple de la seconde méthode : calculer $\sqrt{2}$ à l'aide de la relation de récurrence

$$x_{n+1} = \frac{1}{2} \left(x_n + \frac{2}{x_n} \right)$$

(dont le lecteur appréciera la rapidité de convergence).

Mais depuis quelques dizaines d'années la situation a évolué d'une façon spectaculaire. D'une part, les utilisateurs ont posé des problèmes de plus en plus variés et complexes. D'autre part, les moyens techniques de calcul ont brusquement changé par l'apparition et le perfectionnement rapide des ordinateurs. Je reviendrai pour finir sur le rôle des ordinateurs à propos de l'informatique. Il faut seulement rappeler ici que l'ordinateur ne travaille pas tout à fait comme un mathématicien accéléré. Il possède une logique différente, et les méthodes de l'analyse numérique doivent être adaptées à cette logique, et non plus seulement à celle des tables de logarithmes. Il faut aussi se rappeler que, si l'ordinateur peut beaucoup, il ne peut pas tout, et que sa précision a certaines limites. Enfin, si les méthodes de l'analyse numérique ont pour but le calcul de valeurs numériques, elles ne se désintéressent pas de la théorie, et leur premier objectif reste de démontrer l'existence des grandeurs dont on va calculer les valeurs. Orientées vers la pratique, elles suggèrent donc des idées théoriques. Il faut d'ailleurs reconnaître que, lorsqu'on ne sait pas prouver la convergence d'une méthode d'approximation, il arrive qu'on utilise souvent cette méthode à tout hasard, en espérant que les résultats obtenus apporteront des suggestions. Encore faut-il que la convergence soit suffi-

samment rapide pour suggérer quelque chose. Utiliser la série*

$$1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \dots$$

pour calculer $\pi/4$ avec 10 décimales exactes n'est pas une bonne opération, bien que cette série soit mathématiquement convergente.

Voici quelques exemples des problèmes auxquels l'analyse numérique a été appliquée avec succès. Ce sont d'abord les équations aux dérivées partielles de type elliptique. Les problèmes qui se posent à leur sujet sont bien entendu ceux de la résolution complète dans des conditions données. Mais il arrive que la recherche des valeurs propres (par exemple des fréquences propres) et des fonctions propres associées d'un système dans des conditions données constitue un problème intéressant en soi et qui nécessite des techniques nouvelles. Parmi ces équations, l'une des plus célèbres est l'équation de Schrödinger, outil fondamental de la mécanique quantique. L'hamiltonien du système physique étant donné, les valeurs propres de l'opérateur de Schrödinger caractérisent les niveaux d'énergie possibles du système. Or on ne les connaît exactement que dans quelques cas très simples. Les méthodes numériques permettent de les calculer dans des cas inspirés par l'expérience et où l'étude théorique est impuissante.

Les équations aux dérivées partielles non linéaires ont été ensuite attaquées, et l'on commence à savoir les traiter numériquement, même avec deux ou trois variables indépendantes. Tous ces problèmes d'équations aux dérivées partielles ont leur source en mécanique et en physique. En mécanique des fluides, on s'intéresse beaucoup aux équations de Navier-Stokes, système d'équations aux dérivées partielles valable pour les fluides visqueux, et même, semble-t-il, pour les fluides turbulents. Les problèmes d'élasticité (équilibre et mouvement) sont régis par des équations aux dérivées partielles qui, pour les petits déplacements, sont linéaires, mais ne le sont plus pour des déformations plus importantes, même à l'intérieur de la limite élastique (d'une façon analogue, l'équation différentielle du pendule, linéaire pour les mouvements voisins de la position d'équilibre, ne l'est plus pour les grands écarts).

Les méthodes actuelles permettent de justifier les équations non linéaires de la déformation des plaques et des coques, et d'en construire des solutions numériques, dont on sait évaluer la précision. Notons enfin

que les méthodes de l'analyse numérique s'appliquent aux problèmes de contrôle optimal posés par la physique et la technique, et aux problèmes de bifurcation, l'analyse numérique coopérant avec l'analyse pure pour prévoir les bifurcations successives.

Les techniques employées en analyse numérique sont très nombreuses. Comme je l'ai déjà signalé, elles s'éloignent souvent des méthodes purement mathématiques de résolution, quitte à suggérer de nouvelles méthodes théoriques. Par exemple, si la théorie élémentaire nous apprend à exprimer la résolution d'un système d'équations linéaires par les déterminants, ce procédé, déjà très pénible pour des systèmes d'ordre 3, devient tout à fait impraticable pour des systèmes d'ordre élevé, et doit être remplacé par des procédés plus maniables. Or de tels systèmes se rencontrent couramment. En effet, l'analyse numérique repose sur des procédés d'approximation, parmi lesquels la méthode de discrétisation joue un rôle essentiel. Elle conduit à remplacer des équations fonctionnelles linéaires et même non linéaires par des systèmes d'équations du premier degré ayant un grand nombre d'inconnues. Elle a pris une extension considérable, en particulier sous la forme de ce qu'on appelle la méthode des éléments finis. Cette méthode était déjà appliquée il y a plus d'un siècle pour le calcul des structures mécaniques formées par des assemblages de barres. L'élément fini était la barre ou le triangle. Les conditions d'équilibre de telles structures conduisent rapidement à des systèmes algébriques très compliqués, qui n'ont pu être réellement résolus que lorsque les ordinateurs ont fait leur apparition. Alors la méthode des éléments finis a pris une grande extension, sous toutes les formes : théorie, justification de l'approximation, calcul. Elle consiste en gros à décomposer le système considéré, qui est généralement un milieu continu, en un grand nombre d'éléments que l'on calcule indépendamment, avec cependant des conditions de raccord entre les éléments voisins. Les problèmes posés se ramènent à des systèmes d'équations linéaires (il

peut y en avoir 10 000), qui sont pris en charge par les ordinateurs.

L'analyse numérique nous a conduits à évoquer souvent le rôle fondamental que jouent en mathématiques appliquées les ordinateurs. La théorie fournit une méthode, s'efforce d'évaluer la précision de cette méthode, et ensuite c'est à l'ordinateur de travailler. Qui dit ordinateur dit *informatique* et je vais conclure par quelques remarques sur l'informatique. Mais l'informatique n'est pas seulement l'usage des ordinateurs. C'est l'ensemble des disciplines qui ont pu se développer grâce aux possibilités de l'ordinateur. L'ordinateur, c'est une machine à traiter l'information. Ce n'est pas uniquement un outil de calcul numérique. On lui fournit certaines données, sous une forme telle qu'il puisse les comprendre, et il fournit certaines informations au sujet de ces données. Comment opère-t-il ? Les données sont fractionnées en informations élémentaires, qu'il accepte ou refuse, après les avoir traduites dans le système binaire de numération. Il rassemble sur les données un grand nombre d'informations élémentaires, il en fait la synthèse, et la communique dans un certain langage. Supposons par exemple qu'on lui fournisse un dessin et qu'on lui demande son opinion sur le dessin. On peut lui proposer de reproduire le dessin, ou de traduire, dans un langage codé, le mot qui qualifie le dessin, ou d'écrire ce mot dans une langue usuelle, ou de faire entendre ce mot dans un haut parleur, ou de dire si ce dessin est en noir ou en couleurs. Pour y parvenir, on pourra par exemple recouvrir le dessin d'un quadrillage suffisamment serré. Dans chaque maille, un dispositif analysera l'opacité, ou le niveau de teinte grise, en distinguant par exemple 200 niveaux. A chacun de ces niveaux correspondra un nombre écrit en base 2. Il faudra donc un nombre de 8 chiffres, car $2^8 = 256$. Chacune des mailles sera représentée par un tel nombre, ces nombres seront mis en mémoire, et un programme convenable permettra de les utiliser pour recueillir l'information souhaitée. Opérer de cette façon, c'est faire de la *reconnaissance des formes*. L'objet qu'on

cherche à reconnaître n'est pas nécessairement un dessin. Cela peut être un signal sonore, un texte imprimé, etc.

La reconnaissance des formes conduit alors à la lecture artificielle, à la synthèse de la parole, à la traduction automatique. Elle arrive même à l'intelligence artificielle : l'ordinateur choisit une ligne de conduite, met en mémoire un grand nombre de décisions possibles, en sélectionne un certain choix, puis, par analyse de tous les cas possibles, choisit la décision la plus favorable. C'est ainsi qu'on peut demander à un ordinateur de jouer aux échecs.

Ces quelques remarques laissent entrevoir l'importance et la variété des applications de l'informatique. Mais il s'agit là d'un domaine si étendu qu'il n'est pas possible d'en parler plus longuement ici. L'informatique à elle seule mériterait un article, peut être un numéro, de la Jaune et la Rouge.

Je vais donc maintenant terminer ce survol des mathématiques. Le monde mathématique est vaste, et nous en avons parcouru de nombreuses provinces. Nous avons dû en négliger bien d'autres, qui ne sont pas moins riches. J'espère cependant que cet article donne une idée acceptable des mathématiques actuelles. L'impression qui s'en dégage est peut être que, bien que les mathématiques modernes soient plus spécialisées que leurs ancêtres, les divers chapitres des mathématiques sont loin d'être indépendants. Ils se rendent de mutuels services, et les plus grandes découvertes sont souvent le fait de chercheurs, à l'intelligence non artificielle, qui ont su reconnaître des connexions entre des domaines en apparence très éloignés.

Mais je suis moi-même spécialisé, et je n'ai pu rédiger cet article qu'avec l'aide de plusieurs camarades : J.P. Bertrandias, Ph. Ciarlet, B. Gaveau, G. Looss, F. Laudenbach, B. Mandelbrot, C. Marle, J.F. Mela, M. Mendès-France, J.C. Simon, R. Vallée. Je les remercie de leur collaboration, ainsi que J. Couot, qui a complété sur certains points mon information.

LA RECHERCHE EN SCIENCES MÉCANIQUES

PAR JACQUES BOUTTES (52)
INGÉNIEUR EN CHEF DE L'ARMEMENT
DIRECTEUR POUR LES APPLICATIONS AÉRONAUTIQUES
ET SPATIALES A L'ONERA
PROFESSEUR A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Les sciences mécaniques sont à la base du développement de nombreuses industries, et leur évolution en France préoccupe les pouvoirs publics ; c'est la raison pour laquelle le Président de la République a récemment demandé à l'Académie des Sciences un rapport sur les forces et les faiblesses de la France dans ce domaine. Il ne saurait être question, dans cet article, de résumer ce livre très volumineux et très documenté, mais plutôt, partant de quelques-unes de ces informations, d'indiquer ce que l'on entend par Sciences Mécaniques, puis de présenter les raisons pour lesquelles la recherche est nécessaire en Mécanique, de donner quelques exemples de recherches de base, enfin de montrer comment les X participent et participeront à cet effort scientifique et technique.

I LES SCIENCES MÉCANIQUES

Pour beaucoup d'entre nous, le mot « mécanique » évoque des machines et des mécanismes variés, tels que les moteurs d'automobiles, les trains d'engrenage, etc. En fait, les Sciences Mécaniques veulent couvrir un domaine beaucoup plus large : il s'agit à la fois de la statique, de la dynamique des corps soli-

des ou élastiques, du comportement des matériaux soumis à des sollicitations variées, du mouvement de fluides froids ou chauds, monophasiques ou multiphasiques (ce terme savant caractérise en particulier les émulsions), avec ou sans transformations physicochimiques et tous les problèmes thermiques ou thermodynamiques. D'une manière générale, les Sciences Mécaniques ont pour objet la compréhension des phénomènes physiques concernant la matière *vue à l'échelle macroscopique*.

Le terme « macroscopique » mérite une explication. Il s'oppose, d'une certaine manière, au terme « microscopique », échelle de la matière considérée par les Sciences Physiques. Une branche tout à fait essentielle de la Physique s'est, en effet, orientée vers la compréhension de la structure fine de la matière, laquelle est constituée de particules élémentaires de natures variées et apparaît, à l'échelle microscopique, comme un milieu discontinu ; cette méthode d'analyse du milieu matériel a orienté de nombreuses recherches, dont les résultats ont eu des conséquences pratiques considérables. De leur côté, les Sciences Mécaniques visent à la compréhension du comportement de la matière, considérée comme un ensemble de particules, de dimensions suffisamment petites par rap-

port à l'échelle générale de la chose observée, pour être assimilées à un infiniment petit mathématique ; la taille de ces particules est, cependant, suffisamment grande par rapport aux particules élémentaires de la physique, pour que les grandeurs caractéristiques des éléments macroscopiques soient des moyennes statistiques des variables attachées à chaque élément microscopique. Cette représentation de la matière comporte plusieurs avantages par rapport à la représentation microscopique, avec laquelle elle doit bien entendu être cohérente.

a) Les variables caractérisant les éléments macroscopiques, qui ont été introduites bien avant le développement de la physique microscopique telle que la pression, la vitesse, etc., sont mesurables avec des moyens relativement simples et traduisent finalement, de manière synthétique, des aspects sensibles à l'observateur que je qualifierai de banal.

b) Le milieu peut être considéré comme continu, presque partout. De ce fait, les méthodes mathématiques correspondantes et les méthodes numériques qui leur sont associées, conviennent pour analyser et exploiter une représentation des phénomènes physiques, que l'on appelle maintenant d'un vocable emprunté à la langue anglaise, le « modèle mathématique ».

c) Ce « modèle mathématique » macroscopique a le gros avantage, par rapport au modèle microscopique, de conduire à des concepts relativement simples, en tout cas, actuellement utilisables pour le plus grand nombre de phénomènes observables ; on pourrait, en effet, imaginer que l'on traite sur des ordinateurs supergéants des écoulements de gaz continu dans des canalisations en utilisant la représentation microscopique : outre la complexité des calculs, il faudrait interpréter les résultats en termes pratiques (perte de charge, turbulence, etc.) ce qui imposerait de faire les moyennes de caractéristiques des particules élémentaires indiquées plus haut : l'approche macroscopique des Sciences Mécaniques vise à faire plus directement cette synthèse en s'appuyant éventuellement sur l'expérience pour définir les lois phénoménologiques nécessaires.

d) Cette approche macroscopique, bien connue dans le cas de la Mécanique des milieux continus, tend à se généraliser, en prenant des éléments d'échelles variées de manière à pouvoir évaluer l'évolution des caractéristiques en nombre limité de distributions des variables aléatoires caractérisant l'état. C'est ce que l'on essaie de faire dans le domaine des écoulements turbulents de fluide, qui se caractérisent, à l'échelle macroscopique classique, par une variation aléatoire de la vitesse, dont il faut estimer les conséquences pratiques et dont il faut prévoir l'évolution.

Les Sciences Mécaniques regroupent donc l'analyse macroscopique

du mouvement ou de l'évolution de la matière, et se trouvent donc assez directement en prise avec les applications qui sont observables à l'échelle de l'homme (transports automobile, maritime, aérien ; bâtiments ; ponts et chaussées, météorologie, etc.). Il importe que les liens entre les Sciences Mécaniques et la Physique soient aussi étroits que possible ; nous verrons plus loin que ces interactions sont, en effet, souvent très enrichissantes pour les uns et les autres, et très profitables aux progrès des techniques.

2

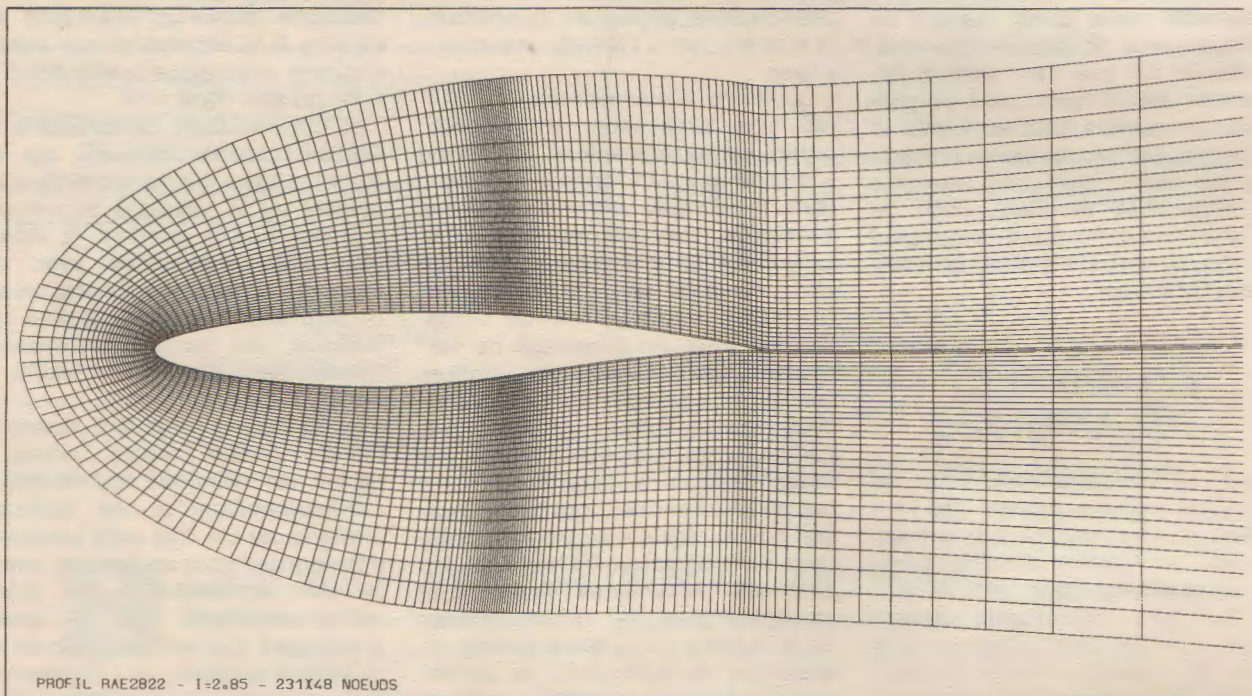
LA RECHERCHE EN MÉCANIQUE

Les Sciences Mécaniques ont fourni, depuis plusieurs siècles, les « modèles » nécessaires aux réalisateurs pour définir leurs produits en fonction du cahier des charges qui leur était fixé. A titre d'exemple, le calcul des pertes de charges, les calculs thermodynamiques des cycles des moteurs, la détermination de la forme des voilures d'avions, se font dans une première étape, à partir de ces « modèles » qui peuvent être parfaitement empiriques et résulter de nombreuses expériences, ou, et c'est de plus en plus le cas, ressortent directement de l'approche scientifique. Or, en raison du progrès scientifique, de la mondialisation des échanges de produits techniques, et du développement de l'informatique, les industriels souhaitent disposer de moyens d'établisse-

ment de projets ou d'avant-projets de plus en plus précis, d'un emploi aussi commode que possible, leur permettant de réaliser des produits économiquement valables et en avance sur ceux de leurs concurrents. Cette demande est spécialement forte dans les industries de haute technologie (aéronautique, espace, etc.), mais elle s'accroît dans les autres industries, en raison notamment de l'augmentation du coût de l'énergie et des matières premières.

Par ailleurs, la recherche dans les Sciences Mécaniques profite très largement des progrès effectués en informatique, en électronique, en automatique. Les progrès faits dans le domaine de l'informatique durant ces dernières années sont considérables et ont conduit à la réalisation d'ordinateurs de plus en plus puissants : on peut dire que, dans le domaine scientifique, un ordinateur est dépassé trois ans après sa mise en service. L'ensemble de ces ordinateurs associés au développement des algorithmes définis par les mathématiciens, et des logiciels mis au point par les informaticiens, permettent d'aborder, par le calcul, des problèmes pour lesquels on ne pouvait, il y a quelques années, qu'établir les équations. Cette révolution informatique, qui n'est d'ailleurs pas terminée, conduit à des nouveaux types de recherches, nécessitant la collaboration de mathématiciens, d'informaticiens, de mécaniciens, et même de géomètres, car la discrétisation des éléments à analyser conduit à la réalisation d'un maillage macroscopique de l'espace et du

FIG. 1 : Vue partielle d'un maillage dans une méthode numérique de couplage fluide parfait - couche limite.



PROFIL RAE2822 - 1-2.85 - 231X48 NOEUDS

temps dont la conception pratique par l'ordinateur est spécialement difficile, quand les objets à étudier ont des formes aussi complexes que celles d'un avion, et que l'on souhaite avoir plusieurs milliers, voire plusieurs dizaines de milliers de mailles. Tous les laboratoires scientifiques sont impliqués dans ces recherches, mais il faut citer en France le travail tout à fait considérable fait par l'INRIA dans ce domaine.

Les progrès de l'informatique et de l'électronique ont aussi permis la réalisation d'appareils de mesures nouveaux grâce auxquels la structure fine des phénomènes peut être mesurée ; les résultats expérimentaux qui seront ainsi obtenus, seront utilisés, soit pour valider des « modèles » mathématiques extrapolés des modèles existants, soit pour servir de guide à l'élaboration de théories nouvelles. A titre d'illustration, on peut citer le développement de la vélocimétrie Laser, qui permet la mesure in situ de la vitesse instantanée des fluides, sans introduire d'obstacles matériels : ces appareils seront utilisés pour analyser la couche limite, notamment au voisinage des parois, les écoulements turbulents, les écoulements tourbillonnaires, etc.

Ils ont pu être réalisés grâce à l'existence des lasers, découverts il y a quelque vingt ans, à l'utilisation de matériel électronique et informatique rendant possible l'analyse des mesures élémentaires constituées par le passage de particules dans une grille de franges d'interférence, en vue de la mesure de la vitesse moyenne et de son écart type. Ces appareils sont utilisés au laboratoire et devraient équiper prochainement les souffleries industrielles.

Les progrès de l'électronique et de l'informatique évoqués ci-dessus, sont à la base du développement de l'automatique. Cette discipline, et les technologies qui lui sont associées, ont rendu possible le contrôle des machines dans des domaines de fonctionnement jusque là pratiquement inaccessibles. C'est ainsi que, grâce au « Contrôle Automatique Généralisé », on peut envisager d'utiliser des avions de combat volant à très forte incidence, c'est-à-dire dans des conditions telles que l'écoulement aérodynamique est complètement décollé : ce domaine de la Mécanique des fluides, jusqu'à présent peu exploré, doit, de ce fait, faire l'objet de recherches approfondies.

Dans le domaine des matériaux, des progrès considérables ont été faits, notamment grâce aux moyens d'investigation nouveaux réalisés



FIG. 2 : Soufflerie subsonique pressurisée F1 du Centre de l'ONERA à Fauga-Mauzac, près de Toulouse.

par les Physiciens (Microscope électronique, sondé électronique ou ionique, etc.). On cherche à utiliser ces matériaux nouveaux aux limites de leurs possibilités, tout en voulant assurer et garantir la sécurité des matériels. De ce fait, de nombreuses recherches sont entreprises visant à analyser, à comprendre et à prévoir le comportement de ces matériaux souvent anisotropes (matériaux composites, matériaux réfractaires de type eutectique orienté) non seulement dans le domaine élastique, mais aussi en fatigue, en fluage, en flambement et lors de leur rupture.

Enfin, l'existence de grands moyens d'essai industriels, comme le bassin d'essai des carènes, la grande soufflerie transsonique de Modane, la soufflerie subsonique pressurisée du Fauga-Mauzac, permet au chercheur une expérimentation scientifique très instrumentée dans des conditions assez proches de celles des applications. Ce patrimoine français explique au moins partiellement le niveau tout à fait remarquable de la recherche française dans certains domaines de la Mécanique.

3

QUELQUES EXEMPLES DE RECHERCHE EN MÉCANIQUE

Il ne saurait être question de décrire l'ensemble des recherches effectuées dans les Sciences Mécaniques. Quelques exemples illustrant les généralités exposées plus haut sont donnés. Ils sont choisis en mécanique des fluides, en mécanique des solides déformables, et dans le domaine des vibrations résultant d'un couplage structure-aérodynamique.

3.1. Mécanique des fluides

3.1.1. Recherches sur la turbulence

Un écoulement de fluide est dit turbulent, si la vitesse des particules macroscopiques qui le constituent varie très rapidement en fonction du temps et des variables d'espace. Le mot « turbulent » caractérise le désordre apparent qui règne dans le fluide en mouvement. La figure 3 montre la visualisation d'un jet turbulent ; on peut observer l'apparente désorganisation de l'écoulement qui règne notamment à la limite du jet. Les recherches sur la turbulence ont été entreprises depuis fort longtemps par Reynolds et Prandtl, et, jusqu'à ces dernières années, très peu de progrès avaient été enregistrés.

C'est assez récemment que les recherches ont pu reprendre très activement en raison de l'intérêt qu'elles présentent pratiquement, et des possibilités offertes dans le domaine du calcul et de l'expérimentation.

Il importe en effet de bien comprendre et donc de bien prévoir les conditions d'apparition de la turbulence : ceci a des conséquences importantes sur le coefficient de frottement et donc sur les pertes de charges, ainsi que sur le coefficient de transfert de chaleur. En outre, les écoulements tourbillonnaires autour de formes complexes sont fortement influencés par les caractéristiques de la turbulence : ceci a, bien sûr, des conséquences pratiques, notamment pour les avions de combat volant à très forte incidence.

Les recherches théoriques sur la turbulence visent à la mise au point de « modèles mathématiques », utilisables sur les ordinateurs actuels et futurs. Plusieurs voies sont explorées actuellement : l'une d'entre elles est fondée sur des méthodes

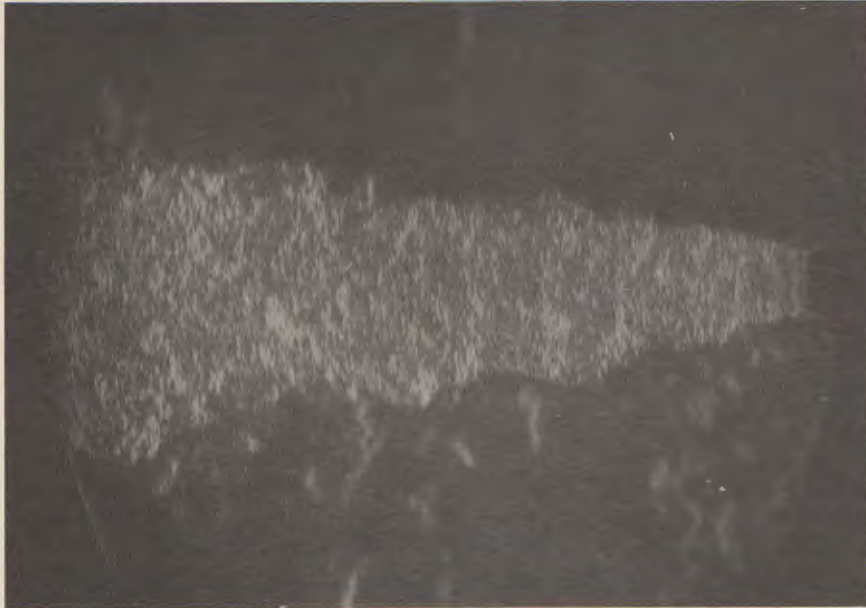


FIG. 3 : Jet turbulent.

multiéchelles, consistant à distinguer, dans l'écoulement, les grosses structures et les structures à échelle inférieure et à définir pour chacun de ces types de particules des lois d'évolution semi-empiriques. D'autres méthodes utilisent au maximum la capacité des calculateurs actuels pour résoudre les équations décrivant l'écoulement de fluide visqueux, ou équations de Navier Stokes, par des méthodes numériques appropriées (méthode de type spectral, par exemple).

Ces études théoriques sont guidées ou validées par de nombreuses recherches expérimentales : comme cela a été indiqué plus haut, le développement de moyens de mesure précis (vélocimètre LASER, fils chauds, capteurs de pression instantanée) et la possibilité de traitement rapide par ordinateur de toutes ces mesures, a augmenté considérablement les moyens d'investigation à la disposition du chercheur ; il faut ajouter à cela les méthodes de visualisation (jets colorés dans les liquides, strioscopie, etc.) qui complètent les moyens de mesure.

3.1.2. Recherches sur la combustion

La combustion dans les foyers, qu'il s'agisse de moteur fusée, de turbomoteur, ou de moteur Diesel, suscite de nombreuses recherches.

Sur le plan théorique, une bonne représentation des écoulements avec combustion nécessite un modèle convenable de la turbulence et une connaissance très approfondie des caractéristiques thermodynamiques, dans des domaines parfois peu explorés, comme celui des très hautes pressions. De nombreuses méthodes numériques sont utilisées : citons la méthode des volumes finis, qui peut être schématisée de la manière suivante : les volumes élémentaires définis par les mailles

du calcul sont considérés comme des particules macroscopiques, auxquelles on applique les équations intégrales de la Mécanique des fluides.

Parmi les domaines de recherche sur la combustion, outre les études de performances des foyers et les études de pollution, il faut citer la prévision et la caractérisation des instabilités qui peuvent régner dans un foyer. Certaines d'entre elles sont d'origine acoustique, et il faut reconnaître que leur prévention se fait essentiellement par voie empirique. Un effort tout particulier doit être fait dans ce domaine dans les années qui viennent.

Les recherches sur la combustion étaient rendues particulièrement difficiles dans le domaine de l'expérimentation, en raison notamment des hautes températures mises en jeu. Des progrès ont été faits récemment

grâce à l'utilisation de foyers de recherche en matériaux transparents, permettant des visualisations, et par la mise au point de nouveaux moyens de mesure.

C'est ainsi que se développe, à l'ONERA, un dispositif de mesure de concentration dans le gaz par diffusion RAMAN antiSTOKES cohérente (DRASC) à la résonance. Cette recherche, qui est l'œuvre d'un de nos jeunes camarades, devrait conduire à la réalisation d'un appareil, en cours d'essai au laboratoire (fig. 4), permettant l'analyse fine spatiotemporelle des gaz de combustion : la méthode est fondée sur l'excitation lumineuse par LASER dans le domaine ultraviolet, accordé en résonance avec une transition électronique moléculaire. Voici un cas où les recherches en optique non linéaire apportent une aide importante aux Sciences Mécaniques.

3.2. Mécanique du solide déformable

L'utilisation des matériaux à la limite de leur possibilité est guidée par la recherche des performances ou souvent par la nécessité technique : la réalisation des lanceurs spatiaux n'est pas compatible avec le choix de coefficients de sécurité élevés.

C'est la raison pour laquelle la recherche sur la mécanique des solides déformables en dehors du domaine élastique se développe beaucoup. Parmi les problèmes étudiés, citons la prévision du comportement en fatigue et le développement corrélatif de la propagation des fissures, la prévision du fluage, qui pour certains matériaux conduit à développer une mécanique des fluides non newtonienne, et la mécanique de la rupture. La figure 5 illustre l'utilisation des moyens d'analyse les

FIG. 4 : Analyse des produits de combustion et mesure des températures par diffusion Raman anti-Stokes cohérente (DRASC) dans un foyer de turbomachine.

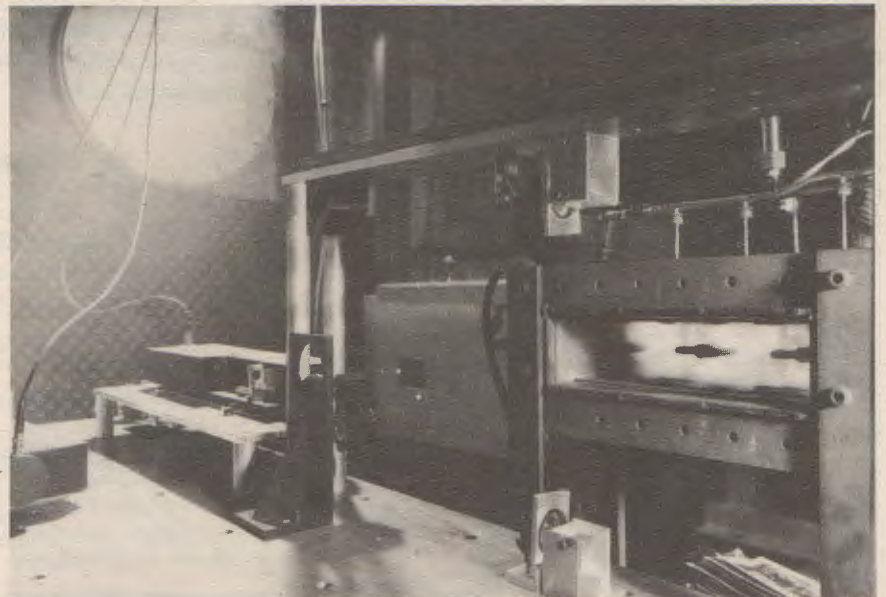




FIG. 5 : Micrographie. Microfissures se formant dans une tôle de titane au cours d'un essai de corrosion sous contrainte à 400 °C.

plus puissants pour observer le développement de fissures dans une tôle de titane. Il faut noter, dans ce domaine, un début de coopération entre les chercheurs qui abordent les problèmes par l'aspect macroscopique, et les chercheurs de la Physique des Solides qui étudient les phénomènes de dislocation.

3.3. Recherches sur les vibrations aéroélastiques

Les recherches sur le couplage entre les vibrations de structure et l'écoulement de fluide autour de ces structures se sont développées depuis plus de vingt ans. Il s'agit de définir les méthodes théoriques et expérimentales au moyen desquelles le risque de couplage divergent ou flottement peut être évalué : ce phénomène dangereux se rencontre en aéronautique, dans le domaine des moteurs (aéroélasticité des aubes de compresseur) et dans le domaine des cellules. Il existe, dans d'autres types de matériels, dès lors que l'on cherche à alléger les structures, sous des formes qui peuvent être très variées (vibrations des tabliers de ponts, des éléments d'échangeurs, etc).

Les recherches concernant ces phénomènes se poursuivent dans plusieurs directions : il faut profiter des progrès de l'informatique pour mieux prévoir les caractéristiques structurales et aérodynamiques des matériels envisagés. Un effort tout particulier doit être fait en aérodynamique transsonique sur les profils modernes donnant les meilleures performances en croisière.

D'autre part, compte tenu des progrès de l'automatique, on peut envisager par le moyen d'asservissement convenablement étudié et utilisant des gouvernes rapides, de supprimer le flottement : la figure 6 montre

un montage réalisé en soufflerie, pour essayer un tel dispositif, particulièrement intéressant dans le cas d'avions de combat équipés de charges militaires variées.

Les quelques exemples décrits ci-dessus montrent les directions générales dans lesquelles s'orientent les recherches en Mécanique :

- utilisation de plus en plus systématique de l'ordinateur, dans le domaine théorique et expérimental ;
- utilisation des moyens d'analyse expérimentale faisant appel aux techniques les plus évoluées ;
- interaction de plus en plus forte entre applications et recherche dite « recherche de base ».

Ce dernier aspect de l'orientation des recherches en Mécanique

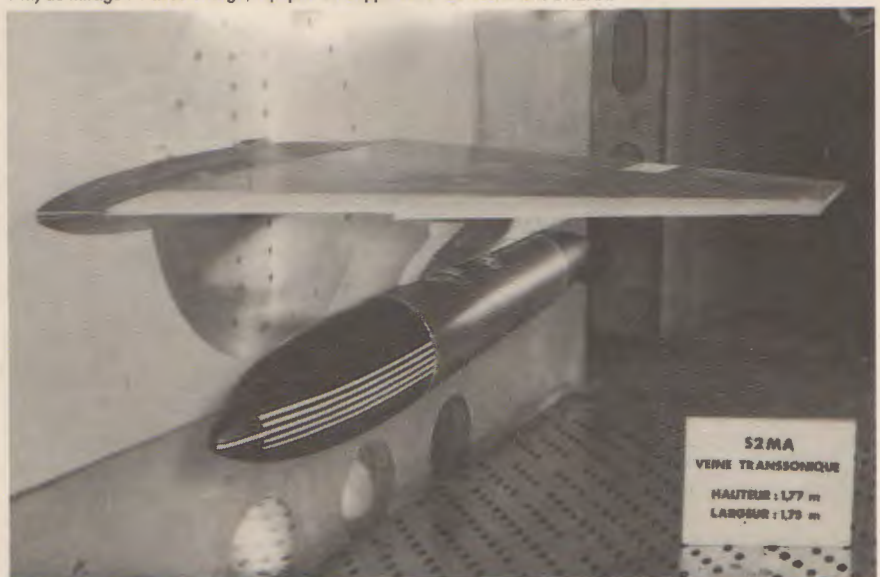
donne lieu à de nombreuses polémiques, concernant notamment la liberté du chercheur. En réalité les besoins de plus en plus pressants de l'industrie sont à l'origine de problèmes à haut niveau scientifique qu'il faut bien essayer de résoudre. L'ingénieur de l'industrie a pour principal objectif de surmonter les difficultés particulières rencontrées dans son projet, et doit prendre en compte les délais de réalisation et l'aspect économique des solutions retenues. Le chercheur placé devant ce même problème à haut niveau scientifique, doit l'analyser de manière méthodique, de façon que l'enseignement et la méthodologie issus de son travail soient adaptables et extrapolables. Le rôle du chercheur est donc et restera essentiel, dans les années à venir.

4

LES POLYTECHNICIENS ET LA RECHERCHE EN MÉCANIQUE

La recherche en Mécanique s'effectue en France dans des laboratoires de nature très variée. A côté des laboratoires du CNRS et de l'Université, parmi lesquels il faut citer les Instituts de Mécanique des Fluides mis en place, avant la guerre 1939-1945, sous l'impulsion du grand mécanicien que fut Albert Caquot, il y a les laboratoires associés aux Grandes Écoles (X, École Normale Supérieure, École Centrale de Paris et de Lyon, École des Mines de Paris, École des Ponts et Chaussées, École Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace, École Nationale Supérieure des Techniques

FIG. 6 : soufflerie S2 du Centre de Modane. Contrôle actif du flottement sur une aile au 1/3, 46 (longueur 1 m) de Mirage F1 avec charge, équipée du suppressor de flottement ONERA.



Avancées, etc). Il existe aussi de nombreux organismes spécialisés par la recherche appliquée qu'ils ont à développer (ONERA, Institut de St Louis, CEA, CNES, Bassin d'Essai des Carènes, Laboratoire du STCAN, Laboratoire des Ponts, Service des recherches de la Météorologie Nationale, Institut Français du Pétrole, CETIM, CSTB, etc.), qui sont soutenus par l'État et par des groupes d'industriels. Parmi les organismes privés, il faut citer la Société Bertin, qui a pour objectif de transférer les résultats obtenus dans les technologies de pointe vers les industries plus traditionnelles. Enfin, beaucoup d'industriels ont un service de recherche en Mécanique (Avion Marcel Dassault, SNIAS, Fratom, SNECMA, Renault, etc.). Cette énumération des laboratoires français qui sont impliqués dans la recherche en Mécanique est certainement très incomplète, et je m'excuse à l'avance auprès de ceux que j'ai oubliés ici. L'importance numérique des grands établissements spécialisés montre l'association très étroite qui existe en Mécanique entre application industrielle, recherche appliquée et recherche plus fondamentale.

La présence des Polytechniciens est très variable d'un laboratoire à l'autre. Elle est particulièrement forte dans certains établissements de recherche appliquée (CEA, ONERA, CNES, Météorologie Nationale, Institut St Louis, IFP, etc.). Globalement, elle paraît être à un niveau convena-

ble : l'École Polytechnique fournirait 2,5 % des ingénieurs ayant des fonctions de bureau d'études de recherche en Mécanique. Ce chiffre est un peu faible, quand on le compare à ceux des autres Grandes Écoles. Cependant, la tendance observable dans les dernières promotions montre que les jeunes X sont de plus en plus attirés par les carrières techniques ou de recherche en Mécanique. C'est ce qui résulte d'une analyse rapide des feuilles jaunes de l'Annuaire, qui montre que 40 % des Polytechniciens actuellement dans les organismes de recherches en Mécanique appartiennent aux quinze dernières promotions.

Cette tendance est encourageante. Il sera nécessaire de la maintenir. En effet, comme cela a été indiqué plus haut, l'imbrication de la recherche et de l'industrie sera de plus en plus forte. Il suffit pour s'en convaincre d'observer le développement de la conception et de la fabrication assistées par ordinateur. L'Industrie ne pourra rester compétitive que si elle peut, rapidement, intégrer dans ses produits les derniers résultats de la recherche, et réciproquement le chercheur devra prévoir le bon sujet à trouver en tenant compte de l'évolution industrielle. Il faudra donc disposer d'hommes ayant reçu un enseignement de haut niveau scientifique, capable d'adaptation et de synthèse des différentes disciplines scientifiques et économiques. La formation donnée à l'École Polytechnique et dans les Écoles d'Ap-

plication devrait pouvoir s'adapter à cette mission.

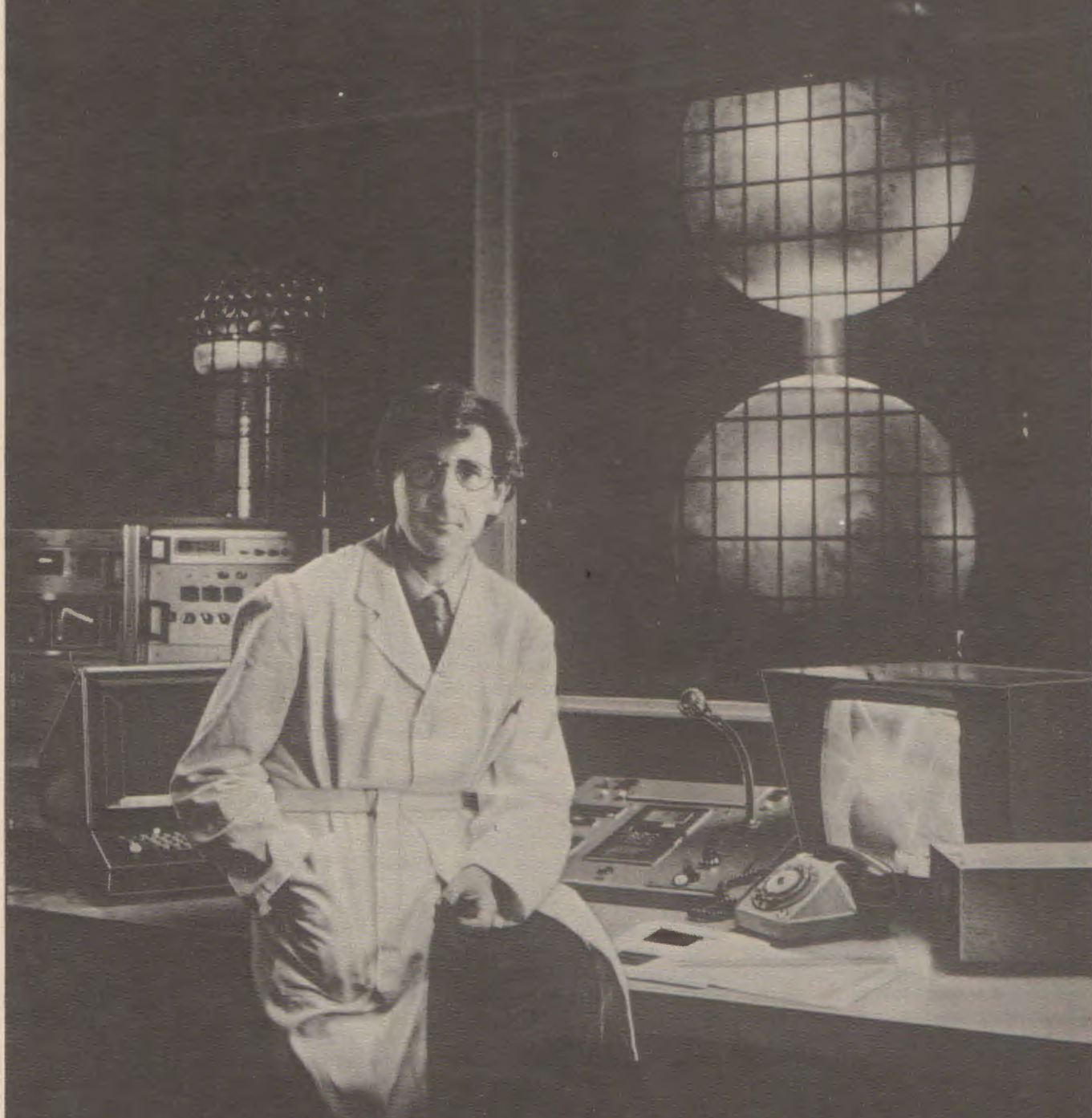
5 CONCLUSION

La recherche dans les Sciences Mécaniques se développe en utilisant les progrès de l'informatique, de l'électronique, de l'automatique et des matériaux. Les moyens mis à la disposition du chercheur en Mécanique sont, de ce fait, de plus en plus puissants. Les Polytechniciens prennent une part active à cette recherche de base, qui me paraît être en France à un niveau tout à fait convenable, quand on le compare aux autres disciplines scientifiques.

Ce qui caractérise notre époque résulte des interactions de plus en plus fortes entre la recherche et l'industrie. Il est donc nécessaire que les hommes impliqués dans les technologies à haut niveau scientifique, qui s'étendent peu à peu au monde industriel, soient des hommes de synthèse capables de dialoguer et donc de comprendre, les chefs de projets de l'industrie, comme les chercheurs les plus spécialisés. Ces hommes devront avoir l'esprit critique et le bon sens physique suffisamment développés, pour apprécier le résultat sortant de l'ordinateur qu'il soit théorique ou expérimental. Voici, me semble-t-il, les qualités qu'il faudra développer chez les jeunes Polytechniciens qui devront jouer un rôle essentiel dans le futur des Sciences Mécaniques.

HALL D'ESSAIS A TRÈS HAUTE TENSION AU LABORATOIRE DES RENARDIÈRES.

NOUS RECRÉONS LA FOUDRE POUR ÉPROUVER LE MATÉRIEL.



Transformateurs, pylônes, lignes et câbles, tous les matériels électriques doivent être faciles à entretenir, économes en énergie et surtout très résistants. Un transformateur doit, par exemple, résister aux décharges électriques des orages les plus violents.

ELECTRICITE DE FRANCE 

Des hommes au service de notre avenir.

LA PHYSIQUE NUCLÉAIRE ET LA PHYSIQUE DES PARTICULES

PAR LOUIS MICHEL (43)

PHYSICIEN - PROFESSEUR À L'INSTITUT DES HAUTES ÉTUDES SCIENTIFIQUES
MEMBRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

La partie de la physique qu'il m'a été demandé de présenter débute il y a cinquante ans exactement. Les deux grands domaines de la physique : la gravitation et l'électrodynamique étaient alors les seuls que les physiciens connaissaient. Ils donnent presque tous les effets à notre échelle et à celle de l'Univers : mécanique céleste et pesanteur d'une part ; et d'autre part, électromagnétisme dont les ondes sont : la lumière, les ondes radios, les rayons X et γ etc., et qui explique la structure de l'atome et par conséquent les propriétés physiques et chimiques des corps. En effet, les quanta (graviton et photons) de ces deux interactions sont de masse nulle et les forces correspondantes ont une portée infinie (leur potentiel statique est en $1/r$). On essaye depuis dix ans de détecter les ondes gravitationnelles. On a acquis récemment la certitude qu'un système binaire d'étoiles à neutrons en émettait.

Rappelons que deux grandes évolutions en physique avaient déjà eu lieu au XX^e siècle : la relativité d'Einstein (restreinte en 1905, puis générale en 1916) et la mécanique quantique (1925). Elles fournissaient une nouvelle base à la physique ;

elle en sont toujours une partie intégrante. Que de mystères éclaircis dans les quelques années 1925-1930 (ortho et para hélium, structure fine des spectres atomiques, liaison chimique covalente, interaction lumière-matière etc.). Il y avait encore des problèmes pour comprendre tous les effets de la radio-activité découverte en 1896. Mais on avait l'impression (très fidèlement reflétée dans les livres de l'époque) que l'on saurait bientôt construire tout l'Univers à partir de trois particules élémentaires : le proton (de charge électrique $+e$, de masse m_p , de spin $1/2$), l'électron (de charge électrique $-e$, très léger : $m_e/m_p = 1/1841, \dots$ de spin $1/2$), le photon (électriquement neutre, de masse nulle, de spin 1).

En 1930, l'expérience de F. Rasetti (*Zeitschrift für Physik* 61 (1930) 598) établissait que : le noyau d'azote 14 satisfaisait la statistique de Bose et avait spin 1. Le magnifique édifice s'écroulait complètement. Il faut lire N. Bohr, Dirac, Heisenberg, Pauli, Fermi, etc., ! Bien sûr beaucoup de physiciens – et probablement tous les polytechniciens – ne s'aperçurent de rien ! Ce sont les périodes de reconstruction suivant

les grandes catastrophes qui sont les plus passionnantes à vivre pour les physiciens ! Celle qui commença en 1931 vient d'ailleurs d'aboutir ces dernières années à la troisième grande révolution de ce siècle.

En 1931, au congrès de la société américaine de physique à Pasadena, W. Pauli inventa le neutrino (pas de texte écrit). C'est le sujet de son cours à l'école d'été qui suivit à Ann Arbor (quelques copies subsistent). Le neutrino est chargé d'assurer la conservation de l'énergie et de toutes les autres lois apparemment violées. Il est neutre, sans masse, de spin $1/2$. Il ne sera observé que 26 ans plus tard ! Pourtant nous en recevons 10^{11} par seconde et cm^2 du soleil et tous, moins un, en moyenne, traversent la terre entière sans la moindre interaction. La même année, Dirac inventa l'antimatière (*Proc. Roy. Soc. A* 130 (1931) 60) dans un article prophétique dont l'introduction commence ainsi : « Le progrès continu de la physique requiert, pour sa formulation théorique, des mathématiques de plus en plus avancées, (...) non pas de plus en plus compliquées, (...) mais changeant continuellement leurs fondations et de plus en plus abstraites ».

Et cette introduction se termine en prédisant l'existence de l'anti-électron (on dit maintenant positron e^+) et de l'anti-proton et en donnant leurs principales propriétés. L'anti-proton ne fut découvert qu'en 1956 (vingt cinq ans plus tard) à Berkeley. Le positron fut découvert dès l'année suivante, dans les rayons cosmiques par Anderson en Californie. Mais très vite Blackett et Occhialini, les Joliot-Curie en France et beaucoup d'autres virent la production de paires e^+e^- par des photons γ comme Dirac l'avait prédit. La même année 1932, le neutron était découvert par Chadwick en Angleterre. Les noyaux atomiques étaient donc constitués de protons et neutrons et la physique nucléaire commençait avec les travaux de Hasenbergh, Paul, Wigner, Bartlett, Majorana, Bethe, Gamow, Peierls, ..., sans oublier N. Bohr. Les forces nucléaires étaient intenses, mais leur potentiel statique est à courte portée $\sim e^{-r/\mu} / r$ où μ est la masse du méson, le quanta des forces nucléaires prédit par Yukawa en 1935 (la longueur $\hbar/\mu c = 10^{-13}$ cm et fixe la taille des noyaux ; $2\pi\hbar =$ constante de Planck, $c =$ vitesse de la lumière). En 1934, Fermi donne une théorie raisonnable de la radio-activité β . Les forces correspondantes (dites faibles ou de Fermi) sont bien plus faibles et de portée bien plus petite. Première confirmation expérimentale de la radio-activité artificielle par les Joliot-Curie la même année. Bilan de ces trois ans : le nombre des interactions fondamentales a doublé (passant de 2 à 4) et le nombre de particules a triplé. C'est sur ce schéma là, que nous allons vivre jusqu'en 1964, avec le même nombre d'interactions fondamentales, mais plus d'une centaine de particules dites élémentaires. Faut-il rappeler quelques péripéties de cette période ?

Fermi et son équipe créent la physique des neutrons lents. Hahn et Strassmann découvrent la fission de l'Uranium. En février 1939, plusieurs équipes – dont en France celle de Joliot, Halban, Kowarski et Perrin – montrent que dans la fission, il y a plus de neutrons émis qu'absorbés, d'où la possibilité d'une réaction en chaîne (Bohr et Wheeler prédisent le rôle essentiel de l'isotope U 235). Le premier réacteur nucléaire est construit par Fermi ; les bombes nucléaires ; la possibilité de l'énergie nucléaire... (Les bénéfices des brevets de l'équipe française ont permis de créer un grand nombre de bourses pour ces jeunes scientifiques). Tout cela avant qu'on trouve enfin dans les rayons cosmiques (Powell, Occhialini, 1947) et le grand accéléra-

teur de Berkeley, des mésons π les quanta des forces nucléaires prédits en 1935. Il y avait eu juste avant guerre, une erreur d'identification avec le lepton μ des rayonnements cosmiques. Dès 1950, Fermi produit à Chicago des particules non prévues par les théoriciens (les Δ de vie moyenne $\sim 10^{-23}$ secondes) ; puis l'on trouve de plus en plus de particules inattendues (parfois appelées « étranges »). En 1960, on établit même qu'il y a deux espèces de neutrinos le ν_e allié à l'électron et le ν_μ allié au lepton μ .

Appelons C la transformation de la matière en antimatière, et vice-versa, dans les équations de la physique. Évidemment $C^2 \equiv I$ (l'identité). Nous vivons dans un environnement asymétrique par rapport à C (c'est-à-dire entourés de matière et non d'antimatière) mais le propre du physicien depuis Newton a été de savoir s'abstraire de son environnement pour trouver la symétrie des lois de la Nature. Il fallut plus de dix ans après l'article de Dirac de 1931 pour comprendre que C était une symétrie des lois de la physique d'alors.

En 1927, puis 1932, Wigner avait successivement étendu à la mécanique quantique l'invariance des lois physiques par rapport à l'inversion des coordonnées d'espace $x \rightarrow -x$ et de la variable temps $t \rightarrow -t$ dans les équations de la physique (en rajoutant une conjugaison complexe dans les équations de Schrödinger et Dirac). On appelle P la première opération et T la seconde. Notons que $P^2 = 1 = T^2$. L'invariance par rapport à P signifie que les lois de la physique ne permettent pas de distinguer entre la droite et la gauche, contrairement peut-être à ce que l'on vous a appris au lycée avec le bonhomme d'Ampère, le tire-bouchon de Maxwell, (et on ne vous a pas détrompé à l'X!). T change le signe des vitesses : par exemple si vous renversez la vitesse d'une planète à un instant donné, c'est encore un mouvement possible : la trajectoire reste la même. Mais elle est parcourue en sens inverse, comme si la planète remontait dans le temps. Mais c'est bien improprement que nous appelons T, dans notre jargon, la symétrie par l'inversion du temps.

En janvier 1957, peu après la prédiction de Lee et Yang, on découvre que les symétries P et C étaient violées. Cependant le produit PC restait conservé. Mais en 1964, Cronin et Fitch (prix Nobel 1980) découvrirent, dans certains phénomènes rares (désintégration du K_s), que PC était

violé. Heureusement T n'était aussi de telle sorte que le produit PCT était conservé. Si cette invariance – fort abstraite, j'en conviens – n'était pas respectée, alors tout l'édifice actuel de la physique s'écroulerait (Rassurez-vous, les physiciens seraient vite à l'ouvrage pour le réparer !).

En 1964, Gell-Mann et indépendamment Zweig inventaient les quarks ; constituants ultimes de la matière ? (il y en a trois dans le proton, et trois dans le neutron et les quelques trois cents particules connues sont toutes constituées de quarks et d'anti quarks à l'exception des leptons et du photon. Molécules, Atomes, noyaux, nucléons, quarks.... De quoi seront faits les quarks ? Est-ce comme ces poupées russes emboîtées ? J'espère bien que non ! La majorité des physiciens pensent qu'on arrachera jamais un quark ou un anti-quark d'un nucléon ou d'un méson. Les quarks semblaient satisfaire la mauvaise statistique. En fait, ils ont un degré de liberté de plus, à 3 valeurs, (Nambu, Greenberg), que par facétie, on a appelé la couleur. Les trois couleurs jouent à tel point un rôle identique que le groupe unitaire $U(3)$ qui les transforme est une symétrie fondamentale de la chromodynamique, cette interaction qui régit les quarks et dont les quanta sont les 8 gluons qui avec le photon γ , correspondent aux 9 paramètres de $U(3)$ et comme γ , les gluons ont spin 1, masse nulle. Mais ils sont « colorés ». Les équations de la chromodynamique ? Comme celles de l'électrodynamique : Dirac pour les quarks, Maxwell pour les gluons avec cette différence que le groupe de jauge au lieu d'être $U(1)$ (groupe commutatif) est $U(3)$ pour régir la couleur. Cette simple généralisation (l'invariance de jauge requiert un terme supplémentaire non linéaire dans l'équation de Maxwell) fait toute la différence : les forces de la chromodynamique confinent les quarks et leur quanta à l'intérieur des nucléons et mésons qu'ils constituent et on ne les en sortira jamais. Les forces nucléaires entre nucléons ? C'est la chimie de la chromodynamique ! Plus précisément ces forces sont à la chromodynamique, ce que les interactions chimiques sont à l'électrodynamique (qui régit la constitution des atomes).

Mais la révolution actuelle est bien plus grande encore ! La nature est pleine de symétries approchées. Remarquez que des problèmes symétriques ont souvent des solutions de symétrie approchée, par exemple les trois atomes d'oxygène de la molécule d'ozone ne forment pas en moyenne un triangle équilatéral,

*) groupe des matrices 2×3 unitaires

mais un triangle isocèle d'angle au sommet $58^{\circ}30'$ (bien près de 60°). Les physiciens se sont de plus en plus posé la question inverse. Je vais l'expliquer par une image : supposons que les électrons d'un morceau de cuivre soient intelligents et intéressés par la physique. Ils ont remarqué que leur monde est triplement périodique. Fascinés par les symétries, ils ont même déterminé lequel des 230 groupes cristallographiques est celui du cuivre ; c'est pour eux le groupe G de symétrie de leur univers. Il leur a fallu faire preuve de pas mal d'abstraction pour trouver cette symétrie car il y a des dislocations locales, leur univers est borné, etc. Résultat, ils connaissent bien le réseau cristallin de leur univers et ses directions privilégiées. Mais seraient-ils assez intelligents pour trouver que les interactions entre les atomes de cuivre sont invariantes par toutes les translations et les rotations (ce qui forme le groupe d'invariance E de la géométrie euclidienne). G n'est qu'un sous-groupe de E. Les électrons physiciens découvriraient-ils la symétrie cachée E des lois de la physique ?

Les hommes, eux, ont commencé de le faire il y a dix ans. Une partie de cette symétrie cachée a été trouvée. Nous cherchons actuellement à l'agrandir pour englober toute la physique connue. Revenons au début de la physique nucléaire. Les « forces faibles » responsables de la radio-activité β sont à très courte portée car leurs quanta sont très lourds ; il leur en faut au moins trois *) W^{\pm} , Z^0 (aussi lourds qu'un atome de molybdène par exemple). Nous avons vu de plus qu'elles violent P et C. Quelle grande disymétrie entre les interactions électromagnétiques et faibles ! A la suite d'une longue chaîne de travaux dont les plus importants furent ceux de Glashow (1962), Salam et Ward (1964), Weinberg (1967), t'Hooft (1972), (trois de ces cinq ont eu le prix Nobel 1979), on a maintenant une excellente théorie, identique à l'électrodynamique et à la chromodynamique, la seule différence étant le groupe de jauge : U(2), cette dernière symétrie des lois de la physique n'étant jamais réalisée dans notre univers.

Évidemment ce succès a donné une très grande ardeur aux physiciens pour élargir cette unification aux forces nucléaires et même, pourquoi pas, à la gravitation. Nous espérons y arriver en découvrant la grande et belle symétrie cachée qui doit rassembler toutes les interactions. Quitte d'ailleurs à ce que cette symétrie requière, pour être implémentée dans la théorie physique, des concepts plus généraux et ré-

cents que celui de groupe ! Les « super-symétries » transforment bosons en fermions et vice-versa ! On sait déjà que cela doit se faire à un certain prix ; les protons seraient instables (les électrons e_{\pm} restent les seules particules massives stables !) On a même un ordre de grandeur de leur vie moyenne $10^{32\pm 2}$ années. L'âge de l'univers étant moins de $2 \cdot 10^{10}$ années ; c'est bien long. Chacun de nous a peu de chance de voir un de ses protons se désintégrer spontanément durant sa vie entière ! Mais dans le monde entier, des physiciens essaient d'entreprendre des expériences difficiles (et coûteuses) pour savoir comment le proton se désintègre.

Quel a été, quel est actuellement le rôle des X dans l'évolution de cette partie de la physique depuis 1931 ?

Jean Ullmo (24) traduit en français, dès sa parution, le livre fondamental de Dirac « Mécanique quantique ». Ullmo travailla peu lui-même en physique mais il eut une excellente influence sur les X : il a été un des premiers à avoir organisé un séminaire scientifique à l'École pour les Élèves. Parmi le personnel enseignant j'ai aussi connu Tessier du Cros (24) et J. Winter (25) qui furent des apôtres de la mécanique quantique auprès des élèves bien avant qu'elle ne rentre dans l'enseignement de l'École.

Mais pour se restreindre à la physique nucléaire ou des particules, le grand événement dans le milieu polytechnicien fut la création par Louis Leprince-Ringuet (20N), dès sa nomination dès 1936 comme professeur dans l'une des deux chaires de physique à l'École, d'un laboratoire de recherche qui devait très vite devenir de réputation internationale. De nombreuses vocations scientifiques (plus d'une cinquantaine) y sont apparues parmi les élèves. La physique expérimentale des particules fondamentales, faite d'abord en étudiant les rayons cosmiques puis auprès des grands accélérateurs de particules, est certainement en France celle où les X sont en plus forte proportion. B. Grégory (38) mort prématurément il y a trois ans, avait succédé à la direction du laboratoire. Il fut aussi directeur du C.E.R.N. (Centre Européen de la Re-

cherche Nucléaire) à Genève. Issu de ce laboratoire, je veux aussi mentionner Lagarrigue (44) mort à moins de cinquante ans. Il conçut Gargamelle, la grande chambre à bulle à liquide lourd, dont il dirigea la construction puis les premières expériences au C.E.R.N. dans le faisceau de neutrinos. On y découvrit les courants neutres faibles, première vérification de la théorie de S. Weinberg citée plus haut. Quelques X étaient venus à la physique nucléaire expérimentale en dehors de l'influence du labo de l'École (chez Joliot par exemple). D'autres ont construit avec succès, en France ou dans les laboratoires européens, ces outils indispensables que sont les grands accélérateurs (Lapostolle (41), Beurtey (53), Rebut (55)). Bien sûr de nombreux X furent attirés par la théorie (Quel dommage que le centre de physique théorique de l'X n'ait pas été créé plus tôt pour faire pendant au labo expérimental). Pour ne citer que les promotions qui se trouvaient ensemble à l'École à la fin de la guerre (1945-1946), on trouve parmi les théoriciens deux professeurs d'Université, J. Friedel (42) (voir son article dans ce numéro) et B. d'Espagnat (42) dont il faut lire le dernier livre « A la recherche du réel », et quatre grands directeurs du C.E.A. : J. Horowitz (41), directeur de la physique, A. Messiah (40) auteur d'un des manuels de mécanique quantique les plus utilisés dans le monde, M. Trochérus (42), directeur des plasmas ; Claude Bloch (42) était directeur du service de physique théorique quand il mourut à 48 ans. Ses œuvres principales ont été réunies en deux gros volumes, ce qui est un excellent hommage à leur qualité.

Les X ont joué un grand rôle en France dans l'utilisation de l'énergie nucléaire. J. Horowitz (42), spécialiste des réacteurs, a écrit un article dans le numéro correspondant de la Jaune et la Rouge. C. Fréjacques (43), séparation des isotopes, écrit dans ce numéro comme délégué général de la Recherche Scientifique et Technique et Dautray (49) serait le plus compétent pour traiter des applications militaires.

Revenons à la recherche fondamentale dans cette branche de la physique. C'est plus d'une centaine d'X qui y ont fait ou y font activement de la recherche (qu'ils m'excusent de ne pas les nommer tous, surtout les plus jeunes). Ces X ont essaimé partout : dans deux labos à l'École, au CEA, à l'université, au CNRS, au CERN. L'annuaire ne permet pas de les récupérer tous, mais jetez-y un coup d'œil et comparez avec un annuaire d'il y a trente ans !

*) Nous sommes si sûrs de l'existence et des propriétés de ces bosons non encore observés, qu'on projette de construire sous le Jura, près de Genève, un grand accélérateur de 30 km de circonférence !

Tous ces X ont travaillé dans les grandes universités ou les grands centres étrangers. Réciproquement, les physiciens étrangers viennent régulièrement travailler dans les deux labos de l'X (physique des particules et physique théorique) consacrés à ces problèmes.

Oui, l'École Polytechnique est connue dans ce domaine de la physique. D'excellents travaux ont été faits et sont faits par des X. Je n'ai pas ici à établir un palmarès. Il faut cependant reconnaître que depuis cinquante ans, dans ce domaine de la physique, aucun X n'y a atteint une place immortelle, ni même le prix Nobel (il y en a pourtant quelques-uns en France).

Pour faire un bilan, il faut avoir le courage de se poser la question : l'X suscite-t-elle plus de vocations scientifiques qu'elle n'en détourne ? La réponse n'est pas évidente. Je ne la connais pas. Ce qui est certain,

c'est que depuis la guerre il y a eu un bel essor scientifique à l'École. Va-t-il continuer ? Cela demandera beaucoup d'efforts. Or, on sent à l'École un certain malaise. Il y aurait des réformes évidentes à faire. J'en ai parlé récemment dans la seule allocution que j'ai eu l'occasion de faire à l'X (merci aux organisateurs de cette occasion) mais la Jaune et la Rouge a décidé de ne pas la publier.

Une question me préoccupe : des jeunes X vont-ils continuer à s'essayer à la recherche scientifique ? Leur nombre semble diminuer actuellement. La recherche scientifique dans ce domaine de la physique en pleine révolution est extrêmement compétitive et elle n'est pas aussi facile d'accès que pourraient le croire de nombreux antiques. C'est un challenge exaltant pour nos jeunes camarades. Il faut aider ceux qui veulent l'affronter.

LES X ET LA PHYSIQUE DES SOLIDES

PAR JACQUES FRIEDEL (42)
DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES
PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ PARIS-SUD



LA PHYSIQUE DES SOLIDES EN FRANCE

Armes et outils de pierre, de bronze, de fer ; habitations de pierre, de bois ou de brique ; développement des textiles, des céramiques, du verre... L'intérêt pour les solides a en nous des racines profondes ; et les progrès techniques dans l'emploi de ces divers matériaux ont peu à peu modelé nos modes de vie.

Le 19^e siècle voit cette maîtrise s'affiner par une compréhension de la chimie, nécessaire à la production de ces matériaux, et de la mécanique pour leur mise en forme et leur mise en œuvre. Parallèlement, leurs propriétés acoustiques et électromagnétiques et les éléments de leurs structures cristallines, avec leurs caractères de symétrie, constituent le premier intérêt des physiciens pour un domaine immense et complexe où, parmi bien d'autres, dominent les noms d'Ampère, de Fresnel, d'Haüy, de Bravais et des frères Curie.

A ce stade, les solides sont caractérisés par quelques constantes « phénoménologiques » qui décrivent leurs réactions macroscopiques à de petites excitations extérieures. Mais dès le développement de la

physique moderne, au tournant du siècle, les solides sont impliqués dans des expériences décisives — quanta par le rayonnement du corps noir et la photoémission, mécanique ondulatoire par la diffraction des électrons et des rayons X par les cristaux. Et, dès les années 1930, la compréhension des solides à l'échelle microscopique de l'atome et de l'électron se développe en parallèle avec celles des domaines plus « simples » de la physique atomique et de la physique nucléaire. De cette époque datent en particulier les travaux fondamentaux de Léon Brillouin, que sa position au Collège de France comme son caractère ont malheureusement empêché de faire vraiment école.

Mais c'est vraiment juste avant et juste après la dernière guerre qu'un corps de connaissances générales et d'approximations simples mais efficaces s'est développé pour décrire cet aspect microscopique des solides « les plus solides », si je puis dire, c'est-à-dire les cristaux métalliques, covalents et ioniques. Dans ces solides les plus stables, l'intérêt s'est porté sur les propriétés du *cristal parfait*, avec ses atomes rangés de façon triplement périodique dans l'espace, vibrant sous l'effet de la température ou même, au OK, sous l'effet de l'énergie de point zéro, et échangeant rapidement, par un effet quantique analogue, leurs électrons

de valence dans les liaisons chimiques. Mais on s'est aussi polarisé dès le départ sur l'étude des *défauts* de ces cristaux ; on s'est vite rendu compte que cette « pathologie » masquait souvent les comportements de bonne santé : défauts à l'échelle atomique (dits défauts « ponctuels »), qui changent la couleur des cristaux ioniques, permettent leur luminescence, durcissent les bronzes et les aciers ; défauts linéaires (« dislocations ») dont le développement sous contrainte permet la plasticité à froid des cristaux ; surfaces d'accolement entre cristaux, surface libre, qui dominent les processus d'élaboration et beaucoup des propriétés d'emploi des cristaux « réels ».

Cette double tendance est déjà présente en France dès avant et pendant la dernière guerre dans les études de magnétisme de l'école de Strasbourg (P. Weiss) et surtout les travaux de l'école de Grenoble autour de Néel qui les ont suivis. On la trouve aussi dans le laboratoire de cristallographie aux rayons X de Mauguin où, en parallèle avec des études de structures cristallines, Laval étudiait les vibrations atomiques et Guinier les rassemblements atomiques dans les alliages. On la trouve en optique où J.P. Mathieu et Chapelle étudiaient l'absorption et la diffusion par les modes optiques des vibrations tandis que le groupe de

M. Curie mettait en évidence l'électroluminescence par les défauts. Bernard, Chaudron et C. Crussard (35), affinant la tradition métallurgique de Portevin et Le Chatelier, mettaient aussi l'accent sur le rôle des surfaces, des joints et des dislocations. En fait, dès 1920, G. Friedel (1880) déterminait la symétrie des structures des phases mésomorphes des « cristaux liquides » de Lehman par l'étude de leurs défauts.

Cette même double tendance a conduit aux développements des années 50 et 60, avec la maîtrise des semiconducteurs puis des supraconducteurs, où les groupes travaillant autour d'Aigrain et de Nozières à l'École Normale Supérieure et de de Gennes à Orsay se sont notamment distingués. C'était aussi l'époque où la physique des métaux et la métallurgie étaient stimulées par une meilleure compréhension des structures électroniques et des défauts de structures cristallines, domaines particulièrement développés à Orsay et à Saclay. En parallèle, de nouveaux instruments et de nouvelles techniques se développaient, ouvrant la voie à de nouveaux domaines d'expérimentation : microscopie électronique en transmission, permettant de « voir » les dislocations ; sondes de Castaing puis de Stodtman, permettant les analyses fines et locales ; flux de neutrons des réacteurs de Saclay et de Grenoble, venant compléter les rayons X pour les analyses structurales et ouvrant la voie des structures magnétiques ; techniques de froid, pour geler les mouvements thermiques ; techniques de résonance magnétique (nucléaire et électronique), dont les développements multiformes comme sondes locales testant des situations d'équilibre ou hors d'équilibre doivent beaucoup à l'équipe d'Abraham...

Telle était la situation lors d'un premier rapport paru à l'AX il y a une quinzaine d'années. Le rapport de prospective CNRS/DGRST de 1969 sur le sujet avait le même point de départ, s'il ouvrait des perspectives nouvelles, qui se sont réalisées, dans des domaines frontières comme les surfaces ou des structures moins organisées comme les amorphes. Un nouveau rapport de prospective CNRS/DGRST qui vient de paraître confirme une assez forte évolution, comme une vitalité certaine de ce grand domaine.

On discerne actuellement, je pense, une double tendance :
- vers l'exploration de phénomènes plus extrêmes ou plus complexes.
- vers une simplification et une plus grande unité des descriptions.

Il est clair d'abord que certaines

techniques expérimentales se raffinent et s'alourdissent. L'alourdissement est évident avec le développement en France d'un centre international comme le réacteur à haut flux de neutrons de l'Institut Paul Langevin à Grenoble, l'utilisation du rayonnement synchrotron X et Ultra Violet à Orsay (Lure), les microscopes à hautes tensions, les techniques de hauts champs magnétiques, les accélérateurs pour réaliser des implantations ioniques, étudier des dommages de radiation, analyser les surfaces. Ces centres, et notamment les deux premiers, attirent de nombreux chercheurs de tous les horizons qui débordent maintenant largement de la physique des solides vers la physique moléculaire, la chimie et la biologie : un des anciens sous directeurs de l'ILL, Jacrot (47), a lui-même passé du magnétisme à la biologie, suivant en cela l'exemple de M. Guéron (54). Il y a là un puissant stimulant aux échanges de connaissances, de points de vue, de techniques. Mais le développement des techniques, c'est encore et plutôt le raffinement des techniques plus légères : l'emploi des lasers à colorant en optique ou des récepteurs à fils en rayons X, l'analyse des contrastes et la reconstruction des diffractions en microscopie électronique, l'emploi conjugué de l'ultra vide et de techniques multiples pour l'étude des surfaces, les techniques fines de très basses températures ou de hautes pressions...

La première tendance c'est aussi et surtout déborder sur des domaines voisins. Des solides cristallins on passe aux amorphes et aux polymères, puis aux liquides classiques, enfin aux structures fluides organisées : suprafluides, mais aussi cristaux liquides, micelles et détergents ; des cristaux liquides, on rapproche les structures de nombreuses textures biologiques... De la physique des surfaces, on passe à la catalyse, à l'électrochimie, à la passivation ou à la corrosion. De la plasticité des métaux, on passe à celles du diamant, des roches, des savons et du beurre... Les frontières entre les domaines classiques s'atténuent, pour donner lieu souvent à de nouveaux regroupements interdisciplinaires. Il y a donc toute une marge d'influences autour de la physique des solides stricto sensu, dans laquelle il est difficile de trancher !

La première tendance, c'est aussi naturellement toute l'ouverture vers les applications, notamment industrielles. Tant qu'elle n'a pas dominé de trop près le choix des thèmes de recherche, cette ouverture a toujours été un stimulant, une inspira-

tion et une des principales justifications pour ce vaste domaine. De ce point de vue, hors des domaines « traditionnels » de l'électronique et de la métallurgie, on peut noter un renouveau d'intérêt, d'ailleurs justifié, pour le contact avec l'amont de secteurs comme le verre, le pneu, le textile.

La seconde tendance, à la simplification, a toujours été une obligation, dans ce domaine où la plus petite parcelle macroscopique de matière contient 10^{24} particules en interactions fortes. Les modèles approximatifs développés à partir des lois de base bien connues, le langage, les concepts sont donc forcément très grossiers. Mais tout l'art du physicien des solides est de saisir les traits principaux : on lui demande une bonne caricature à la Daumier plutôt qu'un dessin d'Ingres ! Et si la tentation de la « photo » fidèle à l'ordinateur reste constante, elle est très souvent une illusion, sauf dans des domaines comme les liquides où elle permet de faire des « expériences » que nos instruments actuels nous interdisent, ou encore pour vérifier sur quelques exemples la validité de certaines approximations.

Cette tendance à la simplification est actuellement encouragée par un retour aux sources, lié à la complexité croissante des sujets abordés. On revient ainsi de façon plus systématique aux approches phénoménologiques ou classiques, qui décrivent la réalité au moyen de concepts et d'équations à l'échelle macroscopique : concepts d'ordre et de symétrie globaux dans les états d'équilibre ou les régimes permanents ; milieux effectifs, aux propriétés moyennées sur des distributions plus ou moins aléatoires ; topologie des défauts, des états d'excitation, des textures...

Dernier aspect de cette tendance, une préoccupation constante d'unité cherche à développer des langages « passepartout », à transférer des modèles ou des concepts d'un domaine à un autre.

Dans cette activité qui couvre, pour l'ensemble des phases condensées, un bon tiers de l'effort global de la physique, notre pays est raisonnablement placé dans l'effort général, avec deux pôles dans la région parisienne et à Grenoble, et un certain nombre de centres, focalisés mais actifs, dans le reste de la province. Cette activité est répartie entre les centres universitaires et CNRS, les grands organismes (notamment CEA, CNET, ONERA), les centres techniques et les laboratoires des entreprises. Plus d'un millier de chercheurs se décomptent dans la recherche à long terme menée

dans ce secteur pris au sens strict, entre le CNRS et les labos universitaires qui lui sont associés, les organismes, les centres techniques et certaines entreprises.

LE ROLE DES X

La contribution personnelle des X est sensible mais relativement modeste en volume (une cinquantaine dans les domaines assez fondamentaux). Les noms énumérés jusqu'ici montrent qu'elle est surtout assez récente. Enfin elle se concentre dans certains domaines : mécanique des solides, mécanique statistique et changements de phase, semiconducteurs et optique non linéaire, métaux et alliages, cristaux liquides et micelles. Sauf quelques points d'accumulation comme Palaiseau, le CNET et à un degré moindre Saclay et Orsay, les X sont dispersés dans les labo, et c'est fort bien ainsi. Sauf en métallurgie et au CNET, on rencontre peu d'X en province. Enfin les quelques X qui sont entrés dans l'industrie par la voie de la recherche semblent s'en être bien trouvés.

Des exemples plus personnalisés sont énumérés pour finir en nous limitant aux promos avant 65. Ils se concentrent sur les aspects récents plus fondamentaux et les travaux personnels. Ils ne constituent pas une liste exhaustive ni un tableau d'honneur. Ils passent aussi sous silence le rôle important des assez nombreux X qui, dans des positions de direction, ont ou ont eu la charge de grands laboratoires, sans participer personnellement et directement à leurs recherches. Ces exemples montreront la valeur et la diversité de l'apport des X dans ce domaine. Ils permettent de regretter que cette voie n'attire pas plus de vocations parmi les meilleurs.

SEMICONDUCTEURS

- Le groupe de résonance magnétique établi à l'X par Solomon (49) il y a une quinzaine d'années s'est rapidement spécialisé dans l'étude des semiconducteurs où il a notamment développé des techniques d'excitation optique. Par l'interaction très localisée des électrons avec les noyaux, ces techniques sont des sondes assez locales sur les états électroniques et leurs degrés d'excitation. Le degré d'ionicté de composés, l'existence de liaisons coupées plus ou moins saturées sur des défauts cristallins, sur les surfaces ou dans les amorphes, le détail des phénomènes de transport aux dopages limite entre les comportements isolant et conducteur sont des

exemples d'études récentes, dans un domaine assez difficile techniquement pour que ce groupe ait peu de rivaux.

- Sous l'impulsion initiale de Maurice Bernard (48) puis de Jerphagnon (57), les laboratoires du CNET, et notamment à Issy les Moulineaux, ont contribué activement au développement des propriétés optiques des semiconducteurs. Un accent particulier a été mis sur les propriétés non linéaires, qui sont utilisées dans le développement pratique des lasers semiconducteurs comme dans des techniques d'études fondamentales telles que les excitations multiphotoniques, quand les excitations à un photon sont interdites. Ces non linéarités sont aussi étudiées par le groupe de Ducuing (55) à Palaiseau.

- L'absorption optique des composés semiconducteurs a longtemps constitué le centre d'intérêt du groupe qu'a eu Rodot (48) au CNRS de Bellevue, et conduit au développement de photopiles utilisées dans les premiers satellites. C'est ce qui explique le rôle de Rodot dans le développement de l'énergie solaire au CNRS (PIRDES). Dans le domaine des photopiles, notamment à base de Silicium amorphe et polycristallin, Solomon (49) a joué plus récemment un rôle de leader. Mais des groupes industriels où ont participé Rossier (61), Kaplan (60) et Hurault (60) ont aussi été très actifs.

CHANGEMENT DE PHASE SUPRAFLUIDITÉ MAGNÉTISME CRISTAUX LIQUIDES

- Le groupe de théoriciens de Saclay, d'abord dirigé par Claude Bloch (43), s'est toujours intéressé aux problèmes de mécanique statistique mis en jeu notamment dans les changements de phase. Aux noms de Dominicis (48), Balian (52), Sarma (54), Brezin (58), Zinn Justin (62), sont associés des développements de langage et de technique et des études de validité de modèles qui ont eu une résonance certaine en matière condensée, notamment dans les problèmes à N corps et, ces dernières années, dans les techniques de changement d'échelle et de renormalisation, mises à la mode par Wilson pour étudier les fluctuations critiques au voisinage des changements de phase continus.

- L'énergie de point zéro peut être suffisante, dans les éléments très légers comme l'hélium, pour conserver une phase fluide jusqu'aux plus

basses températures. A assez basses températures, l' ^4He , dont les noyaux sont des bosons, condense dans un état quantique de base, cohérent sur des distances macroscopiques, susceptible de produire un courant sans tourbillons et sans viscosité : c'est l'état suprafluide. L' ^3He , dont les noyaux sont des fermions, se trouve dans un état de « liquide de Fermi » analogue à celui des électrons de valence des métaux. Ce fut le grand mérite de Balian (52) avec Wertheimer, de prédire qu'à très basses températures, les atomes d' ^3He de spins opposés pouvaient s'apparier sous l'effet de leur attraction de van der Waals, pour donner des bosons effectifs moléculaires susceptibles de se condenser aussi en un suprafluide. Ils ont prédit correctement les propriétés anisotropes de cette phase, qui a été ultérieurement mise en évidence et est étudiée expérimentalement notamment par le groupe de Varoquaux (60) à Orsay. L'anisotropie de ce suprafluide, qui lui donne des propriétés mésomorphes, est due à la répulsion fortement localisée d'échange entre les atomes ; un suprafluide analogue s'observe dans certains métaux ; mais il est plus isotrope, parce que les répulsions des électrons sont moins localisées : c'est la supraconduction ; son étude en France a donné lieu notamment aux travaux de Delrieux (62) à Saclay, Léger (62) à l'École Normale, Hurault (60) et Rossier (61) à Orsay sur des situations inhomogènes en présence de surfaces ou de champs magnétiques.

- Un groupe d'Orsay, avec notamment Coqblin (59) en théorie et Aloul (61) en résonance nucléaire, s'est intéressé aux propriétés des métaux, alliages et composés magnétiques. Les problèmes de fluctuations quantiques de charge et de moment magnétique, que l'on étiquette actuellement par les vocables de « fluctuations de valence » et d'« effet Kondo », donnent encore lieu à de nombreux travaux, comme aussi les états magnétiques gelés dans un état plus ou moins désordonné que l'on rencontre dans les structures amorphes ou dans les « verres de spin » (alliages magnétiques dilués). Le groupe de Costa (53) à l'ONERA fait des travaux assez analogues.

- G. Durand (54) de retour d'un stage à Harvard, a été le premier en France à relancer dans les milieux physiciens l'intérêt pour les liquides anisotropes et plus ou moins visqueux que constituent les « cristaux liquides ». Son groupe à Orsay est à l'origine de nombreuses études notamment optiques sur les propriétés

viscoélastiques de ces corps, leurs changements de phase et les instabilités produites par les champs électriques, magnétiques et les contraintes mécaniques. Certaines classes de cristaux liquides, apparentées aux savons, s'ordonnent d'autre part sous forme de lamelles, de cylindres ou de sphères (micelles) chargées en solution dans l'eau. Les arrangements réguliers qui en résultent et les couplages possibles de ces arrangements avec des polymères sont étudiés à Orsay en diffraction (X et neutrons) et en résonance, notamment par B. Cabane (64).

PLASTICITÉ, DISLOCATIONS MÉTALLURGIE PHYSIQUE

- Les X ont contribué de façon active à tous les problèmes de plasticité vus du point de vue macroscopique

de la mécanique des milieux continus. De ce point de vue, l'école de Mandel (26) à l'X même est bien connue. Mais ce secteur est traité par ailleurs.

Sous l'impulsion initiale de Crusard (35) puis d'hommes comme Grison (37), des X ont aussi participé aux activités de recherche de métallurgie physique, notamment en ce qui concerne les structures et les propriétés plastiques. Certains comme Baqué (64) et Avenas (65) ont ainsi mis l'accent sur la rhéologie macroscopique, notamment dans les polymères et Sanz (63) sur la mesure des textures qui en résultent. Mais d'autres comme Blin (43), Saada (52), Goux (45) et Levy (56) ont mis l'accent sur les défauts microscopiques, dislocations et joints intercrystallins. Saada (52) est en particulier responsable de la première étude théorique détaillée et quantitative du durcissement d'érouissage dans les métaux. Plus

récemment, et notamment autour de Saada (52) et Zaoui, des études se sont développées pour rapprocher les points de vue micro et macroscopiques.

- Le concept de dislocation comme ligne de singularité dans l'ordre cristallin peut être étendu à d'autres domaines : points, lignes et parois singulières de l'ordre magnétique, de l'arrangement des cristaux liquides, de l'écoulement laminaire d'un fluide... C'est le domaine général d'étude du groupe de M. Kléman (54) qui, avec G. Toulouse, est notamment responsable d'une classification de ces singularités par leur stabilité topologique.

- Enfin il faut souligner que c'est sans doute dans le secteur de la métallurgie appliquée que les X ont pris, depuis la guerre, le plus de tâches de direction scientifique et de direction de laboratoire tant dans les organismes que dans les entreprises.

LES X ET LA RECHERCHE EN GÉOLOGIE

PAR JEAN GOGUEL (26)
INGÉNIEUR GÉNÉRAL DES MINES
CONSEILLER SCIENTIFIQUE DU B.R.G.M.



La Géologie ne figure pas parmi les débouchés normaux auxquels conduit l'enseignement de l'École Polytechnique. C'est une Science Naturelle, c'est-à-dire fondée essentiellement sur l'observation, qui ne dispose pas, comme les Sciences du monde vivant des guides que constitue la physiologie ou une classification justifiée par la reproduction, qui individualise les espèces. On y remplace ces guides par un raisonnement historique, la reconstitution de sa genèse assurant la cohérence de la description de l'état actuel. Ceci au prix d'un appel assez lourd à l'érudition, c'est-à-dire à la connaissance de ce qui a été acquis ailleurs.

La reconstitution historique passe par la connaissance des phénomènes invoqués, ce qui fait appel à toute une série de disciplines auxiliaires, allant de la paléontologie à la chimie, en passant par la physique et la mécanique ; au moins dans ce dernier cas, il s'agit de questions auxquelles les X sont bien préparés. Encore faut-il qu'ils sachent combiner les méthodes de travail avec lesquelles ils sont familiers et l'observation et le raisonnement proprement géologiques.

Historiquement, les X ont été conduits à la Géologie par la voie des Mines, dont l'Administration responsable a ressenti très tôt — en fait,

un quart de siècle avant la création de l'X — le besoin d'une étude et d'un inventaire général du monde minéral, qui dès le début du XIX^e siècle, s'est concrétisé par la Carte Géologique.

A deux reprises, au moins, le développement de celle-ci a orienté la carrière de jeunes ingénieurs des Mines, à la sortie de l'École, avec un succès qui nous empêche de nous demander dans quelle mesure cette orientation répondait à une vocation profonde. En 1819, c'était Élie de Beaumont (1817) ou Dufrénoy (1811) chargés de lever la Carte de France, après avoir acquis en Angleterre une formation, qui nous paraît aujourd'hui rapide. Tâche dont ils allaient s'acquitter en une douzaine d'années et qui — au moins pour le premier — allait se prolonger par une brillante carrière sur le triple plan de la Recherche, de l'Enseignement et de l'Administration. Dans l'œuvre scientifique d'Élie de Beaumont se côtoient le meilleur (la découverte que la déformation tectonique s'échelonne, dans l'histoire de la Terre, tout au long du dépôt des terrains sédimentaire), et le pire, avec l'étrange élucubration du « réseau pentagonal ». Et, sous la réserve et la modération que son autorité imposait à des critiques qui nous paraissent avoir été trop peu nombreuses, ne pouvons-nous suspecter

l'origine de certaines caricatures du polytechnicien, imposant des a priori rigides là où plus de finesse aurait été souhaitable ?

Dans cette première partie du XIX^e siècle, l'enseignement confié à ces mineurs, pour l'auto-renouvellement de leur corps, se trouvait en face d'un vide universitaire qui lui permettait un grand rayonnement, d'où l'appel à Élie de Beaumont pour le Collège de France, à Daubrée (1832) pour le Muséum.

Il en était encore un peu de même quand, en 1868, Élie de Beaumont orientait vers la Géologie, avec la création du Service de la Carte Géologique, toute une promotion de jeunes ingénieurs, qui allaient accomplir des carrières très brillantes, dans la recherche et l'enseignement, jusqu'à la Chaire de l'Institut Catholique, occupée par Albert de Lapparent, (1858) et celle du Collège de France, avec Auguste Michel Lévy (1862). Que ce dernier ait été préparé, par ses connaissances en physique et en géométrie, à développer l'emploi du microscope polarisant pour l'étude des roches était dans la logique de sa formation. Mais quel rapport entre leur formation première et les œuvres de Douvillé (1863) en Paléontologie, ou de Zeiller (1865) en paléobotanique ?

Par la suite, ce seront encore des postes au Service de la Carte Géolo-

gique, ou des Chaires aux Écoles des Mines de Saint Étienne ou de Paris, qui détermineront de loin en loin l'orientation scientifique d'un début de carrière, plus rarement la réorientation d'une carrière commencée dans le Service ordinaire, comme L. De Launay (1879) dont un biographe note « il s'aperçut rapidement que le Service Ordinaire lui laissait des loisirs », qu'il allait consacrer à la Géologie, ou Besson (1945) en un temps où les fonctions de chef d'arrondissement minéralogique étaient devenues si absorbantes qu'il fallait une singulière volonté pour arriver à poursuivre parallèlement un travail scientifique.

Si, jusqu'au début de ce siècle, la recherche restait une tâche individuelle, elle a pris maintenant un caractère collectif, que ce soit dans l'enseignement ou ailleurs. Les jeunes le savent, et si un jeune X envisage de s'orienter vers la Géologie, ce n'est pas pour poursuivre une œuvre solitaire – tel Barrande (1819), partageant l'exil du comte de Chambord, dont il était le précepteur, et décrivant, en une série de Mémoires restés classiques, le « système silurien de Bohême ». Nos jeunes camarades ne reculent pas devant les perspectives des responsabilités qu'ils se sentent appelés à assumer. Mais ils se rendent compte qu'on ne peut diriger une équipe scientifique si on ne participe pas, soi-même, à la recherche. Faut-il donc l'envisager comme une pénitence nécessaire, comme le « temps de commandement », par lequel doit passer l'officier qui se sent appelé à une brillante carrière dans les États Majors ?

Si j'avais un conseil à donner à l'un d'eux, je lui dirais : Non, la recherche demande plus de passion. Profitez des quelques années où vous êtes assez disponible pour vous consacrer en priorité à la recherche ; observez par vous-même, de toutes les manières, et d'abord sur le terrain, en oubliant, ou en remettant en question tout ce qui pourrait biaiser votre observation. Soumettez-vous humblement à cette



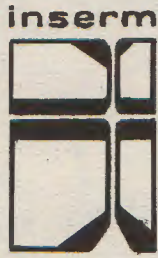
(CAUCASE/Oct. 1965.)

discipline, consacrez tout le temps nécessaire pour vous informer, acquérir les connaissances utiles pour interpréter et élaborer vos observations – sans cependant faire de l'érudition un but. Lorsque des responsabilités administratives ou des tâches d'enseignement vous incombent, assumez-les avec conscience, mais conservez toujours, comme une passion secrète, la priorité accordée à votre recherche. Efforcez-vous de dégager le temps nécessaire, au besoin, aux dépens de vos loisirs ; consacrez-y vos insomnies. La recherche, c'est-à-dire le goût de ses aspects les plus concrets, ne doit jamais être pour vous l'alibi qui justifie vos fonctions, mais le jardin secret que vous défendez contre ce que celles-ci auraient de trop absorbant, tout en le partageant avec ceux qui s'en montreront dignes.

Un X géologue peut – ou même doit – être amené à faire intervenir telle ou telle des sciences physiques dans lesquelles il a été formé, dans les raisonnements géologiques, c'est-à-dire dans cette reconstitution de l'histoire, fondée sur l'observation. Mais, pour que l'équilibre soit conservé entre ces disciplines, aux méthodes foncièrement différentes, il faut d'abord qu'il se soit donné

complètement à la géologie d'observation, celle qui est une des Sciences naturelles. Il ne peut le faire qu'en début de carrière – l'occasion ne s'en représentera pas plus tard. De même, à l'École des Mines, pour former à l'« option géologie », des élèves ingénieurs, ayant par ailleurs une forte teinture de mathématique et de physique, nous avons réalisé qu'il fallait les plonger complètement dans la géologie d'observation, pour leur faire acquérir les méthodes, les formes de raisonnement correspondantes, sans faire aucun appel à leur formation antérieure. A eux de réaliser plus tard la synthèse selon les circonstances où ils se trouveront placés, quand il serait trop tard pour eux d'essayer de comprendre le poids de l'observation du Naturaliste.

On dit parfois « l'X conduit à tout, à condition d'en sortir ». Si certaines disciplines annexes de la Géologie – comme Géophysique ou la Minéralogie – sont dans le droit fil de la formation polytechnicienne, la Géologie exige d'y échapper, voire presque d'en prendre le contre-pied, pour se former à une discipline d'observation. Ce n'est qu'à condition de s'y donner complètement qu'un synthèse sera ensuite possible – et elle peut être féconde.



LES EDITIONS DE L'INSTITUT NATIONAL DE LA SANTE
ET DE LA RECHERCHE MEDICALE

CULTURE DE CELLULES EUCARYOTES REPERTOIRE DES UTILISATEURS

par

Monique ADOLPHE, Danielle GOURDJI,
Andrée TIXIER-VIDAL, Roger ROBINEAUX

Édition INSERM / CNRS

500 pages/France : 160,50 francs/ Etranger : 180 francs port inclus

Ce répertoire a pour but de regrouper tous les chercheurs utilisant la culture de cellules eucaryotes sous toutes ses formes (culture d'organes, culture de tissus, culture de cellules), quelles que soient leurs orientations fondamentales.

Il contient près de 500 fiches classées par type de matériel cultivé et selon l'ordre alphabétique du nom du chercheur concerné.

Chaque fiche comporte, outre les informations générales concernant le laboratoire, des indications particulières sur les souches disponibles, les thèmes étudiés, les modes de culture et les techniques biologiques utilisées.

L'ouvrage a été conçu de façon à être placé dans un classeur permettant une remise à jour permanente et l'addition de notes par l'utilisateur.

PUBLICATIONS INSERM

101, rue de Tolbiac - 75654 PARIS CEDEX 13 - Tél. : 584.14.41 poste 229

*Règlement à joindre à toute commande : chèque bancaire à l'ordre de l'INSERM
ou chèque postal : CCP Paris 9062-38 X*

Catalogue complet sur demande

LES POLYTECHNICIENS ET LA RECHERCHE EN BIOLOGIE

L'exemple de la biologie
des populations cellulaires
animales et humaines

PAR ALAIN VALLERON (63)
MAITRE DE RECHERCHE A L'INSERM
PROFESSEUR A L'UNIVERSITE PARIS VII
OU IL PRESIDE LE CONSEIL SCIENTIFIQUE DE L'UER DE BIOLOGIE GENETIQUE



L'INTERET POUR LA BIOLOGIE

Qu'il me soit permis – la tradition de ce journal m'y autorise – de commencer cet article sur la Recherche en Biologie (ou, plutôt, sur des Recherches en Biologie) effectuée par les polytechniciens par une note personnelle : à l'époque, relativement récente, où j'étais à l'Ecole et où je signalais mon désir d'effectuer une carrière de recherche et d'enseignement dans le domaine des Sciences de la Vie, cela paraissait à la majorité de mes camarades et de mes enseignants un choix « original » (pour ne pas dire un choix « d'original »). Il est agréable, par conséquent, de constater qu'en 1981 il paraît normal que plusieurs articles de ce numéro spécial de « la Recherche et les Polytechniciens » touchent au domaine des Sciences de la Vie. La reconnaissance de la Biologie à l'Ecole Polytechnique a d'ailleurs eu lieu depuis plusieurs années : c'est ainsi qu'à Palaiseau fonctionnent deux laboratoires de recherche dynamiques chacun dans leur secteur (en Biochimie et en Biophysique) et c'est ainsi que depuis 1972 une option « Biophysique » est

proposée aux élèves de l'Ecole ; depuis 1977 un séminaire de Biologie fonctionne à l'Ecole et, à titre d'exemple, plus de 80 élèves avaient demandé à le suivre en 1980 ! Ni le Biologiste Polytechnicien, ni la Biologie à l'Ecole ne sont donc plus des marginaux !

En réalité l'essor de la Biologie et l'engouement pour elle sont récents. Dans son édition de 1876, Littré définit le mot Biologie : « Science qui a pour sujet les êtres organisés et dont le but est d'arriver, par la connaissance des lois de l'organisation, à connaître les lois des actes que ces êtres manifestent. Ce mot, créé par un naturaliste allemand, Treviranus, a été employé pour la première fois par Lamarck dans son hydrologie (1802) et dans son Discours d'ouverture sur la question de l'espèce (1803) ». Littré définit également le mot « Biochimie », mais pas « Biophysique », etc. A cette époque, enfin, le dictionnaire de l'Académie Française ignore le mot « Biologie » ! C'est d'ailleurs assez naturel car les recherches en Sciences de la Vie n'insistent plus alors – comme auparavant – sur l'« histoire naturelle » mais plutôt sur les as-

pects physiologiques : il s'agit d'appréhender l'unité des vivants. Cette direction de recherche s'est sans cesse renforcée jusqu'à aboutir, au milieu du XX^e siècle, au triomphe de la Biologie moléculaire.

D'où vient le surcroît actuel d'intérêt pour les Sciences de la Vie ? Le lecteur en trouvera l'analyse détaillée dans l'ouvrage sur « Sciences de la Vie et Société » (La Documentation Française, 1979) écrit par F. Gros, F. Jacob et P. Royer. En bref, les auteurs jugent que l'étude du monde vivant a d'abord répondu à des exigences évidentes de la Société dans les domaines, par exemple, de la médecine et de l'agriculture. Mais, maintenant, l'impact des Sciences de la Vie dans le public est beaucoup plus fort car celui-ci sent que l'avenir de la Société dans laquelle il vit dépend étroitement de ce domaine de recherche : par exemple parce que s'est répandue l'angoisse de la rupture des équilibres naturels (démographiques, écologiques...); parce que des recherches très ponctuelles – comme celles concernant la contraception chimique – ont eu une influence importante sur la structure de notre Société et sur nos mœurs ; enfin, parce que les technologies nouvelles entraînées

par le développement de la biologie moléculaire sont prometteuses à la fois de profits et... d'inquiétudes.

L'ORGANISATION DE LA RECHERCHE DANS LES SCIENCES DE LA VIE

La recherche dans les Sciences de la Vie a comme cadres principaux l'Université, le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) qui dépend également du Ministère des Universités, l'Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM) qui dépend du Ministère de la Santé et divers organismes publics et semi-publics, notamment : l'Institut National de la Recherche agronomique (INRA), le Centre National d'Exploitation des Océans (CNEXO), l'Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre Mer (ORSTOM), l'Institut Pasteur, etc.

Cette liste d'organismes ne donne pas une idée des différentes directions de la recherche en Biologie puisque ces institutions ne se définissent pas en général par une thématique précise et, au contraire, comprennent presque toutes plusieurs de ces disciplines à la fois. Un aperçu de ces différentes disciplines peut être obtenu en considérant les « secteurs » directement concernés par les Sciences de la Vie dans le Comité Supérieur des Corps Universitaires. Il y en a trois : la 29^e section recouvre la Biochimie structurale et la biochimie cellulaire métabolique ; la 30^e section (biologie à proprement parler) recouvre la biologie cellulaire et la génétique, la zoologie, l'écologie, l'embryologie expérimentale et la physiologie végétale ; la 31^e section recouvre la physiologie animale, la neurophysiologie, la psychophysiologie et la physiologie comportementale.

UN EXEMPLE DE RECHERCHES EN BIOLOGIE

La biologie
des populations cellulaires,
animales et humaines.

On vient de constater la grande diversité des disciplines abordées dans le domaine des Sciences de la Vie. Il est vraisemblable que l'on puisse trouver des polytechniciens engagés dans la recherche dans beaucoup de ces directions. Il reste qu'à cause de la nouveauté de leur

insertion dans la Biologie d'une part, du fait aussi qu'« entrer en Recherche », c'est souvent quitter le « Siècle » polytechnicien (où être quitté par lui). le recensement exhaustif de ces polytechniciens serait tâche impossible. Aussi limiterai-je l'exposé qui suit à des recherches dont le point commun est qu'elles concernent des « populations » biologiques (cellules, animaux, hommes) et aussi, il faut bien l'avouer, qu'elles sont effectuées par des collègues dont la thématique n'est pas trop éloignée de ce qui se fait dans mon propre laboratoire, ce qui explique que je les connais mieux que d'autres. Cet exposé n'aura donc pas pour but de donner un relevé exhaustif des recherches dans l'ensemble de la Biologie ni de tous les chercheurs polytechniciens biologistes.

I BIOLOGIE DES POPULATIONS CELLULAIRES

Toute population cellulaire évolue au cours du temps en fonction d'un certain nombre de paramètres : division cellulaire (au bout d'un cycle mitotique, les cellules aptes à se diviser produisent deux cellules filles identiques) ; différenciation (les cellules d'une population ayant des caractères biochimiques, physiologiques et morphologiques déterminant la spécificité de cette population, il y a différenciation lorsqu'une cellule acquiert les caractères d'une autre population cellulaire) ; migration (ainsi, les cellules d'une tumeur primitive peuvent migrer pour former des métastases) ; quiescence (fait d'être hors du processus de division mitotique, temporairement ou définitivement) ; mort cellulaire.

Dans un organisme adulte, les populations cellulaires « normales » gardent au cours de la vie un effectif constant. Ceci est obtenu grâce à une balance parfaite entre les paramètres décrits au paragraphe précédent. En revanche, les populations cellulaires « tumorales » ont une croissance anarchique due à des défauts de prolifération ou de différenciation. Autant de populations cellulaires (de tissus normaux, de types de tumeurs), autant de paramètres à mesurer, autant de mécanismes à comprendre. Un exemple de telles recherches effectuées dans mon propre laboratoire concerne l'étude de l'hématopoïèse, c'est à dire de l'ensemble des phénomènes qui sont à l'origine (« poièse ») des cellules de divers types présentes dans le sang (« hémato »). La

connaissance quantitative de ces phénomènes n'est pas disponible, actuellement, chez l'homme, ni même chez l'animal. Elle est clairement essentielle dès qu'on pense, par exemple, aux leucémies, qui sont causées par des dérèglements divers de ces phénomènes. Prenons les globules rouges : un homme adulte normal en fabrique 18 milliards par jour, au total pendant sa vie à peu près 600 (six cents) kgs !. Pour comprendre un tel fait, il faut savoir qu'il y a — pour prendre un langage commercial — une chaîne de huit intermédiaires entre un « fournisseur » (qui est la moelle) et la dernière « boutique » qui est le sang. Faire la « comptabilité » des échanges (des « différenciations ») entre tous ces « intermédiaires » est encore extraordinairement plus compliqué que n'importe quel problème « économique » auquel on peut penser puisque l'on ne connaît pas même la règle qu'utilise chacun des intermédiaires. Au contraire, on veut découvrir ces règles dans le cas normal et dans les cas pathologiques à partir d'un certain nombre de bilans (très partiels) qu'on obtient expérimentalement.

Dans un tel domaine, les biomathématiques, discipline qui, comme son nom l'indique, est à l'interface entre les sciences de la Vie et les mathématiques, (principalement les méthodes probabilistes, statistiques, informatiques), sont largement employées dans le monde entier et il n'est pas trop surprenant d'y rencontrer un polytechnicien. Mais, bien entendu, l'étude de la Biologie des Populations cellulaires nécessite, problème par problème, avant tout, un très important investissement expérimental. La recherche ne peut progresser qu'en développant des laboratoires et des équipes spécialisées sur telle tumeur, sur tel système expérimental. Cette recherche purement expérimentale nécessite une connaissance d'un grand nombre de techniques scientifiques (physiques, chimiques, etc.) en plus d'une culture biologique approfondie mais qu'on peut finalement acquérir « sur le tas ». Un exemple de telles recherches expérimentales est celle menée par P. Tambourin (1964) : son équipe étudie une leucémie particulière de la souris, induite par un virus (le virus de Friend). Cette leucémie atteint spécifiquement les cellules de la lignée erythroblastique (celle qui, par différenciations successives, mène aux globules rouges). Elle a l'intérêt de représenter un « modèle » expérimental raisonnable permettant l'étude du processus cancéreux et divers facteurs de ce processus.

II BIOLOGIE DES POPULATIONS ANIMALES

Les variations d'abondance (absolue ou relative) des populations animales sont bien connues et le danger d'extinction d'espèces variées est souvent souligné. Le premier travail est de recenser et de classer rationnellement les espèces existantes (c'est le travail du taxinomiste); le dynamicien des populations animales recherche, ensuite, à caractériser quantitativement ces espèces en ce qui concerne leurs taux de fécondité, de mortalité, leur répartition dans les diverses classes d'âge, etc. Son but est, ensuite, de décrire au moyen de méthodes biomathématiques spécialisées les variations spatiotemporelles de ces paramètres et d'analyser les causes de ces variations, afin notamment de proposer des moyens pratiques de contrôle dans l'évolution de ces populations en agissant sur ces causes; les applications pratiques de telles recherches concernent la lutte biologique (dont le but est de détruire une population jugée nuisible au moyen d'un prédateur, d'un parasite ou d'un compétiteur et ceci sans atteindre l'environnement); la protection des espèces menacées (en mettant au point des procédures d'alerte à temps); la gestion rationnelle des populations animales exploitées par l'homme.

Dans ces divers domaines, on doit citer tout d'abord J. Daget (1938) qui exerce son activité de recherche au Museum National d'Histoire Naturelle et dont la recherche concerne la dynamique des populations et la taxinomie en ichtologie (ichtus = poisson); on se rendra compte de l'étendue du problème lorsqu'on saura que le nombre d'espèces vivantes chez les seuls téléostéens (classe de poissons qui, grossièrement, contient presque toutes les formes ossifiées: sardines, thons, morues, carpes, brochets, etc.) est estimé entre 20 000 et 40 000! De plus, une espèce est définie par le fait que les individus qui lui appartiennent peuvent s'intérféconder mais ne peuvent pas produire une descendance féconde avec des individus d'une autre espèce; or, chacun connaît le mode désordonné de reproduction des poissons. De telles recherches taxinomiques doivent donc à la fois incorporer l'acquis de la Biologie de base dans les autres disciplines et utiliser les techniques statistiques et informatiques les plus modernes d'analyse de donnée.

A. Laurec (1967), de son côté, s'intéresse, dans le cadre du Centre Océanologique de Bretagne (C.O.B.) à l'écologie marine et plus particulièrement au développement de techniques biomathématiques propres à dégager des stratégies de gestion rationnelle du stock exploité de poissons. Bien entendu, l'étape fondamentale de ce type de programmes de recherche est la mise au point de réseaux de collecte de données et de moyens de gestion de ces données adaptés. L'importance pratique de ces recherches halieutiques ne peut qu'augmenter puisque une grande partie du poisson consommé en France provient de l'importation et ceci à un moment où les prix du carburant augmentent et les règles internationales de pêche deviennent plus contraignantes. D'où l'intérêt de préserver les stocks de poissons existants, si possible de les développer.

On ne peut parler de biologie des populations animales sans parler de théorie de l'évolution. C'est en effet celle-ci qui est l'épine dorsale de la Biologie dans son ensemble et qui permet de comprendre les innombrables observations acquises par les techniques les plus diverses sur les différents matériels vivants. A titre d'exemple mentionnons à cet égard les travaux de J. Ninio (1961) qui apporte en tant que biologiste moléculaire une contribution à ce domaine de recherche clé, abordé, sur le plan de la génétique des populations, par A. Jacquard (1945), ainsi qu'on le verra plus loin.

III BIOLOGIE DES POPULATIONS HUMAINES

Dans ce secteur, les polytechniciens ont eu et ont un rôle important dans le développement en France de deux domaines de recherche: l'épidémiologie et la démographie. Les cadres institutionnels principaux de ces deux disciplines sont respectivement l'Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM) et l'Institut National d'Etudes Démographiques. Epidémiologie et Démographie ont de nombreuses intersections. L'une d'elles, particulièrement importante par ses implications scientifiques et sociales, est la génétique humaine. L'exposé suivant rappellera ce que sont ces trois secteurs de recherche (épidémiologie, démographie et génétique humaine), puis donnera des exemples d'institutions et de recherches animées par des polytechniciens.

L'épidémiologie

Depuis les quelques années où l'on se préoccupe de développer de façon rationnelle une politique de Santé Publique, la discipline « Epidémiologie » est de plus en plus mentionnée dans les différents médias. Il est utile, tout d'abord, de définir ce qu'est l'Epidémiologie. Etymologiquement, c'est l'ensemble des recherches du champ biomédical accomplies en utilisant des données recueillies sur des populations humaines. Cette définition est suffisamment générale pour recouvrir les principales lignes actuelles de l'activité de recherche dans ce domaine, à savoir:

- l'épidémiologie des maladies transmissibles (par exemple, celle de la tuberculose, de la grippe, de la variole, de la malaria, etc.),

- l'épidémiologie des autres maladies (par exemple celle du cancer, celle des affections cardio-vasculaires),

- l'épidémiologie, enfin, des situations physiologiques (par exemple, celle de la reproduction, de la vieillesse, etc.)

Il est important de noter, donc, que l'épidémiologie n'est pas seulement l'étude des épidémies. Au contraire, on peut dire qu'en France l'étude épidémiologique des maladies transmissibles est sûrement la moins développée des trois directions mentionnées ci-dessus.

Dans tous les cas, on peut distinguer l'épidémiologie explicative qui vise à la connaissance, l'explication des mécanismes mis en jeu et l'épidémiologie pragmatique orientée vers l'action, notamment en Santé Publique; dans ce dernier cas, la recherche visera souvent à identifier des facteurs de risque de telle ou telle maladie sur lesquels on dési-rera, par exemple, fonder une politique de prévention, que ces facteurs aient, ou n'aient pas, un rôle causal dans le développement de la maladie concernée.

Comme dans à peu près toutes les Sciences de la Vie, enfin, on distinguera en épidémiologie les études d'observation, les études utilisant l'expérimentation, les études théoriques utilisant la modélisation.

Ces différents domaines et méthodes de l'épidémiologie se sont développés en France sous l'impulsion de D. Schwartz (1937) à partir des années 1950 dans le cadre de l'Institut National de l'hygiène puis de l'INSERM qui prit la suite de l'INH. Actuellement, à l'INSERM, trois unités de recherche travaillant sur l'épidémiologie sont dirigées par des Polytechniciens. L'Unité INSERM U.21, dirigée par D. Schwartz (1937) fut la

première créée. A ce titre, ce sont deux volets de recherche épidémiologique développés dans cette unité que nous détaillerons : l'un est défini par le côté biomédical, l'autre par le côté méthodologie : dès 1956, au moyen d'enquêtes épidémiologiques rétrospectives (c'est-à-dire comparant des populations de malades à des populations de témoins en ce qui concerne leur exposition passée à divers facteurs de risque supposés), cette unité mettait en évidence le rôle du tabac dans divers cancers (larynx, poumons, vessie...) et ceci — parallèlement ou par avance — avec les équipes étrangères (en particulier anglo-saxonnes). L'association Cancer-Tabac est un résultat maintenant bien connu dans le public même non scientifique (encore qu'il n'en tire guère les conclusions pratiques), mais sa connaissance est donc finalement assez récente et elle doit beaucoup aux recherches effectuées dans cette unité « polytechnicienne ». Actuellement, le centre d'intérêt épidémiologique de cette unité s'est étendu au diabète et à l'étude de la fertilité (surtout masculine). Il s'agit donc dans ce dernier cas plutôt de ce que j'ai appelé de l'épidémiologie physiologique. Les applications de tels travaux sur la conception ont deux directions opposées : la contraception et le contrôle des naissances d'une part, la recherche de techniques permettant, au contraire, d'aider les couples désirant avoir un enfant et n'y parvenant pas.

Le volet de recherches méthodologiques concerne le développement de l'épidémiologie expérimentale qui, lui aussi, a eu lieu dans cette unité. C'est à la suite de ses travaux, en effet, qui datent des années 1960, qu'il est maintenant bien admis, en France aussi, que l'évaluation de l'efficacité d'un traitement (absolue, ou relative à celle d'un autre traitement) ne peut être obtenue que par l'usage de la technique des Essais Thérapeutiques Contrôlés. Dans la plupart des cas, cette technique conduit à réaliser une expérimentation où les divers traitements à comparer sont attribués à des groupes de sujets désignés par le tirage au sort. Ces essais thérapeutiques peuvent être en simple aveugle (le sujet ne sait pas lequel des traitements à comparer il reçoit) ou en double aveugle (le personnel soignant ne sait pas, non plus, lequel des traitements fournis par les responsables du projet il applique au malade). La mise au point de la méthodologie générale de cette véritable expérimentation humaine a été, évidemment, singulièrement compliquée du fait que le « matériel » expérimental était humain. La prise en

compte, notamment, des considérations d'éthique qui doivent être, dans un tel sujet, totalement prioritaires, a conduit au développement de méthodes originales que le corps médical, dans son ensemble, a retenues pour faire progresser la thérapeutique.

Signalons, maintenant, les recherches effectuées dans les deux autres unités INSERM s'intéressant à l'épidémiologie et dirigées par des Polytechniciens : l'unité INSERM U.169, tout d'abord, dirigée par J. Lellouch (1954) s'occupe notamment de la mise au point et de l'application de diverses techniques de la théorie de la décision à la médecine ; ceci permet, par exemple, de déterminer des stratégies optimales de choix des examens à faire en vue d'aboutir au diagnostic d'une maladie. Sur le plan de l'épidémiologie, cette unité s'intéresse particulièrement aux maladies cardiovasculaires qu'elle étudie, en particulier, à travers de grandes enquêtes prospectives (où des sujets soumis, ou non, à des facteurs de risque sont suivis jusqu'à observation d'une pathologie spécifique). La quantification, par exemple, du risque de cardiopathie ischémique en fonction de divers facteurs (cholestérolémie élevée, etc.) a été effectuée, à l'intérieur de cette unité, par P. Ducimetière (1962) qui, par ailleurs, a développé des méthodes informatiques d'analyse de l'électrocardiogramme.

L'unité INSERM U.170, enfin, dirigée par P. Lazar (1956) s'intéresse, à de multiples points de vue, à l'interaction environnement-santé : il s'agit là de développer des indicateurs de santé, d'étudier leurs variations spatio-temporelles en relation avec les variations de divers facteurs environnementaux. Pour ce faire, des méthodes originales de saisie et d'analyse des données ont été et sont mises au point dans cette unité. Un centre d'intérêt particulier de cette équipe est, du point de vue de la santé, la reproduction, et du point de vue de l'environnement, les conditions de travail, la qualité de l'eau potable par exemple. En ce qui concerne les recherches épidémiologiques sur la reproduction, on peut citer, par exemple, celles qui s'intéressent à la gémellité (monozygote si les jumeaux proviennent d'un même « œuf » ; dizygote s'ils proviennent de deux œufs) : les études menées visent à la mise en évidence de l'action embryolétale de certains facteurs environnementaux car il semble raisonnable de penser que ceux-ci diminueraient la fréquence des accouchements de jumeaux (dizygotes, en tout cas).

Signalons enfin que l'intégration

des problèmes épidémiologiques à une perspective plus économique et sociologique est développée à l'INSERM dans une autre unité de recherche dirigée par F. Fagnani (1963)

La démographie

La démographie concerne l'étude du renouvellement des populations humaines par l'effet combiné des naissances, des décès et des mouvements migratoires. Elle comprend diverses sous-disciplines telles : la démographie historique (utilisant des données statistiques recueillies sous une forme « non moderne ») ; la démographie sociale (qui s'intéresse à l'interaction des facteurs sociologiques avec le développement des populations) ; la démographie économique (qui traite des rapports, dans un sens ou dans l'autre, entre population et économie), la démographie mathématique (qui applique ou développe les méthodes générales de dynamique des populations au cas des populations humaines), etc.

Toutes ces disciplines (et d'autres) sont représentées à l'Institut National d'Etudes Démographiques dirigé par G. Calot (1954), leur importance est bien connue, notamment grâce à A. Sauvy (1920 S) qui, non seulement a initié plusieurs d'entre elles, mais aussi les a fait connaître à un large public.

L'INED, quoique ne dépendant pas du Ministère des Universités mais de celui du Travail et de la Participation, comprend un grand nombre d'équipes de recherche, dont beaucoup incluent des Polytechniciens où sont animées par eux. Comme on vient de le voir, la Démographie ne peut être considérée seulement comme composée de disciplines du domaine des Sciences de la Vie, mais aussi de disciplines d'autres domaines. Certaines équipes ont donc un travail de recherche qui ne relève pas — stricto sensu — de cet article. En relèvent, en revanche, par exemple, les recherches de H. Leridon (1962) qui s'intéressent à la fécondité, celles de H. Le Bras (1963) qui, notamment, concernent la dynamique des populations et celles de A. Jacquard (1945) qui relèvent de la génétique humaine et seront traitées ensuite, dans un paragraphe à part. Les recherches sur la fécondité appartenant à proprement parler au domaine biomédical concernent la compréhension et la mesure de la fertilité et de la fécondabilité dans diverses strates de population, l'étude de l'efficacité des contraceptions. Les recherches méthodologiques en dynamique des populations humaines concernent aussi bien les

difficiles problèmes d'établissement de tables-type de mortalité, que le développement de méthodes probabilistes, statistiques ou informatiques, adaptées à l'analyse de nouvelles situations d'intérêt.

Génétique humaine

Tous les hommes sont différents. C'est une banalité. Nos différences les plus observables concernent nos apparences, nos caractères physiques (nos « phénotypes »). Ces caractères physiques sont les produits de facteurs de deux ordres — en interaction — les facteurs environnementaux et génétiques. Si la démographie étudie l'évolution des populations humaines dans le temps, si l'épidémiologie s'intéresse aux facteurs environnementaux qui agissent sur les caractères physiques — pathologiques ou normaux — des populations humaines, la génétique humaine cherche à caractériser la diversité biologique de l'homme et des populations humaines. La récente actualité me mène à rappeler que cette notion de diversité biologique de l'homme a été éclaircie grâce à des travaux où le rôle des Français a été particulièrement important : il s'agit de la découverte par Jean Dausset des groupes tissulaires HLA, découverte qui apporta le Prix Nobel à la France en 1980 : les antigènes tissulaires, faciles à détecter sur les globules blancs (ou leucocytes, d'où leur nom, Human Leucocyte Antigens) définissent un tel nombre de « groupes » que l'on pense que chacun d'entre nous possède sa propre « identité » en terme de groupes HLA.

On conçoit — surtout depuis le développement de ces nouvelles tech-

niques d'identification du « moi » — le rôle que peut jouer la génétique humaine à la fois dans la recherche scientifique et aussi, on le verra, dans la réflexion sur des problèmes majeurs de société. C'est pourquoi je l'ai individualisée alors qu'elle est clairement à l'intersection de la démographie et de l'épidémiologie. Un des spécialistes du sujet, polytechnicien, est A. Jacquard (1945) et il appartient à plusieurs institutions (en particulier l'INED et l'Université Paris VI). Les recherches qu'il mène ou qu'il dirige donnent un bon aperçu de la discipline : celle-ci concerne aussi bien des domaines théoriques qu'appliqués et elles font pénétrer dans des problèmes brûlants de société. Sur le plan théorique, il s'agit de la mise en question du modèle néo-darwinien (description de l'évolution sous l'effet de la sélection par une approche à la fois Mendélienne et Darwinienne) et l'attribution au « hasard » d'un rôle central dans l'évolution (c'est ce qu'on appelle le neutralisme : les gènes sont supposés « neutres » en ce qui concerne la sélection). Mais des recherches plus concrètes existent aussi en génétique humaine : par exemple, celles qui concernent l'étiologie de diverses maladies (ainsi, A. Jacquard s'intéresse-t-il à un éventuel facteur génétique dans l'étiologie de la schizophrénie). Pour terminer ce paragraphe, il faut noter deux types de recherches qui montrent de façon exemplaire que les recherches de pointe en Biologie ont un impact important sur des problèmes fondamentaux de société ; la mesure de la diversité des populations humaines a conduit à démontrer l'absence totale de possibilité de définition biologique de la notion de race : les diversités à l'intérieur d'un groupe humain sont — maintenant qu'on

sait les apprécier — toujours aussi importantes que celles d'un groupe à un autre. Démolition indiscutable, donc, des prétendues bases scientifiques du racisme. Démolition en cours aussi de la notion d'héritabilité de l'intelligence. Et ceci, par deux voies différentes : par le raffinement des outils de mesure et des concepts à la base de la notion d'héritabilité ; par l'interrogation des méthodes de recueil des données et des outils de mesure actuels de l'intelligence (je dis « actuels » car chacun doit savoir qu'on a pu démontrer — maintenant — que les données de Cyril Burt qui avaient permis à cet auteur en 1956 d'assurer que l'intelligence était héréditaire avaient été, dans leur majorité, inventées !)

CONCLUSION

Bien entendu, l'exposé ci-dessus est extraordinairement diagonal et ne pouvait, de toutes façons, guère être différent, c'est-à-dire donner des détails techniques et précis sur toutes les recherches ponctuelles effectuées en Biologie par les polytechniciens. Cependant, les lecteurs plus intéressés dans un des domaines évoqués pourront consulter les ouvrages spécialisés publiés par l'un ou l'autre des chercheurs cités. Enfin, j'espère que l'exposé aura, au moins, permis de montrer que les polytechniciens, traditionnellement présents dans les différents secteurs de la Recherche le sont également dans celui des Sciences de la Vie. Souhaitons pour conclure que, malgré les difficultés actuelles du recrutement et, s'il y a recrutement, de la « carrière » en Recherche, de nouveaux polytechniciens choisissent cette voie.

**pour savoir
ce qui se passe
lisez plutôt
La Recherche**



Pour les ingénieurs,
les enseignants
et les chercheurs,
la Recherche est devenue
l'instrument incontesté de
l'information scientifique
et technologique française.

OFFRE D'ABONNEMENT :

1 an : **150 F** au lieu de **198 F***

Je souscris un abonnement d'un an
à la Recherche
au prix de 150 F

* Prix de vente au numéro

Nom _____

adresse _____

Je règle aujourd'hui par :

- | | |
|--|-----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> chèque bancaire | } à l'ordre
de la
Recherche |
| <input type="checkbox"/> chèque postal | |
| <input type="checkbox"/> mandat postal | |

A retourner,
accompagné du règlement
à la Recherche,
57, rue de Seine 75006 Paris

**GÉRANCE
DE PORTEFEUILLES
H. ROGIER**

S.A. au Capital de 737 000 Francs

20 bd Montmartre, 75009 Paris
770-42-97 et 770-43-18

Fondateur

Henri ROGIER (pr. 1920 sp.)

33 ANNÉES D'EXISTENCE

Président-Directeur Général

Claude PICHON (pr. 1946)

DÉPOT DES FONDS ET TITRES CHEZ
TROIS AGENTS DE CHANGE

Envoi de renseignements détaillés
sur demande

entreprises
de bâtiment et
de travaux publics
engineering
coordination pilotage
mission
de contractant
principal
promotion

GTM
**GRANDS TRAVAUX
DE MARSEILLE**

61, av. Jules-Quentin - B.P. 326
92003 NANTERRE CEDEX
Téléphone (1) 725.61.83

Télex GTMNT 611306 F
Télécopieur

**L'INSTITUT
PASTEUR
AUJOURD'HUI**

- L'Institut Pasteur est une fondation privée reconnue d'utilité publique.
- SES ACTIVITES :
 - Recherche fondamentale en biologie
 - Applications biomédicales et biotechnologiques
 - Enseignement post-universitaire
 - Centres de références
 - Expertises biologiques
 - Hôpital (centre de vaccination)
 - Centre de transfusion sanguine
- 1500 personnes travaillent sur le campus dont 450 chercheurs et de nombreux stagiaires français et étrangers.
- Ses 60 unités de recherches sont regroupées en 7 départements :
 - Bactériologie et Mycologie,
 - Ecologie
 - Virologie,
 - Immunologie,
 - Biochimie et Génétique Moléculaire,
 - Biologie Moléculaire,
 - Physiopathologie Expérimentale et Immunologie Médicale.
- En 1980, le financement de l'Institut Pasteur a été assuré par : l'Etat (47 %), son Industrie (13 %), ses Ressources Propres (20 %) et le Mécénat (20 %).

**L'ASSOCIATION
POUR LE DEVELOPPEMENT
DE L'INSTITUT
PASTEUR**

- Créé fin 1977, l'ADIP a pour vocation de faire connaître les activités de recherche de l'Institut Pasteur, lui apporter son aide morale et financière pour contribuer au développement de ses laboratoires et des moyens mis à leur disposition.
- L'Institut Pasteur représente une composante essentielle de la recherche biologique et médicale française et du prestige scientifique de notre pays.
- Pour lui permettre de perpétuer son rôle national et international, vous pouvez rejoindre les nombreux adhérents de l'ADIP.
- Association pour le développement de l'Institut Pasteur
25-28 rue du Docteur Roux
75015 PARIS
Tél. : 541.52.66 - poste 792 et 988
N° de CCP Institut Pasteur :
336-94 E PARIS

BIOLOGIE ET GÉNÉTIQUE MOLÉCULAIRES

PAR PHILIPPE KOURILSKY (62)
MAITRE DE RECHERCHE AU CNRS

La biologie est certainement, de toutes les sciences, celle qui connaît, à ce jour, le développement le plus spectaculaire. La source de cette explosion scientifique doit être recherchée dans la découverte d'un certain nombre de principes unitaires qui ont rapidement pénétré des domaines entiers de la biologie, leur fournissant le cadre conceptuel nécessaire à de nouvelles recherches. Au nombre de ces découvertes majeures, équivalentes en importance à celles qui fondèrent la physique quantique, citons d'abord l'élucidation de la structure de l'ADN (acide déoxyribonucléique). Ces longues molécules possèdent une structure en double hélice quasi-universelle chez les êtres vivants, qui contient en elle-même l'essence des processus héréditaires : la séparation de deux hélices complémentaires et le recopiage de chacune d'entre elles donne naissance à deux molécules filles identiques à la molécule parentale. Citons aussi l'élucidation du code génétique*, lui aussi quasi-universel, par lequel trois bases de l'ADN, dans un ordre donné, spécifient un acide animé dans une protéine.

Ces découvertes majeures et d'autres dont il sera question plus loin, sont les plus beaux fleurons de la biologie moléculaire. Celle-ci pose en principe que les phénomènes biologiques sont explicables en termes de molécules et d'interactions entre molécules. C'est l'évi-

dence, dira-t-on. Certes, à ceci près que ce credo anti-vitaliste, posé à une époque où les outils d'analyses des macromolécules biologiques étaient presque inexistantes, possède une valeur historique profonde. On y reconnaîtra l'apport de physiciens et de chimistes qui, après Schrödinger, avaient commencé, dans la première moitié du siècle, à défricher à leur manière le monde complexe des macromolécules biologiques.

Moins de trente ans après la découverte de la structure en double hélice de l'ADN, les progrès accomplis sont proprement effarants. Ce qui confère, bien entendu, à la biologie une dimension particulière, c'est la diversité et la complexité des êtres vivants : diversité des espèces qui toutes possèdent des caractéristiques propres ; complexité des êtres, même des plus simples, des objets unicellulaires comme les bactéries, jusqu'aux êtres les plus complexes tels que l'homme ou les modèles expérimentaux que sont la souris et la mouche. Au cours des trois dernières décennies, la biologie moléculaire

a continué de percer la complexité tout en dégagant les traits d'union – et les différences profondes – dans la diversité des êtres. Elle le peut parce qu'elle procède d'une démarche et de principes unitaires, et reste à ce titre le moteur le plus fort de la biologie moderne. Bien entendu, la biologie moléculaire n'est pas toute la biologie. Elle est d'ailleurs quasi-impuissante devant toutes sortes de problèmes (l'organisation du cerveau par exemple) pour lesquels d'autres approches et d'autres méthodes sont, pour l'instant, les clés du progrès.

On peut distinguer, dans l'évolution de la biologie, plusieurs grandes étapes. Jusqu'en 1965 environ, un large consensus international s'était établi au sein de la communauté des biologistes pour concentrer un maximum d'effort sur un modèle simple, en l'occurrence une bactérie commune de l'intestin humain, *Escherichia coli*. Hormis quelques considérations pratiques, le choix de cette bactérie fut déterminé plus par le hasard que par des raisons scientifiques profondes. Le résultat de cet effort cohérent fut d'engendrer une progression très rapide des connaissances sur cet être unicellulaire qui devint rapidement – et reste – l'être le mieux connu au monde. Simultanément furent effectuées de très importantes percées conceptuelles. L'ADN avait été reconnu comme le support des gènes et le mécanisme de sa réplication compris dans ses grandes lignes. Le code génétique

* Quatre bases, A, T, G et C, forment les éléments constitutifs de l'ADN. L'ordre dans lequel ces maillons sont enchaînés conditionne la nature de l'information qu'il porte. Les protéines sont constituées de l'enchaînement des acides aminés choisis dans 20 acides aminés possibles.

avait été déchiffré. La machinerie d'expression des gènes avait été démontée en ses éléments constitutifs et la mécanique d'ensemble avait été décrite. Enfin, largement grâce aux travaux de Jacob et Monod, on se faisait une idée précise de certains mécanismes de régulation qui président à l'expression des gènes en réponse à des stimuli externes. Certes, on était loin de la description exhaustive d'*Escherichia coli*, des 3 000 ou 4 000 gènes qui composent son patrimoine héréditaire, des protéines correspondantes, des petites molécules produites enzymatiquement dans les voies métaboliques, des interactions régulatrices complexes qui réalisent l'homéostasie par rapport au milieu. Cet objectif est d'ailleurs encore loin d'être atteint. Mais on pouvait considérer que les grands principes avaient été dégagés. Beaucoup en tirèrent la conclusion qu'il était temps de s'attaquer à des systèmes plus complexes et aussi proches de l'homme que possible.

Dans une deuxième phase, donc, fut entreprise l'étude, sous l'angle moléculaire, des cellules dites eucaryotes (il s'agit de cellules possédant un noyau, plus élaborées que les bactéries qui n'en possèdent pas) et d'êtres multicellulaires. D'aucuns se penchèrent sur des organismes de complexité intermédiaire, tels que la mouche du vinaigre ou drosophile ; d'autres sur des mammifères, surtout la souris. D'autres encore s'en furent explorer des systèmes moins classiques mais présentant des avantages spécifiques pour l'étude de tel ou tel phénomène ou organe (système nerveux ou visuel rudimentaire, etc.). Certains se consacrèrent à l'étude de la différenciation, c'est-à-dire à la question de savoir comment une même cellule (l'œuf fécondé) donne naissance, au cours du développement de l'individu, à des cellules qui, bien que porteuses du même patrimoine héréditaire, ont des spécialisations très diverses (cellules musculaires, osseuses, sanguines, etc.). D'autres s'attaquèrent aux problèmes de communication entre cellules, ou d'organisations cellulaires au sein d'un même organisme — avec, à l'épicentre, l'étude du système nerveux central et celle, sous-jacente, de la mémoire et, pourquoi pas ? de la pensée.

Comme prévu, l'analyse se heurta à des difficultés considérables. Les choix des angles d'attaque moléculaires n'étaient pas partout évidents (il est clair que l'étude du système nerveux central progresse plus par le biais de l'anatomie et de l'électrophysiologie que par l'approche moléculaire proprement dite). La simple

définition des questions à poser, et l'extraction de systèmes modèles appropriés pour y répondre, furent en soi des entreprises difficiles. En ce sens, on peut considérer que la période s'étendant jusqu'à 1976-78 environ fut une période d'élaboration de systèmes. En fonction de questions de mieux en mieux définies, des modèles expérimentaux furent choisis et décrits de façon toujours plus précise. Toutefois, l'analyse en profondeur se heurta à l'absence d'outils suffisamment puissants et spécifiques. Les problèmes furent cernés ; peu de vraies réponses furent apportées.

Il importe ici de souligner l'importance de la génétique dans la biologie actuelle. La génétique est l'étude des gènes. Une bactérie porte environ 3000 gènes, et le patrimoine héréditaire de l'homme est environ 1 000 fois plus complexe. Lorsqu'un gène est altéré (muté) il ne remplit plus sa fonction première, de sorte que la cellule mutante qui l'héberge présente, par rapport à la cellule non mutée, des différences fonctionnelles. Cette analyse différentielle n'est réellement puissante que si l'expérimentateur est en mesure d'engendrer des mutants à volonté, en fonction de tel ou tel schéma expérimental. Cette capacité existait pour les bactéries comme *Escherichia coli* mais elle était quasi-nulle pour la plupart des cellules eucaryotes, ce qui freina considérablement les recherches. Il est un deuxième volet à la génétique : l'étude des gènes eux-mêmes (et non plus des cellules qui les hébergent). Le préalable est ici de savoir purifier des gènes spécifiques, problème méthodologique qui n'était soluble que de façon non générale et chez les seules bactéries.

Ainsi, jusqu'à une époque récente, la biologie moléculaire de systèmes plus complexes que les bactéries était privée de son bras séculier : la génétique. L'explosion de résultats spectaculaires à laquelle nous assistons depuis quelques années provient de plusieurs progrès méthodologiques qui ont reculé les bornes opérationnelles de la biologie. Le plus important est certainement l'avènement du génie génétique qui, libérant en partie la génétique des systèmes eucaryotes, permet maintenant de les analyser en profondeur.

Cette percée méthodologique majeure — et d'ailleurs inattendue — dérive d'une meilleure connaissance de l'ADN. Il est important de réaliser que, jusque dans les années 1975, la notion de gène était certes un impératif logique dérivé de faits expérimentaux irréfutables. Cependant,

elle restait abstraite en ce sens que le gène demeurait difficile à purifier et relativement indéfini, tant qu'il était impossible de déterminer sa structure chimique, en l'occurrence l'ordre d'enchaînement (la séquence) des quatre bases dont il est constitué. Un gène de taille moyenne comprend environ 10^3 bases (et chaque cellule humaine héberge quelque 3×10^9 bases dans son ADN).

Des méthodes sans cesse raffinées de détermination de séquence ont maintenant vu le jour et radicalement modifié cette situation. On dispose aujourd'hui de la séquence d'environ 500 000 bases de différents gènes dans différents organismes. Quant aux problèmes de purification des gènes — préalable à toute détermination de séquence — ils furent en grande partie et fort élégamment résolus par les méthodes de clonage (cf. La Recherche, 1980, 11 : 390-402). On peut dire que depuis cinq ans environ la génétique est, à son tour, devenue moléculaire. L'avènement de cette génétique moléculaire constitue un tournant décisif en biologie parce qu'elle offre des moyens d'investigation rapides et puissants et qu'elle débouche sur des informations capitales : quoi de plus fondamental, en un sens, que les gènes, puisque ceux-ci contiennent toute l'information programmée d'un être ? Il apparaît en outre que la génétique moléculaire poursuit l'œuvre d'unification entamée par la biologie moléculaire. Tel gène, par exemple, peut être pisté et analysé dans différentes espèces au cours de l'évolution. La comparaison de séquences des gènes ou de leur structure fait apparaître des similarités d'ensemble par rapport auxquelles les divergences d'espèces prennent un sens nouveau.

Ainsi, depuis quelques années, nombre de systèmes modèles précédemment élaborés, font l'objet d'études intensives grâce à des outils mieux appropriés. Des progrès considérables ont été enregistrés. On peut légitimement espérer que d'ici quelques années seront élucidées plusieurs questions majeures touchant à la différenciation — et à divers cancers qui résultent du dérèglement de processus de différenciation.

On sait — et c'est même l'aspect qui l'a rendu le plus « populaire » — que le génie génétique n'est pas qu'un très bel outil de recherche fondamentale mais qu'il a en outre des applications potentielles très vastes. En bref, la capacité d'implanter et de manipuler des gènes dans des cellules étrangères ne sert pas qu'à les purifier et à les analyser.

Elle ouvre la voie à de nouvelles productions et à l'amélioration de productions traditionnelles. Prenons l'exemple de produits extraits de l'homme à des fins de thérapeutique humaine. Les problèmes d'approvisionnement sont évidents. L'hormone de croissance humaine (qui permet de corriger certains nanisme) est, pour sa part, extraite de cadavres. Construire une souche bactérienne qui synthétise l'hormone de croissance humaine, permettrait de produire cette dernière par fermentation. La chose a été réalisée et, si les essais cliniques sont satisfaisants, le produit « bactérien » sera sur le marché d'ici quelques années. Il y a bien d'autres possibilités ouvertes (vaccins, etc.) et, au-delà de la thérapeutique humaine, toutes sortes de secteurs d'application dans les domaines de la microbiologie industrielle, de la dépollution, des énergies nouvelles, de l'agriculture, etc. Plus généralement, il faut en fait saluer l'irruption de la biologie et de la génétique moléculaires dans les domaines d'application et leur substitution à des méthodes généralement empiriques pour résoudre des problèmes déterminés de façon plus rationnelle.

LES POLYTECHNICIENS ET LA BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Les polytechniciens n'ont pas joué, dans le développement de la biologie moléculaire, un rôle très important. Il est vrai qu'avant la création d'une option « biologie » à l'École, faire de la recherche en biologie apparaissait le plus souvent comme un choix au mieux exotique et, au pire, si singulier qu'il était tenu pour un symptôme inquiétant de déséquilibre mental. En outre, la tentation était grande, pour les polytechniciens qui désiraient franchir ce Rubicon, de ne le franchir qu'à demi : il était bien naturel de tenter d'exploiter l'acquis et de faire de la biophysique, de la statistique médicale ou diverses études théoriques au lieu de se consacrer à la biologie elle-même pour laquelle il fallait tout reprendre à zéro. Les connaissances acquises à l'École s'avéraient quasiment inutiles, hormis la capacité, douteuse chez les biologistes d'une certaine génération, d'effectuer une règle de trois sans erreur. Peu de polytechniciens firent ce choix radical avant 1960. L'année 1959 est à marquer d'une croix blanche puisque, largement sous l'impulsion de MM. J. Coursaget et J. Monod, quatre polytechniciens s'orientèrent vers la recherche en

biologie. Deux rentrèrent dans le laboratoire de Jacques Monod, à l'Institut Pasteur. L'un, M. Goldberg, se consacra à la biochimie et l'autre, M. Schwartz, à la génétique microbienne. Quelques autres suivirent peu après. Certains furent dirigés par Jacques Monod vers divers lieux de la sphère pasteurienne ou de ses satellites. L'accueil qu'il réservait aux ignorants désireux d'entrer en religion de recherche était exemplaire : il dressait de la recherche un tableau d'une inquiétante noirceur, soulignait à plaisir les difficultés du métier, insistait, pour les polytechniciens, sur la nécessité de tout réapprendre et sur l'humilité dont ils devraient faire preuve. Mais il peignait ces images apocalyptiques avec tant de passion et d'enthousiasme qu'il suscitait plus l'adhésion que la répulsion. Ceux qui résistaient à l'épreuve et revenaient le voir, assistaient à un changement d'attitude radical et recevaient des conseils prodigués avec bonne humeur et bonté.

Une des grandes traditions de l'Institut Pasteur des années 1960-1970, largement créée par F. Jacob et J. Monod, était la génétique bactérienne, menée dans la ligne de la grande biologie moléculaire de l'époque. La formation polytechnicienne s'accordait assez bien au mode de pensée génétique. Les formations de nombreux chercheurs de l'époque étaient soit médicales, soit purement biologiques et, en l'absence des tronc communs d'enseignement que nous connaissons aujourd'hui, souvent peu nourries de sciences exactes. Elles ne prédisposaient pas toujours à la rigueur et à l'abstraction, alors que la formation polytechnicienne (ou la préparation aux concours ?) armait les individus pour extraire de la complexité biologique les modèles adéquats. La génétique, par son exigence d'imagination et d'abstraction, est assez proche de la construction mathématique. Quelques polytechniciens s'y plurent et y réussirent bien.

M. Schwartz (59) puis M. Hofnung (61) se consacrèrent à la génétique microbienne. Leurs travaux sur l'opéron maltose d'*Escherichia coli* sont donc le fil de la tradition pasteurienne évoquée plus haut. A Rambach (65) commença par travailler sur des questions classiques de génétique des bactériophages (virus attaquant les bactéries) dans le laboratoire de F. Jacob. La décision prise par ce dernier d'abandonner l'étude des bactéries le laissa dans une certaine solitude. A. Rambach entreprit alors, en 1973, de construire des vecteurs biologiques pouvant servir aux transplantations

d'ADN par génie génétique. Il fut, à ce titre, l'un des géniteurs de cette méthodologie et celui qui, le premier, l'implanta en France. J. Monod, alors directeur de l'Institut Pasteur puis, après sa mort, F. Gros, saisirent rapidement l'importance du génie génétique et promurent la création et l'extension d'une grande unité de recherche portant ce nom. La présence, dans ses cadres dirigeants, de trois polytechniciens (M. Hofnung, A. Rambach et moi-même) illustre peut-être l'union culturelle profonde des mathématiques et de la génétique.

Un nombre croissant de polytechniciens devait rejoindre la recherche biologique, dans des domaines très variés : recherche médicale, biochimie, neurobiologie, génétique végétale, etc. et des lieux très divers. Le mouvement s'amplifia avec le déménagement de l'École à Palaiseau, la création de laboratoires de biologie et l'institution d'un enseignement à option. La réussite est souvent très bonne, avec parfois quelques échecs — tant il est vrai qu'en recherche, le caractère profond des individus, leur attitude devant le travail expérimental et intellectuel, sont les clés du succès, plus que les connaissances qu'ils ont acquises dans leur vie antérieure.

L'AVENIR

La biologie fait maintenant grand bruit. Le génie génétique a servi de support aux media pour diffuser une certaine idée de la biologie, de ses applications — ainsi qu'une certaine image de risques potentiels qui y sont associés. Le rapport commandé en 1979 par le Président de la République à MM. F. Gros, F. Jacob et P. Royer, ainsi que plusieurs actions prioritaires de soutien à la recherche, entreprises depuis, montrent l'intérêt affiché par les pouvoirs publics. Quel est l'avenir ?

Il est incontestable que l'évolution récente de la biologie lui a permis de quitter le domaine des sciences d'observation pour entrer dans celui des sciences exactes. La découverte, par le canal des méthodes moléculaires, de quelques grands concepts généraux, a structuré en profondeur et ordonné la diversité, souvent apparente, du monde vivant. Il est surprenant que ce savoir biologique de base soit si peu enseigné et ne fasse pas partie intégrante de la culture générale de l'homme d'aujourd'hui : ces connaissances impliquent nos existences mêmes et sous-tendent des domaines d'application importants dont la médecine tout entière et les biotechnologies

au sens large ; elles posent question sur le plan éthique et philosophique : ne devraient-elles par faire partie du bagage polytechnicien ?

Il est important de prendre acte du fait qu'il n'existe plus de différence « qualitative » entre certaines branches de la biologie et d'autres sciences expérimentales comme la physique et la chimie. Il s'y exerce la même rigueur, il s'en dégage la même précision de connaissances, au prix d'efforts techniques de même nature, et de la même démarche intellectuelle. Sous cet angle, il est clair qu'il n'y a aucune raison de ne pas généraliser, dans les universités, comme dans les écoles d'ingénieurs, l'enseignement de la biologie. Il s'agit en fait d'une question de débouchés et ceux-ci commencent à s'ouvrir, au plan de la recherche et au plan industriel.

La recherche biologique est en pleine expansion et pour longtemps encore. Il suffit, pour s'en convaincre, d'évoquer de façon, même fugace, la diversité du monde vivant, les équilibres multiples qui le régissent, ou l'extraordinaire complexité des êtres. Les problèmes posés sont formidables d'importance et de difficulté. La description des milliards de cellules de l'organisme humain, de leurs interrelations (telles que les 10^{13} ou 10^{14} connexions neuronales dans le cerveau), des 3×10^9 bases constitutives de l'ADN humain, des dérèglements des processus informationnels, du développement des organismes en fonction du temps, etc. occupera des générations de chercheurs et ne pourra déboucher que grâce à des concepts nouveaux mais aussi des approches pluridisciplinaires et des techniques toujours plus puissantes. La biophysique, il y a une vingtaine d'années, était le plus souvent de la physique pure appliquée à des molécules biologi-

ques ; elle est de plus en plus de la véritable biologie utilisant les méthodes physiques avancées. Plus question d'analyser les séquences des bases de l'ADN sans outil informatique, la structure des molécules sans appareillages sophistiqués, etc. Cette technicité croissante, parfois mal perçue par les biologistes, n'implique pas que les machines : elle s'accompagne d'une concentration qui a des conséquences profondes sur la formation des hommes, l'organisation des équipes, la vie des laboratoires et les modes d'échanges scientifiques. L'ère du chercheur isolé est, dans la plupart des cas, bel et bien révolue. Les choix des sujets de recherche constituent, dans certains secteurs, des investissements importants, mettant en jeu des équipes structurées pour plusieurs années.

Les applications de la biologie nous touchent très directement par le biais de la médecine, de l'alimentation, de l'environnement, de l'énergie, de l'agriculture, de l'industrie. Il est difficile de mesurer l'impact présent de la biologie et de la génétique moléculaires sur la médecine. Ce que l'on peut noter en toute certitude, c'est un changement d'attitude profond qui substitue à un empirisme latent une rationalisation croissante. Un premier reflet sera sans doute trouvé dans l'amélioration considérable des méthodes d'analyse, préalable à toute médecine préventive. Même tendance pour ce qui concerne les biotechnologies au sens large. La pénétration, mentionnée plus haut, de la génétique moléculaire dans ces domaines, constitue une véritable révolution, en ce qu'elle démultiplie les capacités d'intervention sur les microorganismes producteurs. Une des suites attendues, d'importance majeure, sera la manipulation d'espèces végétales que l'on peut reconstituer à

partir d'une seule cellule, préalablement manipulée. Il est important de mentionner ici, même brièvement, les difficultés que soulève le transfert des connaissances entre une science fondamentale à base très large, en évolution extrêmement rapide et les secteurs d'utilisation. La situation diffère de celle de l'informatique, par exemple, du fait de l'ampleur de l'interface à établir. Le simple maintien d'une bonne capacité de dialogue entre le monde de la recherche fondamentale (presque exclusivement dans le secteur public) et celui de la recherche appliquée et du développement (largement dans le secteur privé) nécessite des mesures particulières. L'enjeu est de taille si l'on admet, avec certains experts, que le chiffre d'affaire des biotechnologies devrait dépasser 15 milliards de francs en 1985, si la France veut conserver la place qu'elle occupe actuellement sur les marchés mondiaux. Ne serait-il pas logique que certains cadres ou futurs cadres de ces secteurs reçoivent une formation biologique approfondie — la meilleure étant, sans nul doute, la formation par la recherche ?

Ainsi, il y aurait certainement place pour de nombreux polytechniciens dans différents secteurs de la biologie, qu'ils aient vocation de chercheurs ou de cadres industriels. Mais, il faut savoir combien, à l'heure actuelle, les voies de la recherche fondamentale sont difficiles. Les postes sont rares et la compétition âpre. Les priorités affichées devraient contribuer à améliorer la situation. L'effort entrepris sera-t-il suffisant ? Faudrait-il une réorganisation plus poussée de l'appareil de recherche ? Un intérêt plus marqué de la part des industriels ? Et, pour commencer, une réflexion approfondie sur la place de la biologie à l'École Polytechnique ?

LES X DANS LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

PAR RICHARD TOMASSONE (57)
PROFESSEUR DE MATHÉMATIQUE ET D'INFORMATIQUE
A L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE DE PARIS GRIGNON
CHEF DU DÉPARTEMENT DE BIOMÉTRIE
DE L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE



Parler des X dans la Recherche Agronomique est à la fois aisé et délicat. Aisé, puisque les Polytechniciens qui ont choisi cette branche de la Recherche sont peu nombreux : il serait facile d'en dresser la liste complète. Délicat, parce que, du fait précisément qu'ils sont peu nombreux, il est difficile de dégager du domaine scientifique lui-même des éléments permettant d'appréhender une logique sous-jacente à leur choix.

Sans doute des facteurs personnels – voire le hasard – ont pu conduire quelques Polytechniciens à se lancer dans un champ que leur passé scolaire ne leur ouvrait pas naturellement. Et n'est-ce pas justement là que se trouve la logique que nous cherchons à découvrir ? La Biologie est une discipline scientifique « autre », entrevue au cours des études secondaires, oubliée ensuite, ou peu s'en faut, qui peut néanmoins présenter pour certains un attrait suffisant. Il apparaît, de plus, que la Biologie devra connaître un jour une révolution analogue à celle que la Physique, par exemple, a connu il y a une centaine d'années ; cette révolution est là, l'humanité dans son ensemble va la subir ; il est donc important et captivant, d'un point de vue humain aussi bien qu'intellectuel, d'y participer de façon active.

Sans doute n'est-il pas inutile, avant d'entrer dans le cœur de notre exposé, de rendre un discret hommage aux plus anciens qui ont choisi cette voie. Certes, leur activité a été surtout orientée vers une recherche appliquée, mais leur présence a été des plus importantes pour attirer de plus jeunes qu'eux, leur permettre de s'épanouir et de s'adapter à un milieu entièrement nouveau ; sans eux il n'y aurait peut-être pas de Polytechniciens dans la Recherche Agronomique !

Avant de présenter quelques domaines de recherche originale dans lesquels des Polytechniciens ont apporté leur contribution, il nous paraît important de situer le cadre dans lequel cette recherche s'effectue. En France, la plus grande partie de la Recherche Agronomique se fait à l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), Institut sans doute peu connu de la majorité des lecteurs de cette revue.

L'INRA MOTEUR DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE FRANÇAISE

L'INRA est un établissement de recherches orienté pour 50 à 60 % de son activité, fondamental pour 25 à

35 %, appliqué pour le reste. Les échelles de temps des travaux sont très diverses ; un programme de sélection végétale demande généralement au moins dix ans, alors qu'un programme de microbiologie pourra être de l'ordre de l'année. La plupart des travaux ont une « durée de vie » supérieure à trois ans. Les objectifs actuels de la recherche agronomique résultent de l'analyse d'une situation économique et politique qui ne peut être appréhendée, en cette fin de siècle, qu'à l'échelle planétaire. Quels sont les différents éléments de cette analyse ?

- La faim sévit dans un monde en voie de développement ; les modèles de développement proposés par les pays industrialisés ne sont sûrement pas transposables directement dans les pays en voie de développement. Ce n'est ni possible – le tiers-monde n'est généralement pas solvable – ni souhaitable – l'identité culturelle d'un pays est intimement liée à ses pratiques agricoles qui ne peuvent évoluer que de façon lente.

- La malnutrition par excès dans les pays développés accroît les dépenses de santé.

- La course à la productivité agricole (par homme, par animal, par hectare) conditionne les niveaux de vie mais s'accompagne de coûts intermédiaires croissants et de déséquilibre dans la balance des paie-

ments et augmente les disparités régionales.

- L'Europe devient auto-suffisante et devra tôt ou tard aligner ses prix — au moins pour les excédents — sur les cours mondiaux.

- La crise des matières premières non renouvelables doit nous contraindre à mettre en place des systèmes de production plus économiques et ouvrir des débouchés nouveaux à l'agriculture comme source de matière première industrielle et énergétique.

- La capacité d'un pays se mesurera dans sa possibilité d'exporter de nouveaux patrimoines génétiques, du monde végétal ou animal, avec leurs techniques d'exploitation ou de nouvelles technologies de transformation avec leurs équipements correspondants.

Cet ensemble de données socio-économiques d'un monde en profonde mutation doit être confronté avec les très riches potentialités de la biologie moderne. Adapter ces potentialités aux nécessités du monde moderne permet de définir trois lignes directrices de la recherche agronomique :

1. Agriculture plus compétitive et moins dépendante :

plus compétitive, car plus économe en moyens de production, elle doit permettre une utilisation plus « douce » des entrants physico-chimiques ; ce faisant elle doit mieux répondre au double souci de protection de l'environnement et de la qualité des produits alimentaires.

2. Valorisation de l'espace national :

cette valorisation doit conserver le caractère renouvelable des ressources, en évitant par exemple de faciliter la création de déserts français. Cette valorisation de tout l'espace implique la diversification des matériels biologiques (et au moins la conservation des races naturelles) et les modèles de mise en valeur et d'exploitation.

3. Développement de l'industrie agro-alimentaire et de l'agro-récupération :

l'homme n'utilise qu'une partie de la biomasse annuelle produite à des fins alimentaires ; la récupération des sous-produits ou des déchets ouvre la voie à de nouvelles ressources en matières premières, éventuellement pour la production d'énergie.

Comment s'insèrent les Polytechniciens dans ce vaste schéma, c'est ce que nous allons essayer de voir en donnant trois exemples de recherches auxquelles ils ont participé.

MANIPULATIONS CELLULAIRES SUR PROTOPLASTES VÉGÉTAUX

Les techniques de culture *in vitro* de tissus végétaux permettent d'isoler des organes, des tissus ou même des cellules à partir d'une plante, et de les cultiver sur des milieux synthétiques dans des conditions aseptiques. Il est alors possible, non seulement d'étudier le développement de ces tissus en l'absence de toute liaison avec le reste de la plante, mais aussi de provoquer des modifications de ce développement qui sont impossibles à observer dans des conditions naturelles. Pour quelques espèces comme la carotte, le tabac, la pomme de terre, on sait régénérer des plantes entières à partir de cellules végétales isolées intactes, ou même à partir des protoplastes (les cellules privées de leur paroi). Certaines modifications génétiques de ces cellules ou de ces protoplastes devraient pouvoir s'exprimer dans les plantes qui en sont issues. On cherche à provoquer des mutations sur des protoplastes préparés à partir de feuilles de tabac — espèce qui sert de modèle — à sélectionner ensuite des colonies cellulaires issues de ces protoplastes, et enfin à régénérer des plantes présentant de nouveaux caractères à partir des colonies sélectionnées. Certaines de ces plantes mutantes, en permettant une étude plus approfondie de mécanismes physiologiques, peuvent quelquefois présenter des caractéristiques agronomiques avantageuses ; par exemple elles peuvent mieux utiliser des engrais, mieux résister à des agents pathogènes ou à des conditions d'environnement défavorables.

Enfin, la fusion de protoplastes provenant d'espèces ou de variétés différentes permet de réaliser des échanges de matériel génétique nucléaire, cytoplasmique, éventuellement des deux. Cet échange n'est pas possible par l'hybridation classique par voie sexuelle. On peut imaginer que ces recherches de biologie cellulaire permettront peut-être de créer de nouvelles plantes, puisque les techniques qui sont actuellement employées rendent le matériel héréditaire des cellules plus accessible, et par suite plus malléable. (Ces recherches sont effectuées au sein du département de physiologie et biochimie végétales de l'INRA).

GÉNÉTIQUE CELLULAIRE

L'étude des mécanismes moléculaires de l'hérédité de certains caractères quantitatifs est essentielle

pour le contrôle et l'amélioration des performances des animaux domestiques ; elle peut fournir une aide précieuse dans la mise au point de techniques non conventionnelles en sélection animale. Pour cela, il faut décrire les gènes, faire une carte génique en localisant leur emplacement sur les chromosomes, isoler leurs produits primaires, caractériser leurs fonctions et les différentes relations entre les gènes et leurs produits. Ce type de travail fait appel à des technologies complémentaires :

- génétique somatique, c'est-à-dire transposition sur cellules animales des acquis de la génétique moléculaire microbienne ;

- génie génétique ou transfert des gènes entre cellules ;

- chimérisation ou introduction d'une cellule isolée en culture dans un jeune embryon qui donne naissance à un animal chimère ; dans certains cas cet animal chimère transmet à sa descendance le génotype de la cellule exogène.

Les efforts actuels portent sur l'analyse du contrôle génétique de deux modèles de la différenciation cellulaire : la glande mammaire et la cellule folliculaire ovarienne. On peut définir, ces deux modèles caractéristiques de fonctions physiologiques par deux composantes : le réseau métabolique des réactions enzymatiques et le système des régulations qui contrôlent le fonctionnement du réseau. S'appuyant sur des bases biologiques complètes un modèle mathématique de l'induction de l'opéron lactose d'*E. Coli* a été entièrement mis au point. Il a en particulier permis de montrer que le système représentant une bactérie sauvage admettait un seul état d'équilibre demeurant stable dans un grand domaine de variation. L'étude numérique du modèle va plus loin, elle permet d'évaluer les différentes sources de retard dans l'induction de la croissance après ensemencement sur un milieu de culture riche en lactose mais dépourvu de glucose.

Certes ces recherches sont fondamentales, mais ce qu'il est intéressant de relever, c'est que la même équipe qui les effectue est confrontée à des problèmes dont l'intérêt pratique est évident dans la gestion de nos ressources naturelles : comment maîtriser l'évolution de populations de petites tailles, en particulier comment sauvegarder certaines races animales en voie de disparition ? C'est d'ailleurs une des originalités de ces équipes de recherches agronomiques que de conserver des objectifs de recherche orientée même dans les aspects les plus fondamentaux de leurs travaux.

(Ces recherches sont effectuées au sein du département de génétique animale de l'INRA).

PRÉDICTION D'ÉPIDÉMIE

Avoir les moyens de prédire de façon fiable les maladies des plantes est un objectif important et ambitieux. Important, quand on sait que les pertes dues à des maladies peuvent être fort graves en particulier d'un point de vue économique ; ambitieux car la maladie étant un phénomène complexe, la construction d'un modèle de prévision demande qu'on le comprenne dans ses moindres détails. En outre, ce sont les conditions climatiques qui décident de l'évolution plus ou moins rapide des maladies : prévoir dans le domaine phytosanitaire consiste à donner une indication sur la maladie au moment de la récolte, ou au moment où la décision du contrôle chimique doit être prise, à partir de données climatiques connues jusqu'à une date très antérieure.

La septoriose du blé (*Septoria Nodorum*) est une mycose dispersée par la pluie ; le modèle utilisé pour représenter son évolution fait appel à des outils du calcul des probabilités suffisamment complexes pour que rares aient été les études en la matière. Des données climatiques (températures, durée de pluie, hauteur de pluie, durée d'humidité relative saturante, durée d'ensoleillement) et des données relatives à l'évolution de la surface foliaire constituent les entrées du modèle. Les sorties sont, par exemple, la surface malade qui constitue l'indicateur visuel de l'état de la maladie (aire de la partie de la surface foliaire recouverte de nécroses) ou la surface fructifiée (partie de la surface malade susceptible de transmettre la maladie).

Les perspectives d'utilisation d'un tel modèle sont intéressantes à divers titres ; en particulier un modèle peut permettre de traiter si nécessaire, mais aussi il peut indiquer qu'un traitement est inutile voire néfaste ; en plus du gain économique on retrouve donc un souci de protection de l'environnement.

La mise en œuvre est complexe pour de nombreuses raisons ; il n'est pas possible de plaquer un modèle mathématique sans comprendre la biologie du phénomène à un niveau très fin d'analyse. Et du seul point de vue mathématique, pour que le modèle soit opérationnel il faut maîtriser d'égale façon des outils probabilistes et d'analyse des données ; l'expérience prouve qu'atteindre cette maîtrise est excessivement rare chez la majorité des chercheurs. (Ces recherches sont effectuées au sein du département de biométrie en collaboration avec celui de phytopathologie).

Naturellement, ces trois exemples, pour représentatifs qu'ils soient, ne constituent pas un bilan complet de la contribution des Polytechniciens à la Recherche Agronomique. Nous avons négligé des domaines par ailleurs fort importants comme la recherche forestière et l'étude des sols. La première a déjà été évoquée dans un numéro précédent de cette revue (*); il ne faut jamais oublier que la France est, des pays de la communauté européenne, celui où les potentialités forestières sont les plus importantes du triple point de vue des « gisements » de biomasse disponibles, de la production forestière classique et de son importance dans les équilibres biologiques.

(*) La Jaune et La Rouge décembre 1980.

Aussi n'est-il pas mauvais qu'un X ait fait une recherche sur le rôle dépolluant des forêts, et qu'il ait conclu que le rôle régulateur de la forêt n'est pas aussi important qu'on pourrait le penser. Par conséquent, les mesures de lutte contre la pollution doivent essentiellement se faire à la source – auprès des usines – et il ne faut pas espérer que la forêt se chargera, seule, de corriger nos erreurs comme certains aimeraient bien le laisser croire.

La seconde, l'étude des sols, est a priori un élément essentiel de toute recherche agronomique ; de la cartographie des sols à des fins d'aménagement agricole à l'étude de systèmes complexes comme le système argile-oxydes métalliques, il y a toute la gamme des travaux se situant entre la recherche appliquée et la recherche fondamentale ; et des Polytechniciens ont participé aux deux.

À travers cette présentation très peu technique, nous avons seulement voulu montrer comment, même dans un domaine aussi peu « classique » pour un Polytechnicien, il était possible de réaliser des travaux de recherche de pointe. De fait, si on pouvait imaginer chez des Polytechniciens l'existence de qualités d'adaptation, encore n'était-il pas inutile de les présenter concrètement.

Ce texte n'a pu être écrit que grâce aux documents qui m'ont été fournis par les camarades dont on trouvera les noms ci-dessous ; mais son auteur porte l'entière responsabilité des éventuelles erreurs.

P. Arbonnier (X38), D. Auclair (X70), R.A.L. Betremieux (X38), J. Bouchon (X59), M. Caboche (X66), P. Cambier (X72), C. Chevalet (X66), E. Jolivet (X70), C. Millier (X60), P. Mulsant (X66), R. Tomassone (X57), F. Rinville (X59).

LA RECHERCHE EN SCIENCE ÉCONOMIQUE

PAR EDMOND MALINVAUD (42)
DIRECTEUR GÉNÉRAL DE L'INSTITUT NATIONAL
DE LA STATISTIQUE ET DES ÉTUDES ÉCONOMIQUES (INSEE)



Dresser, pour un public de non spécialistes, un vaste panorama des progrès de la connaissance en économie, le faire en rendant compte du rôle joué par des Polytechniciens, c'est accepter de déplaire à beaucoup de mes collègues qui trouveront ma présentation tronquée et injuste vis-à-vis des domaines auxquels ils ont contribué (1). Qu'ils m'en excusent. Cet article ne s'adresse pas à eux, mais au contraire aux X les moins informés du sujet, à ceux qui n'ont que faire des congratulations mutuelles, si appréciées dans les cercles académiques.

Avant toute autre chose, il convient de prendre une vue globale de ce que la science économique est devenue au cours des cinquante dernières années. Ceci permettra de situer les contributions de trois principaux groupes de chercheurs auxquels des Polytechniciens appartiennent : les économistes mathématiciens, les ingénieurs économistes, les économètres.

I. LA SCIENCE ÉCONOMIQUE

Connaître les phénomènes économiques c'est savoir les observer, les analyser, les expliquer, les prévoir et les influencer. Les progrès à cet égard supposent une accumulation

organisée des connaissances, de telle manière que la compréhension de tout événement nouveau ou le traitement de tout problème nouveau bénéficie d'un acquis préalable.

En science économique comme ailleurs, cet acquis procède de la combinaison de deux voies d'investigation : la réflexion abstraite et théorique d'une part, l'observation et l'induction à partir des faits d'autre part. Il est bien naturel que certains chercheurs se consacrent entièrement à une seule de ces voies ; mais il faut qu'au total elles se confortent l'une l'autre et se rencontrent souvent. Une telle nécessité n'a pas toujours été bien reconnue en économie, mais elle l'a été de mieux en mieux au cours des trente dernières années. C'est probablement le signe le plus manifeste de la maturité de notre discipline.

Ayant à traiter de phénomènes sociaux, l'économie peut souvent considérer directement des grandeurs agrégées et des groupes d'agents. L'observation et les raisonnements sont alors dits « macroéconomiques ». Mais, dans tous les cas pour fonder la modélisation et dans

certains cas pour répondre aux questions abordées, il faut examiner les comportements individuels et les relations entre agents, dans le travail, la production, les échanges et la gestion du capital ; la théorie doit alors être « microéconomique ».

Dans le développement scientifique du dernier demi-siècle, beaucoup de travaux ont eu pour objet de consolider des doctrines, des modes de raisonnement ou de soignant lois empiriques qui préexistaient mais dont la validité était fort obscure. Ce fut le cas par exemple de la théorie microéconomique visant à expliquer comment évoluent, les uns par rapport aux autres, les prix des divers biens, les taux de rémunération, les quantités produites ou consommées ; des modèles mathématiques de plus en plus puissants ont été posés et traités en vue de fonder rigoureusement cette théorie. Ce fut aussi le cas de très nombreux travaux économétriques qui, pour chacun des phénomènes importants, ont cherché à confronter systématiquement les représentations abstraites et schématiques avec les données statistiques concernant différentes périodes, différents pays, différents secteurs, etc.

Cet effort de consolidation a apporté des garanties qui manquaient et a donc conféré de l'objectivité à ce qui relevait préalablement en grande partie de l'intuition. Mais il

(1) A quoi il faut ajouter le fait que l'histoire de la science est émaillée d'erreurs commises par les contemporains sur l'importance respective des divers résultats obtenus par les chercheurs de leur époque. Mon article n'échappe certainement pas à ce défaut.

en a aussi révélé les limites, en dégageant les conditions requises pour que doctrines, modes de raisonnement ou lois soient fondés. Comme ces conditions ont souvent paru restrictives, il a fallu considérer de front les situations où elles ne sont pas satisfaites. C'est ainsi que se sont considérablement enrichies les connaissances scientifiques relatives à de nombreuses questions et que d'importants domaines nouveaux d'investigation ont apparu.

Il ne saurait être question ici de présenter même un résumé de ce qui a été réalisé. Mais il faut sans doute citer les domaines les plus actifs. En microéconomie ce sont les modèles classiques de la concurrence parfaite et de l'allocation des ressources ; les faces multiples de la concurrence effective, dite imparfaite, faces souvent éclairées par la théorie des jeux ; les procédures de décision collective et la planification ; la gestion des services publics. En macroéconomie c'est d'abord le vaste domaine de la croissance et du développement que les économistes ont retrouvé au cours des trente dernières années, alors qu'il avait été négligé depuis le début du siècle. Mais c'est aussi tout un ensemble de travaux, sectoriels ou globaux, théoriques ou économétriques, suscités par la nécessité de mieux comprendre le chômage et l'inflation et par le souci de mieux maîtriser l'évolution économique grâce à des politiques adéquates.

Cet actif développement n'a pas empêché que la science économique soit contestée, même souvent violemment. Il faut bien en comprendre les raisons et surtout y trouver des motifs pour activer plus encore la recherche.

Il y a d'abord les déceptions vis-à-vis de l'évolution vécue. L'extraordinaire croissance économique que le monde a connue depuis 1950 n'a pas toujours été un progrès, loin de là. Mais il n'est pas plus justifié d'en faire le reproche à la science économique qu'il ne serait justifié de reprocher à la médecine le tabagisme moderne. Au contraire, c'est justement parce que l'évolution spontanée des choses n'est pas toujours favorable qu'il faut savoir la comprendre et l'influencer.

Il y a aussi le fait que la science économique est le siège d'oppositions internes entre écoles et que ces oppositions sont magnifiées, à plaisir et hors de propos, par les médias ou par ceux qui ramènent par principe à un choix idéologique toute question concernant l'organisation de la société. En fait pour ceux qui connaissent de près notre science et qui savent s'abstraire du

contexte que je viens d'évoquer, ces oppositions sont bien circonscrites ; elles ne sont pas plus graves que celles rencontrées dans d'autres sciences.

Il y a enfin le fait que la connaissance objective des phénomènes économiques reste très en deçà de ce que l'on souhaite et ce que certains publicistes ont prétendu, notamment durant les années 1960. On a fait en particulier des progrès trop peu significatifs dans certains domaines, tels que la compréhension des facteurs fondamentaux du développement économique, ou celle des causes économiques de la transformation des structures sociales. Pour certaines questions beaucoup mieux appréhendées, par exemple celles concernant la politique économique conjoncturelle, d'importantes zones d'ombre subsistent et la précision des diagnostics s'en ressent. Des défis scientifiques redoutables subsistent donc, mais on ne voit pas pourquoi au moins certains d'entre eux ne seraient pas relevés.

2. ÉCONOMISTES MATHÉMATIENS

Le domaine propre d'investigation des économistes mathématiciens concerne les théories déjà fortement élaborées. Il s'agit de rendre ces théories rigoureuses en les déduisant d'un système explicite d'axiomes. Il s'agit d'en étudier les propriétés.

La théorie prétend par exemple expliquer certains phénomènes, grâce à une représentation dans laquelle l'état du système résulterait de certaines données prises comme variables indépendantes. Il s'agit alors de vérifier la solidité du modèle théorique en étudiant si les variables dépendantes sont bien déterminées, en toute circonstance et de manière unique, par les variables indépendantes, si le processus de détermination est bien convergent, dans quel sens varient les diverses variables dépendantes quand telle variable indépendante croît, etc.

(1) Afin de rendre cet article un peu concret et de montrer la diversité des contributions scientifiques des Polytechniciens, je vais citer par la suite quelques noms. Mais je ne chercherai évidemment pas à être complet. Outre le fait que la frontière entre recherches et études est si floue que toute liste est contestable, je ne ferai pas mention de certains camarades pour la simple raison que parler de leurs recherches m'entraînerait trop loin. Par ailleurs, j'ai pris le parti de m'abstenir de citer quiconque d'une promotion postérieure à 1965, de manière à ne retenir que des vocations confirmées de chercheur.

Il n'y a pas beaucoup de chercheurs économistes mathématiciens dans le monde ; mais ils comptent parmi eux pas mal de Français. On peut même parler d'une école française si on veut dire par là, non que nos compatriotes ont concentré leurs efforts sur une théorie particulière et originale, mais plutôt qu'ils constituent une communauté à l'intérieur de laquelle tantôt ils collaborent, tantôt ils se rencontrent pour faire le point sur leurs recherches respectives. C'est pourquoi les étrangers ont tendance à considérer les économistes mathématiciens français comme constituant un groupe relativement homogène.

Cette école comporte évidemment une bonne proportion de Polytechniciens, chacun ayant accédé à l'économie mathématique par sa propre voie (1)

On en trouve parmi ceux qui sont passés à l'École entre les deux guerres, notamment mes deux professeurs René Roy (14) et Maurice Allais (31). Mais on en trouve plus encore parmi les générations plus récentes, notamment parmi celles qui sont entrées à l'École entre 1955 et 1965 et qui ont choisi leur voie au moment où l'engouement pour l'économie était le plus fort. La plupart d'entre eux sont membres de la Société d'économétrie, la société internationale à laquelle s'inscrivent aussi bien économistes mathématiciens qu'économètres. Certains ont déjà été distingués par leurs pairs et nommés « fellow », un titre qui reconnaît leur contribution à la science économique : S. Kolm (53), J.-C. Milleron (58), J.-M. Grandmont (60), R. Guesmerie (62), G. Laroque (65). D'autres les rejoindront dans les années qui viennent, parmi lesquels on trouvera certainement G. Fuchs (58) et P. Champsaur (63).

Les travaux de l'école française d'économistes mathématiciens présentent un trait particulièrement satisfaisant : ils s'attaquent aux problèmes les plus actuels parmi ceux que considère la théorie économique. Ils relèvent rarement de la scholastique que l'économie politique, comme tout autre système humain de réflexion, entraîne derrière elle, de même que la comète entraîne sa queue. On a pu constater la vigueur de cette école dans des domaines divers tels que les suivants, tous très significatifs pour la connaissance des phénomènes économiques.

La nature et les effets de la concurrence imparfaite ont fait l'objet d'un réexamen complet et d'un sérieux approfondissement par la mise en application et le développement de la théorie des jeux. La logique des décisions sur les équipe-

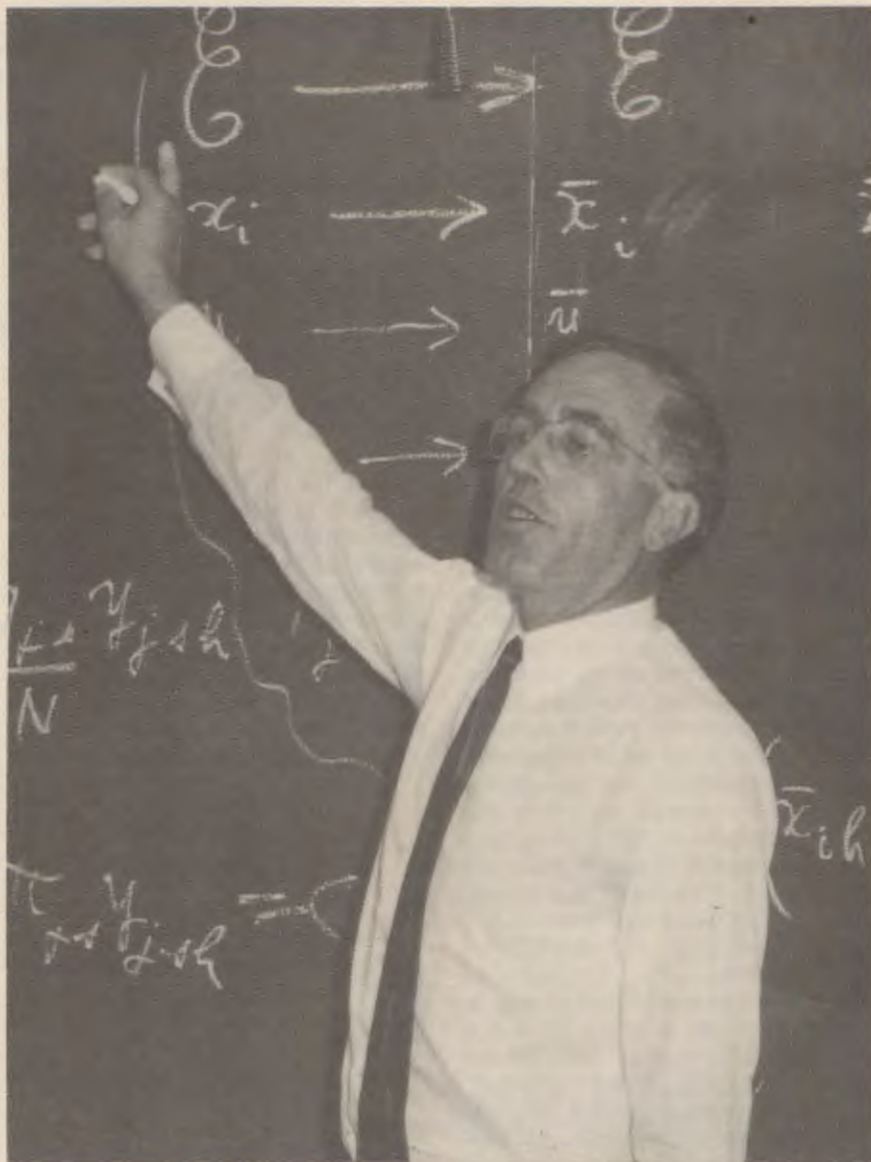
ments collectifs, la tarification et le système fiscal a été située dans un cadre conceptuel général qui a renouvelé les analyses de l'économie publique. La planification au niveau d'un pays ou d'une grande organisation a été traitée comme consistant en une procédure progressive à base d'échanges d'informations, ce qui a permis d'en étudier les conditions d'efficacité. Les fondements microéconomiques des modèles mis en œuvre par la macroéconomie appliquée ont été dégagés, ce qui est riche de conséquences pour la construction de ces modèles et l'interprétation de leurs résultats, etc.

3. INGÉNIEURS ÉCONOMISTES

Proche de ce groupe, ayant en fait une intersection importante avec lui, l'ensemble des Polytechniciens ingénieurs économistes a participé largement aussi à la recherche.

La dénomination « ingénieur économiste » est bien polytechnicienne et mal comprise en dehors de nos frontières. Elle recouvre cependant pour nous une réalité. Elle suppose en fait que l'on ne voit pas l'ingénieur nécessairement comme le spécialiste d'une technique de fabrication mais éventuellement aussi comme un généraliste des questions relatives à la production efficace des biens et services. C'est parce que notre École a cette conception large, peu fréquente à l'étranger, c'est parce qu'elle a formé des généralistes ayant une grande profondeur de pensée qu'il faut parler ici des ingénieurs économistes.

Sans remonter à J. Dupuit (1822) et à C. Colson (1873), on doit évoquer les travaux de P. Massé (16) sur la gestion des réserves soumises à des aléas dans leur alimentation et leur utilisation. Outre leur intérêt pour l'exploitation des barrages hydroélectriques, ces travaux ont dégagé les principes d'une technique de calcul qui s'est révélée fort utile pour le traitement des décisions séquentielles : la programmation dynamique. On doit évidemment citer R. Gibrat (22) et tous ses travaux sur l'économie de l'énergie. On doit parler de J. Desrousseaux (30) à la vision perspicace duquel ont apparu de nombreuses imperfections, non précédemment reconnues, qui affectaient des règles communément admises pour les choix impliquant le temps ou la localisation. On doit citer les recherches de M. Allais (31) et J. Lesourne (48) sur l'exploitation des mines, notamment à une époque de récession des matériaux



concernés. A ces travaux on peut aussi rattacher les recherches de Lesourne sur l'économie de l'entreprise.

La population des chercheurs ingénieurs économistes est peut-être malheureusement en voie d'extinction : j'en pourrais citer des promotions des années 1950 mais guère de plus jeunes. Parmi les explications du phénomène il faut certainement faire la part de ce que, le domaine étant malgré tout assez étroit et les progrès ayant été importants entre 1940 et 1965, une période de ralentissement devait intervenir par la suite. Mais il faut aussi être conscient d'un retournement des attitudes vis-à-vis des problèmes à résoudre : la recherche de l'efficacité, qui paraissait très importante à beaucoup pendant la guerre et l'immédiat après-guerre, est considérée aujourd'hui comme futile par nombre de nos concitoyens et même par certains de nos camarades.

Sans doute la vulgarisation des résultats obtenus par les ingénieurs économistes fut-elle souvent trop

simpliste et même parfois dogmatique. Mais jeter un discrédit global sur ces résultats, comme certains Polytechniciens économistes l'ont fait plus récemment, ne se justifiait pas et procédait d'ailleurs aussi du dogmatisme. Malheureusement, cette dernière attitude correspondait trop bien à l'esprit du temps et a sans doute détourné les jeunes chercheurs de ce domaine d'investigation.

Qui ne voit cependant aujourd'hui l'importance que revêt une meilleure gestion des ressources pour l'avenir de l'humanité ? Les ingénieurs économistes auraient bien des sujets de recherche. Sur toutes les questions concernant les finalités de la production, les principes de l'économie publique et les procédures décisionnelles, ils pourraient travailler en liaison étroite avec les économistes mathématiciens, dont ils vivifieraient d'ailleurs certaines recherches par la référence à des problèmes spécifiques mais concrets. Surtout ils devraient dégager des règles plus solidement fondées que celles en usage

aujourd'hui vis-à-vis des investissements irréversibles à risque, des rythmes d'exploitation des ressources naturelles épuisables, de la prise en compte des modifications dans les prix relatifs, etc.

4. ECONOMÈTRES

La connaissance des phénomènes économiques repose évidemment sur l'observation, plus particulièrement sur l'observation statistique. Mais découvrir les lois des phénomènes à partir des données disponibles se révèle être difficile : les phénomènes sont complexes et ont de multiples dimensions ; l'expérimentation est impossible et l'observation reste pauvre malgré le rapide développement qu'ont connu les systèmes statistiques des grands pays. C'est pourquoi une méthodologie de l'observation statistique et une méthodologie de l'induction économétrique ont dû être construites et font l'objet de continuel perfectionnements. Tirer parti des lois plus ou moins solidement établies en vue d'orienter l'action, en particulier la politique économique, suppose enfin une discipline stricte et une attitude scientifique ; des questions apparaissent, qui appellent des réponses objectives.

C'est ainsi une gamme très large de travaux que peut recouvrir le terme économétrie. En économétrie sans doute plus qu'ailleurs, la frontière est floue entre ce qui doit être qualifié de recherche et ce qui relève plutôt de l'application. De même les économètres polytechniciens tra-

vailent-ils sur un front très étendu sans qu'on puisse toujours dire quand précisément ils font des recherches.

Proche de la recherche historique, la collecte intelligente et minutieuse des faits concernant l'évolution économique sous tous ces aspects joue un rôle évidemment indispensable. Ceux qui dans notre pays se consacrent à cette tâche, et il existe nombre de Polytechniciens parmi eux, reconnaissent A. Sauvy (20S) comme un de leurs maîtres et précurseurs.

Maîtres et précurseurs également F. Divisia (09) et R. Roy (14) étudiant le choix des formules grâce auxquelles devraient être calculés les indices et agrégats qui synthétisent les observations portant sur une même catégorie de grandeurs : les prix, les productions, les quantités exportées, etc. Ce sont toutes les méthodes de la statistique descriptive, de la comptabilité nationale et de l'analyse des données qui procèdent de la même inspiration. Le processus de développement de ces méthodes est le résultat d'un effort collectif, fait de multiples apports individuels qu'il ne saurait être question d'identifier ici même, quand ils viennent de Polytechniciens. Mais c'est un processus très vivant auquel beaucoup de jeunes participent, notamment à l'INSEE.

La statistique mathématique et son développement vers les méthodes de l'économétrie se laisse plus aisément circonscrire. Elle avait relativement peu attiré les Polytechniciens après Paul Lévy (04), malgré les intéressants travaux de B. Mandelbrot (44) et G. Matheron (49). Mais cer-

tains dans les générations plus jeunes s'y sont mis, comme A. Monfort (63).

Un champ très vivant est évidemment constitué par tout ce qui concerne la construction et l'emploi des modèles économétriques représentatifs de l'évolution économique ou de telle ou telle catégorie de phénomènes. Cette activité, dont on parle souvent aujourd'hui dans la presse, constitue le pivot d'un ensemble de recherches allant depuis la méthodologie, comme celles de M. Deleau (62), jusqu'à la caractérisation des phénomènes. M. Aglietta (59), R. Boyer (62) et d'autres marxistes y ont trouvé leur première inspiration. G. Maarek (59) et de plus jeunes camarades s'en servent pour l'analyse des phénomènes monétaires, retrouvant les préoccupations qui avaient inspiré la plupart des travaux de J. Rueff (19 S), J. Mairesse (60), A. Bernard (61) et d'autres étudiant l'économétrie de la production, etc.

Le panorama pourrait être précisé et affiné. Il pourrait aussi être complété par la description de certains secteurs de recherche que j'ai négligé de mentionner. Ceci une fois fait, il resterait encore à parler des inspirateurs, c'est-à-dire de ceux qui, par leur exemple ou la richesse de leur pensée, ont fait découvrir la recherche économique aux jeunes Polytechniciens dont la vocation ne s'était pas encore révélée. Ma génération doit beaucoup à R. Roy (14), A. Sauvy (20 S), C. Gruson (29), M. Allais (31), mais aussi à J. Ullmo (24) dont l'influence fut si profonde sur trente-cinq promotions successives et à qui cet article pourrait être dédié.

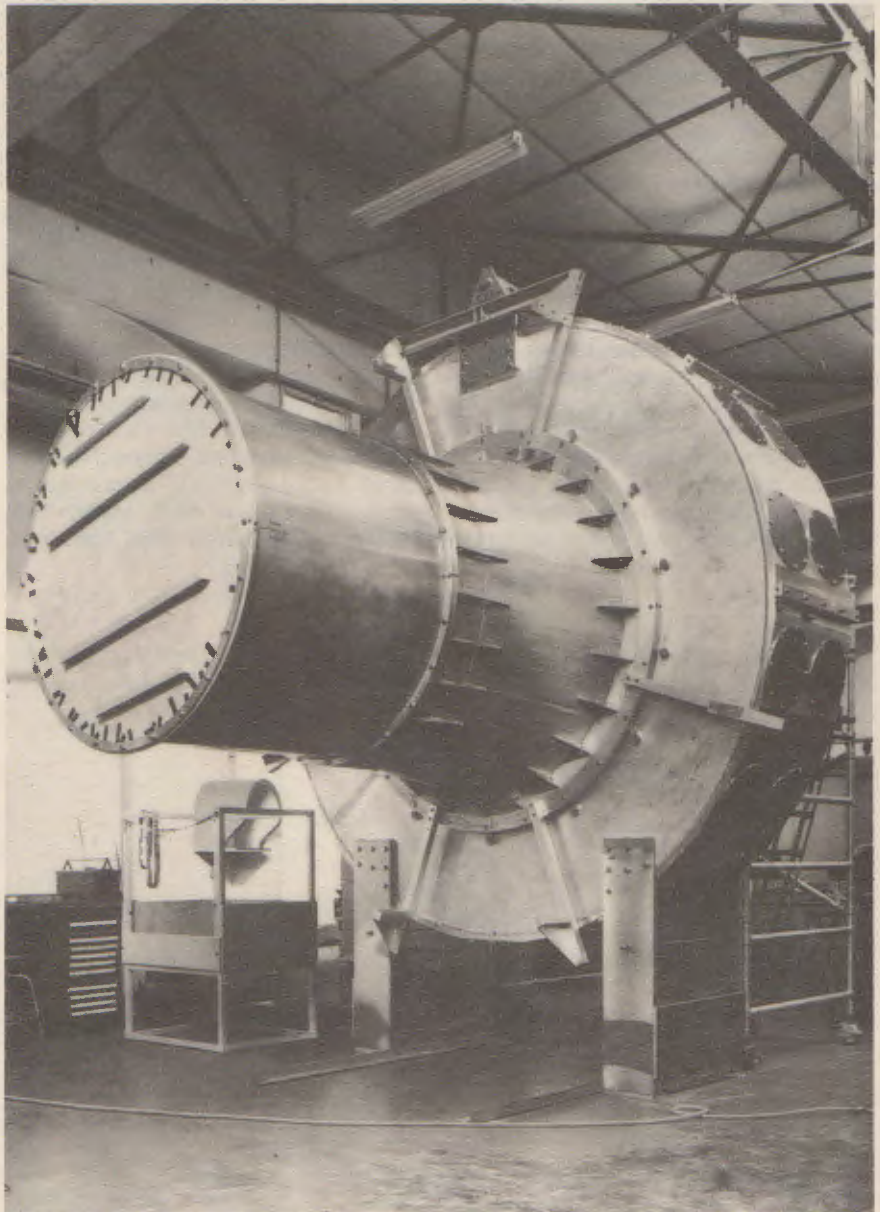
LA RECHERCHE A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

PAR PIERRE VASSEUR
DIRECTEUR DES LABORATOIRES DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

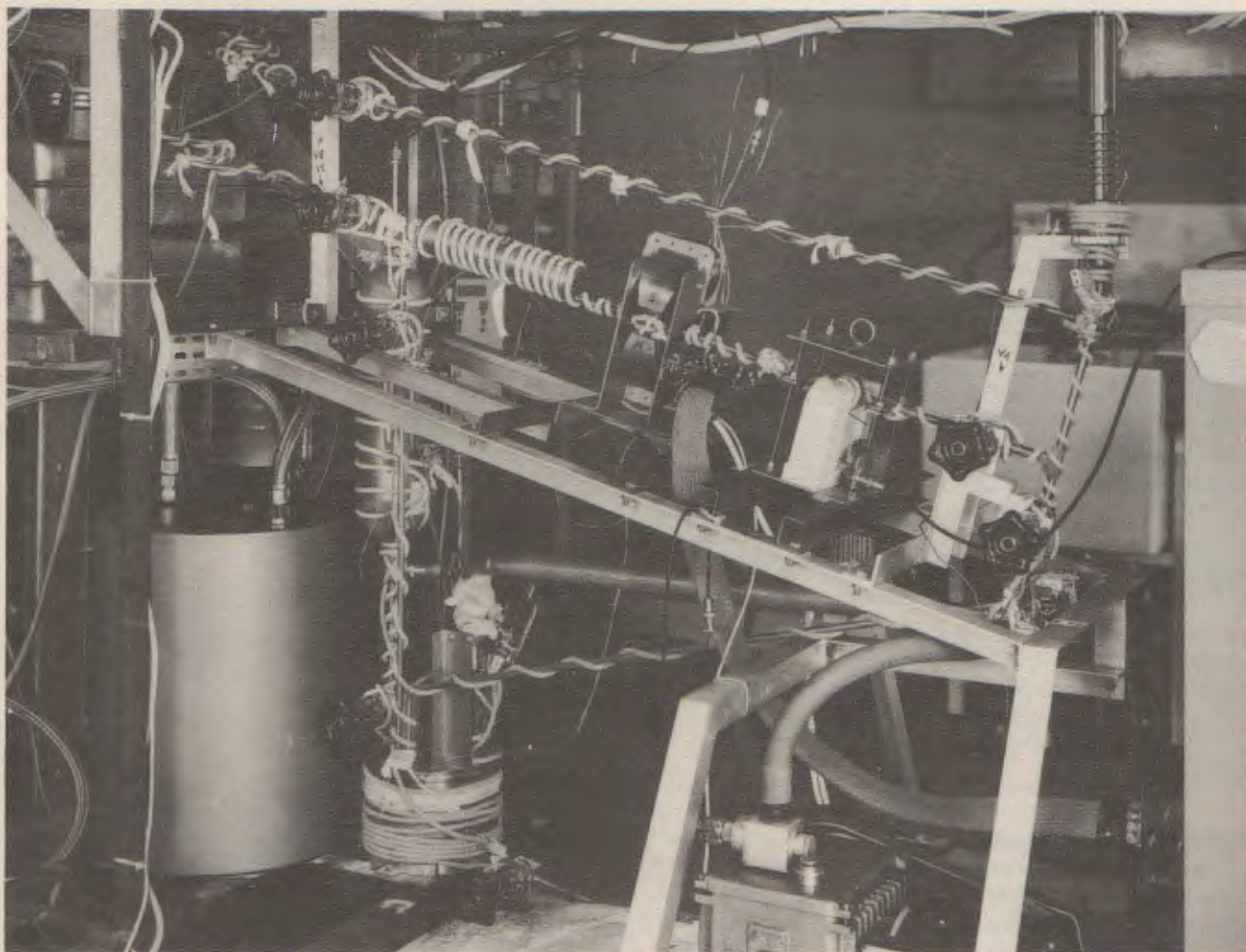
La recherche a toujours été présente à l'École Polytechnique où les professeurs titulaires d'une chaire et les chefs de travaux pratiques avaient la possibilité d'y poursuivre leurs travaux personnels, comme Gay-Lussac en chimie ou Fabry en physique dont les résultats ont été parmi les plus remarquables.

Après une longue période pendant laquelle la recherche pouvait encore être l'œuvre de personnalités scientifiques travaillant seules, Leprince-Ringuet, nommé professeur de physique en 1936, introduit un nouvel esprit dans la conduite de la recherche expérimentale par le travail en équipe autour de moyens techniques importants. Un premier laboratoire moderne est alors créé à l'École Polytechnique.

Après la guerre 1939-1945, d'autres laboratoires se développent en chimie avec les professeurs Barangé et Jacqué, en physique avec les professeurs Léaute puis Vignal, en économétrie avec le professeur Dumontier. Mais ce n'est qu'à partir de 1960, avec le soutien de l'État, que la recherche prend son essor à l'École. En 1960, Louis Michel (43) crée le centre de physique théorique où plusieurs élèves s'initient à la recherche, en 1961 le professeur Jean Mandel (26) avec Pierre Habib (45) développe les recherches en mécanique des solides, en 1963, le professeur Bernard Gregory (38) confie à Ionel Solomon (49) la direction d'un Laboratoire de physique de la matière condensée, en 1965 le professeur Laurent Schwartz fonde le centre de mathématiques, en 1966 le laboratoire de physique des milieux ionisés, issu d'un groupe du laboratoire du professeur Vignal, est créé par Pierre Vasseur (50), en 1970 le



Laboratoire PMHE - Compteur Cerenkov « C - 2 » à 24 cellules pour le spectromètre LEZARD.



Laboratoire PMI - Système de recyclage du Cesium liquide du générateur de jet supersonique de Gesium « Apocalypse ». Au centre, la pompe électromagnétique et le débitmètre basé sur l'effet Hall.

professeur Marcel Fétizon (47) installe à l'École le laboratoire de synthèse organique qu'il dirigeait à l'Université Paris XI.

A cette époque dix laboratoires constituaient le centre de recherche de l'École, 180 chercheurs y travaillaient dans des conditions souvent difficiles dans des bâtiments anciens et mal adaptés à la recherche.

La décision en 1969 de transférer l'École à Palaiseau et la publication en 1970 et 1971 de textes sur les nouveaux statuts conduisaient à un effort de réflexion approfondi sur l'enseignement scientifique et ses liens avec la recherche. Pour remplir sa mission l'École Polytechnique doit s'appuyer sur un centre de recherche qui lui permette de s'attacher à plein temps des professeurs et des maîtres de conférence, de donner aux élèves un premier contact avec la recherche scientifique.

Pour réaliser la meilleure symbiose possible avec l'enseignement il faut :

- une diversité suffisante de thèmes de recherche de sorte qu'à chaque département d'enseignement corresponde un ou plusieurs laboratoires,
- une recherche qui soit principale-

ment à caractère fondamental pour s'harmoniser avec un enseignement scientifique de haut niveau,

- une excellente qualité des équipes de façon à attirer les personnalités scientifiques dont l'École souhaite la collaboration.

Grâce au transfert à Palaiseau en 1975, en s'appuyant sur les laboratoires déjà existants et avec le soutien du Centre National de la Recherche Scientifique, l'École Polytechnique a pu développer un centre de recherche répondant à ses besoins.

Aujourd'hui 364 chercheurs et stagiaires assortis de 250 ingénieurs, techniciens et administratifs, répartis entre quinze laboratoires, travaillent à l'École. Leur répartition entre les grandes disciplines scientifiques est la suivante :

Biochimie	20
Chimie	41
Mécanique	54
Physique	167
Mathématiques	57
Sciences humaines	25
	<hr/> 364

Parmi eux, 45 sont enseignants à l'École et 66 dans les grandes écoles et les universités ; 90 anciens élèves y poursuivent leurs travaux

Les principales activités de ces laboratoires sont résumées dans les pages suivantes. Elles se traduisent par un grand nombre de publications dans les revues internationales spécialisées, par la participation active aux colloques et conférences dont certains sont confiés à des laboratoires de l'École.

L'effort poursuivi depuis plus de 10 ans, les moyens que le transfert à Palaiseau a permis de mettre à la disposition des laboratoires, portent maintenant leurs fruits. Tous les laboratoires ont acquis une notoriété internationale que certains résultats mettent en évidence comme celui obtenu en 1980 au laboratoire de physique des milieux ionisés par le groupe des plasmas denses dirigé par Edouard Fabre, dans le domaine des recherches concernant la fusion contrôlée par confinement inertiel obtenu à partir de l'énergie délivrée par un laser de grande puissance.

ANNEXE

Liste des Laboratoires de l'École Polytechnique

BIOCHIMIE

DIR. : J.P. WALLER

Bases moléculaires et régulation de la biosynthèse des protéines

CHIMIE ANALYTIQUE PHYSIQUE

DIR. : G. GUIOCHON (51)

Analyses chimiques fines (composés chlorés dans l'environnement, produits acides et basiques dans les fractions lourdes des pétroles bruts, analyse des polluants d'origine industrielle dans les eaux, analyses biochimiques ou cliniques, analyse des polymères, etc.

SYNTHÈSE ORGANIQUE

DIR. : Marcel FETIZON (47)

Chimie théorique. Spectrométrie de masse. Résonance magnétique nucléaire. Synthèse organique.

MÉCANIQUE DES SOLIDES

DIR. : P. HABIB (44)

Plasticité - Viscoplasticité - Mécanique de la rupture - Mécanique des roches - Mécaniques des sols.

MÉTÉOROLOGIE DYNAMIQUE

DIR. : A. BERROIR

Expérience de simulation climatique - intercalibration de satellites - couche limite planétaire - exploitation de données de Voyager sur Jupiter.

OPTIQUE QUANTIQUE

DIR. : C. FLYTZANIS

Étude du comportement de la matière sous l'action des champs électromagnétiques intenses obtenus par les sources lasers.

PHYSIQUE DE LA MATIÈRE CONDENSÉE ET BIOPHYSIQUE

DIR. : B. SAPOVAL

Physique des solides (par ex. semi-conducteurs) - Biophysique (méthodes spectroscopiques sur acides nucléiques de transfert).

PHYSIQUE DES MILIEUX IONISÉS

DIR. : H. DOUCET (58)

Physique des plasmas en vue de l'application à la fusion thermonucléaire contrôlée.

PHYSIQUE THÉORIQUE

DIR. : J. LASCoux

Physique mathématique - Physique des particules élémentaires et hautes énergies - Physique des plasmas.

OPTIQUE APPLIQUÉE

DIR. : A. ORSZAG (53)

Spectroscopie résolue dans le temps - laser et métrologie par laser - technologies optiques avancées.

MATHÉMATIQUES

DIR. : L. SCHWARTZ

Analyse et probabilités - Théorie des nombres - Topologie et Géométrie différentielle.

MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES

DIR. : J.C. NEDELEC (63)

Analyse numérique - Probabilités et Statistiques - Informatique

ÉCONOMÉTRIE

DIR. : C. HENRY

Méthodes mathématiques ou statistiques pour formulations de modèles - Thèmes d'intérêt social.

RECHERCHE EN GESTION

DIR. : M. BERRY (63)

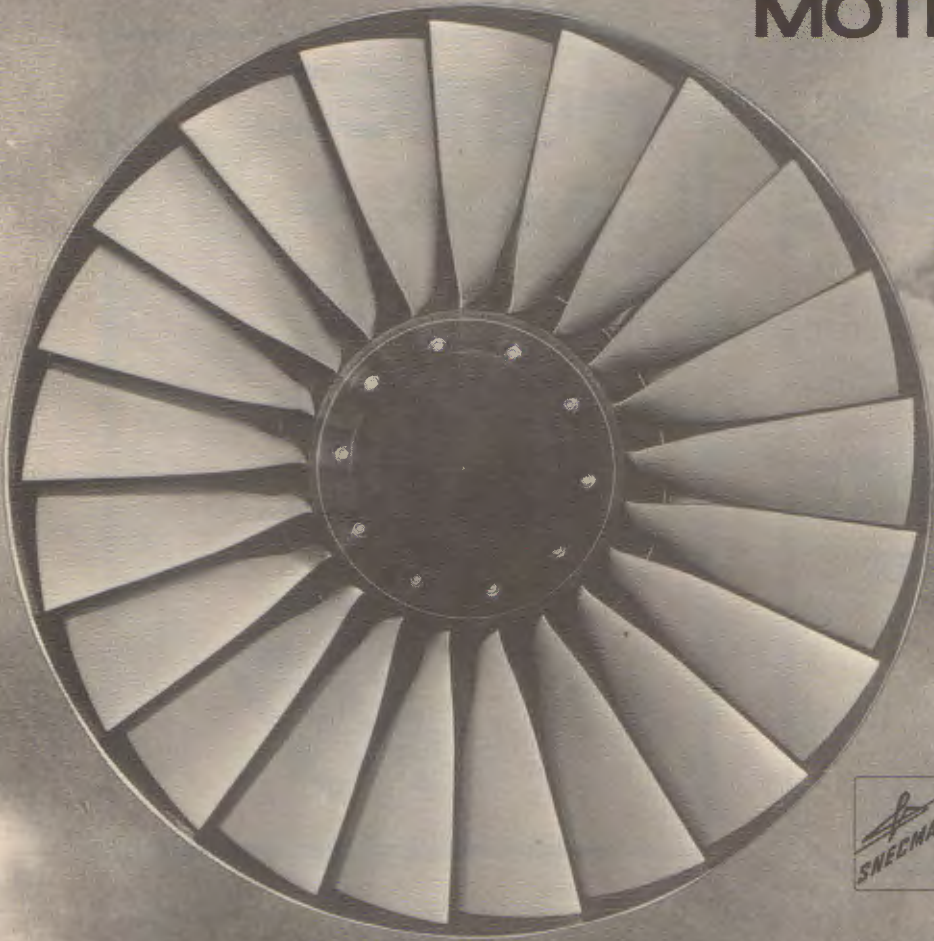
Organisation du travail, politiques publiques, innovation, stratégies nouvelles, économie de la santé, etc.

INFORMATIQUE

DIR. : P. BELAYCHE (45)

Pour plus de précisions, on pourra consulter à la Bibliothèque centrale de l'École, à Palaiseau, le compte rendu annuel de l'activité des laboratoires, dont la dernière édition (1981) vient de paraître.

MOTEURS D'AVIATION



FORGE-FONDERIE
ELECTRONIQUE
EQUIPEMENTS NUCLEAIRES



SNECMA

2, BD VICTOR - 75724 PARIS - CEDEX 15 - TÉL. 554.92.00

Le ciel est noir...

Si le ciel était uniformément rempli d'étoiles, il devrait être partout aussi brillant que le soleil.

Dans le numéro de JUIN de POUR LA SCIENCE, vous lirez l'explication de ce paradoxe qui fait intervenir les théories cosmologiques modernes.

Dans le même numéro de JUIN:

- les galères de combat dans l'antiquité
- la reconnaissance de la parole par ordinateur
- les novae et leurs enveloppes
- les insectes filtres
- l'origine de l'information génétique etc...

Autres rubriques

Comme dans tous les numéros, la rubrique Science et Société, les jeux mathématiques de Martin Gardner, les expériences d'amateur, les Echecs par François le Lionnais, la rubrique d'histoire des sciences «il y a 50 et 100 ans», les notes de lectures...

Les lecteurs de POUR LA SCIENCE comprennent le présent pour choisir le futur.

Rejoignez nos 100 000 lecteurs aux frontières de la connaissance en remplissant le coupon ci-contre:



Je désire m'abonner à POUR LA SCIENCE, pour la durée de :
FRANCE, 1 an (180 F) 2 ans (330 F) 3 ans (450 F)
ÉTRANGER, 1 an (220 F) 2 ans (400 F) 3 ans (550 F)

Nom : Prénom :

Adresse complète :

Je règle aujourd'hui par : chèque bancaire CCP mandat

Bon à retourner à POUR LA SCIENCE, 8, rue Férou 75006 PARIS

En France
comme à l'étranger



JEAN LEFEBVRE
travaille pour vous

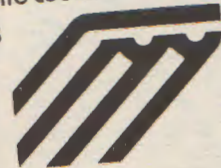
DOCUMENTATION AU SERVICE COMMERCIAL
11, BD JEAN-MERMOZ 92202 NEUILLY/SEINE
TEL. 747.54.00

dumez

groupe international d'étude
et de réalisation de travaux publics
et bâtiment:

barrages et travaux souterrains
travaux maritimes, portuaires et
fluviaux, dragages
constructions industrielles
terrassements, travaux routiers et
ouvrages d'art
bâtiment et constructions
industrialisées

345, avenue georges clémenceau
92022 - nanterre cedex
tél: 776 42 43



LNE

PLUS DE 80 ANNÉES D'EXPÉRIENCE AU SERVICE DE L'ÉCONOMIE NATIONALE

ASSISTANCE TECHNIQUE POLYVALENTE • ESSAIS, CONTROLES, EXPERTISE

QUALITÉ ET SÉCURITÉ

MÉTROLOGIE ET ÉTALONNAGES

ÉCONOMIE D'ÉNERGIE
ET DE MATIÈRES PREMIÈRES

HYGIÈNE ET SANTÉ

MESURE ET PRÉVENTION
DES POLLUTIONS

AIDE AUX EXPORTATEURS

INTERVENTIONS :

- EN LABORATOIRE
- EN USINE
- SUR SITE

A la demande des Industriels, des Organismes
divers, des Administrations, des Experts

SUR

MATÉRIAUX

•
PRODUITS ET ÉQUIPEMENTS
INDUSTRIELS

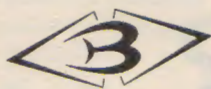
•
PRODUITS DE CONSOMMATION



LABORATOIRE NATIONAL D'ESSAIS

Etablissement public à caractère industriel et commercial

1, rue Gaston Boissier - 75015 PARIS • Tél. 532.29.89 - Téléc 202319 F



BERTIN & Cie
BP 3 - PLAISIR - Tél. : (3) 056.25.00

Société de Recherche Développement et de Réalisation Industrielle
25 ans d'expérience et d'acquis technologiques et industriels orientations multidisciplinaires et multisectorielles 600 personnes dont plus de 200 ingénieurs 1000 contrats annuels pour plus de 300 clients différents.

OBJECTIFS : Trait d'union entre la Recherche fondamentale et l'Industrie, BERTIN traduit les connaissances acquises et innovations industrielles.

BERTIN : Fernand CHANRION (35) Eric BARSALOU (54)
Michel PERINEAU (44) Daniel BREFORT (66)
Michel DANCETTE (72) Vincent LENOIR (78)

FRAMATOME offre des installations nucléaires équipées de chaudières PWR à 2, 3 ou 4 boucles dans les gammes 600 à 650 MWe, 900 à 1.000 MWe, 1.150 à 1.350 MWe.

La Société propose en particulier ;

- des composants fabriqués dans ses usines (cuves, générateurs de vapeur, pressuriseurs, instrumentation du cœur).
- les premières charges et recharges de combustibles.
- tous produits et services liés à la maintenance.



FRAMATOME

FRAMATOME

Tour Fiat, Cedex 16

92084 PARIS LA DÉFENSE - Tél. 796.14.14 - Télex FRAMA 630 635 F

Votre entreprise se pose des questions?

Chaque jour, dans votre entreprise, on se pose des questions.

Les ingénieurs ont besoin de savoir ce qui a été publié sur leur problème spécifique du moment. Les bureaux d'études ont un besoin permanent d'informations du monde entier sur les innovations les plus récentes dans leur domaine de recherche. Les cadres financiers et commerciaux ont besoin de disposer des données les plus complètes dans les domaines les plus divers.

LA RÉPONSE A VOS QUESTIONS:

Vos collaborateurs attendent une réponse à leurs questions. Il leur faut une information rapide, fiable et qui dépasse les frontières. Aujourd'hui, tout est devenu possible. Les récents progrès réalisés, grâce à l'ordinateur, dans les techniques de recherche documentaire permettent de classer, d'organiser et de rendre accessibles au moindre coût les réponses à vos questions. C'est pour cela qu'Euronet DIANE a été créé.

LE PREMIER RÉSEAU EUROPÉEN D'ACCÈS DIRECT A L'INFORMATION.

Euronet DIANE est le premier réseau européen d'accès direct à l'information. Aujourd'hui, au bout de

votre téléphone et grâce à un simple terminal à peine plus onéreux qu'une machine à écrire, vous pouvez interroger en quelques minutes toutes les grandes bases de données disponibles en Europe.

UNE TARIFICATION AVANTAGEUSE, INDÉPENDANTE DE LA DISTANCE.

Grâce à la collaboration entre la Commission des Communautés Européennes et les P.T.T. des pays membres, un réseau de télécommunication spécialisé a été créé; il s'appelle Euronet. Il vous permet d'appeler facilement tous les grands distributeurs de bases de données en Europe, regroupés sous le nom de DIANE, à un tarif avantageux qui ne dépend pas de la distance du pays appelé.

COMMENT EN SAVOIR PLUS.

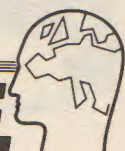
Des explications plus détaillées sont données dans la brochure Euronet DIANE. Vous pouvez obtenir cette brochure gratuitement et sans engagement de votre part. Il vous suffit de découper le coupon ci-joint et, dans quelques jours, vous serez parmi les mieux informés sur les moyens les plus modernes d'information pour votre entreprise en Europe.

Euronet Diane

Le premier réseau européen d'information pour l'entreprise.

EurOnet

DIANE



Je désire recevoir, gratuitement et sans engagement de ma part, la brochure Euronet DIANE.

M. _____ Profession _____

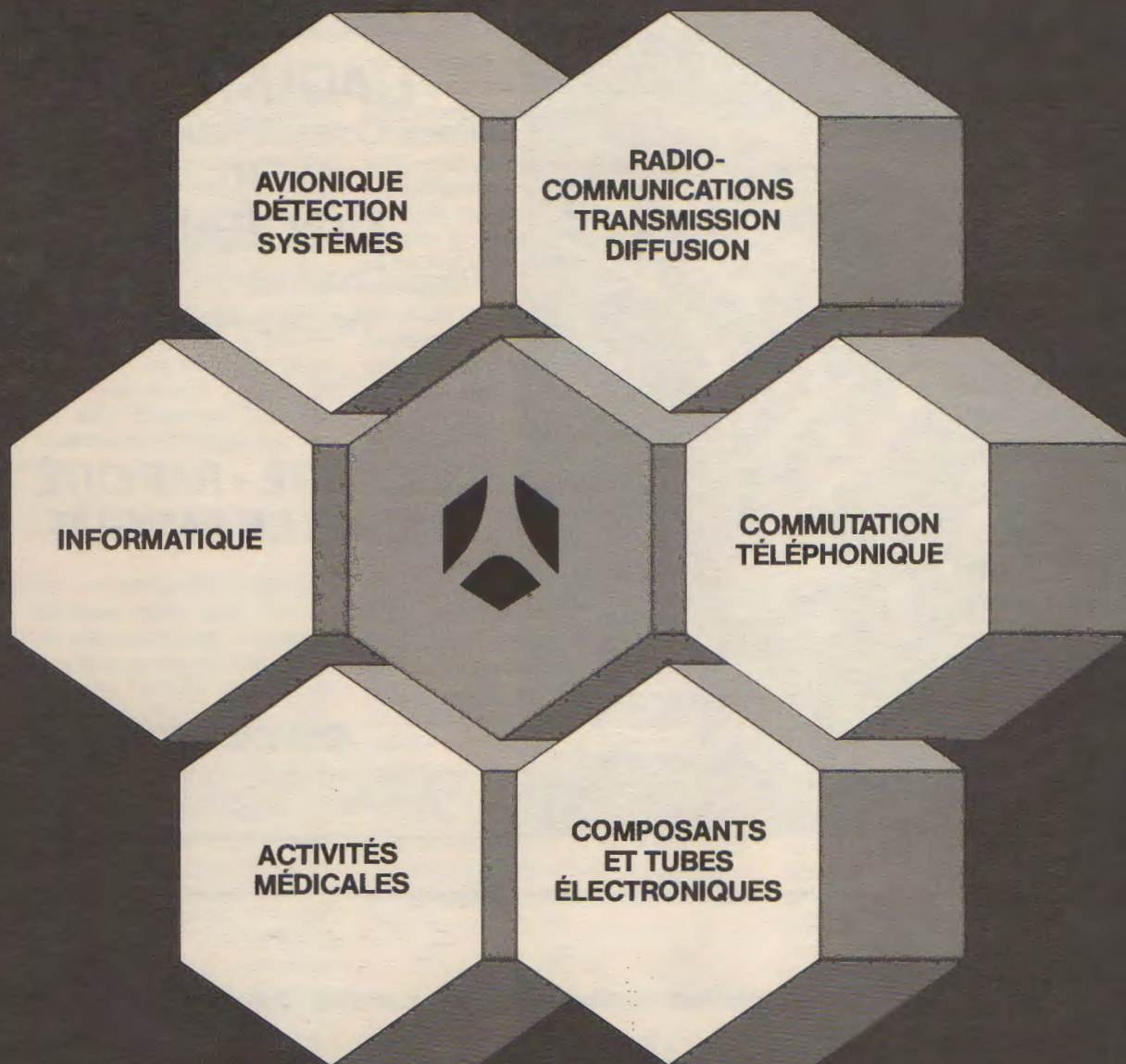
Société _____ Adresse _____

_____ Tél. _____

A retourner à : Euronet DIANE : 51, Rue de Rivoli - 75001 PARIS

x 1





AUTRES ACTIVITÉS

- TÉLÉMATIQUE BUREAUTIQUE • ÉQUIPEMENTS ÉLECTRONIQUES D'EXPLOITATION PÉTROLIÈRE
- ÉQUIPEMENTS ÉLECTRO-HYDRAULIQUES • INSTRUMENTATION • CHANTIERS EXTÉRIEURS

**THOMSON-CSF
ÉLECTRONIQUE FRANÇAISE
RENOMMÉE MONDIALE**

1980

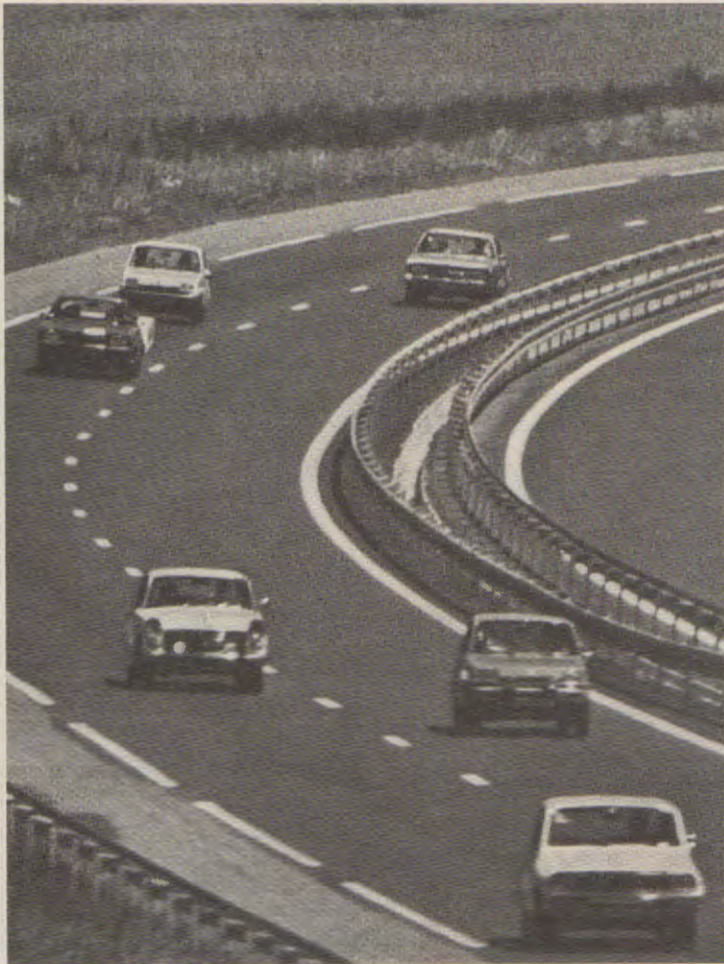
CHIFFRE D'AFFAIRES GLOBAL : PLUS DE 22 MILLIARDS DE FRANCS

ACTIVITÉS HORS DE FRANCE : 48%



THOMSON-CSF

23, RUE DE COURCELLES / B.P. 96.08 / 75362 PARIS CEDEX 08 / FRANCE / TÉL. : (1) 563 12.12



Avec les autoroutes
L'AQUITAINE
 Paris-Orléans-Tours-Poitiers
 et
L'OCÉANE
 Paris-Chartres-Le Mans-Vitré
 Angers-Nantes

**SÉCURITÉ - RAPIDITÉ
 MOINS DE FATIGUE**

COFIROUTE

77, avenue Raymond-Poincaré
 75116 Paris - Tél. 505.14.13



ircha

Institut national de Recherche Chimique Appliquée

CENTRE DE RECHERCHE
 91710 VERT-LE-PETIT. Tél. : (6) 493.24.75. Télex 600 820 F

CHIMIE

- FABRICATION DE PRODUITS ORGANIQUES A L'ÉCHELLE PILOTE
- ÉTUDES DE FORMULATION ET MISES AU POINT SUR MATÉRIAUX COMPOSITES
- MEMBRANES

ANALYSES

- MÉTHODES PHYSICOCHIMIQUES
- RMN - ESCA

BIOCHIMIE

- ÉTUDES MICROBIOLOGIQUES
- TESTS BIOLOGIQUES
- CORROSION BIOLOGIQUE
- BIODÉGRADABILITÉ
- FERMENTATIONS

POLLUTIONS - EAU - AIR

*Contactez-nous
 Toutes documentations
 sur simple demande*

ALUMINIUM PECHINEY

23, rue Balzac
75008 PARIS
Tél. : 561.61.61

UNE STRATEGIE QUI S'APPUIE SUR LA RECHERCHE ET LE DEVELOPPEMENT

- CENTRE DE L'ALUMINE DE GARDANNE : ALUMINE
- LABORATOIRE DE RECHERCHES DES FABRICATIONS
A SAINT-JEAN-DE-MAURIENNE : CUVES D'ELECTROLYSE
- CENTRE DE RECHERCHES ET DE DEVELOPPEMENT
DE VOREPPE : METALLURGIE
- CENTRE TECHNIQUE DE L'ALUMINIUM : PRODUITS



Un centre de développement industriel



Commutation téléphonique.
Calculateurs temps réel.
Logiciels de support et d'application.
Electronique spatiale.
Communications avancées.
Radars. Antennes.
Electromagnétisme théorique.

Etude de systèmes
Développement et
fabrication d'équipements

Laboratoire Central de Télécommunications

18-20, rue Grange Dame Rose
B.P. 40, F 78141 VÉLIZY VILLACOUBLAY CEDEX
Téléphone (3) 946 96 15 - Téléc 698 892 F

LCT

CAP SOGETI ABAT SES CARTES



Notre premier atout, l'expansion,
vous permet de prendre chez nous

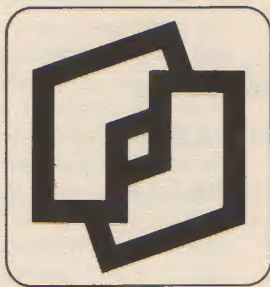
DES RESPONSABILITES

Nous sommes la première société
européenne de services et conseils
en informatique, rencontrons-nous.

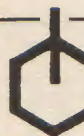


CAP SOGETI SYSTEMES

Mme Muller - 92 bd du Montparnasse
75682 Paris Cedex 14 - Tél. : 320.13.81



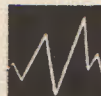
nous mettons notre
énergie
au service des
français
elf
aquitaine



LRCC Laboratoire de Recherches
et de Contrôle du Caoutchouc
12, rue Carvès, 92120 MONTRouGE - Tél. : 655.71.11
-Télex : 202963 F



Études et recherches
de tous problèmes intéressant
le caoutchouc et les matières
plastiques.



Contrôle et essais des matières
premières, produits finis,
analyses...



Assistance technique.



Normalisation,
spécifications, marques de
qualités,
produits de références...



Documentation, bibliothèque,
publications, études biblio-
graphiques...

*Organisme professionnel créé par le Syndicat des
caoutchoucs et plastiques et des industries qui
s'y rattachent en 1945.*

UNIVERSITÉ DE CAEN
INSTITUT DES SCIENCES DE LA MATIÈRE
ET DU RAYONNEMENT
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'INGÉNIEURS
DE CAEN

14032 CAEN CEDEX
TÉL. (38) 93.37.14 ET 93.39.12

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'INGÉNIEURS
DE CAEN

Fusion de l'ENSCC et de l'ENSEEC UNIVERSITÉ DE CAEN
5, avenue d'Edimbourg - 14032 CAEN CEDEX - Tél. : (31) 93.39.12

Sigle : ISMRA

Vocation : formation d'ingénieurs faisant largement appel à l'informatique et à l'électronique pour le contrôle et la conduite des processus industriels et pour l'élaboration de la matière et des matériaux.

Durée des études : 3 ans

Coût moyen annuel (en 1981) : 350 F

Admission : Sur concours en 1^{ère} année :

Elèves des classes de Spéciales M, P', P, TA.

Titulaires du DEUG A.

Sur titres, dans la limite des places disponibles :

- en 1^{ère} année, titulaires de certains diplômes universitaires de Technologie.

- en 2^e année, titulaires de certaines maîtrises es-sciences

Options - Spécialisations :

Option A : Contrôle et conduite des processus industriels.

Spécialisation : Processus industriels. Microélectronique.

Option B : Sciences et techniques de la matière et des matériaux. Analyses Physico-chimiques.

Spécialisations : Elaboration et emploi des matériaux. Réactivité de la matière.

Branches d'activité : Industries et transformation - Industries mécaniques, électriques, électroniques - Transports - Industrie automobile - Industrie aéronautique - Industries métallurgiques, chimiques et pharmaceutiques.



La vie de l'association

L'A.X. recherche pour sa bibliothèque
 « Une famille de Polytechniciens »
 de A. Miles, - Firmin Didot -
 1889.
 Faire offres à l'A.X.

BUREAU DES CARRIÈRES STATISTIQUES MARS 1981

Nombre de demandeurs d'emploi au 1 ^{er} avril 1981	A	48	dont chômeurs	-
	A	137		12
	C	54		2
	D	32		3
	E	271		17

Nombre d'offres d'emploi
au 1^{er} avril 1981

477

Nouveaux demandeurs d'emploi au cours du mois de mars 1981	A	6	dont chômeurs	-
	B	3		-
	C	3		-
	D	-		-
	E	12		-

Nombre de camarades ayant trouvé une situation au cours du mois de mars 1981	A	4	dont chômeurs	-
	B	6		-
	C	4		-
	D	-		-
	E	14		-

Nombre d'offres de situation
reçues au cours du mois de
mars 1981

45

Suite aux demandes de situation dans « La Jaune et La Rouge », diverses sociétés et entreprises ont demandé les coordonnées de **59 camarades**

- A promo 70 à 77
- B promo 55 à 69
- C promo 45 à 54
- D promo 44 à ...
- E Total

Carnet professionnel

Jean Vleliard (30) a été élu président de l'Association française de l'éclairage.

Paul Bourrières (34) a été élu membre titulaire de l'Académie des Sciences d'Outre-Mer.

Roland Koch (37) a été élu à la présidence de la Fédération des Industries Mécaniques et Transformatrices des Métaux (FIMTM).

Michel Vialatte (38) contrôleur général des Armées a été nommé président de la section technique de la Commission Centrale des Marchés de l'État.

François Budin (43) est devenu président de la Société Le Joint Français.

Roger Lacroix (46), vice-président directeur général de SEA TANK CO et directeur scientifique de la Société Générale d'Entreprises, a été nommé président directeur général de Sogelerg-Structures.

Olivier Bès de Berc (48) est devenu président directeur général de PCUK-Produits chimiques en conservant ses fonctions de directeur général adjoint du groupe.

Alain Colas (48) a été élu président du Comité des Salines de France.

Jean-Pierre Desgeorges (51) a été nommé président directeur général d'Alsthom-Atlantique.

Pierre Santler (57) a été nommé directeur général de Sogelerg-Structures.

Groupes X

X-COTE BASQUE

Les camarades qui seront présents sur la Côte basque le 22 août 1981, sont avisés que se tiendra ce jour-là, au Restaurant du Golf de Chiberta, à 12 h 30, le déjeuner annuel des X-Côte basque. Ils y sont cordialement invités ainsi que les membres de leur famille. Ils sont priés d'adresser leur contribution, soit 110 F par personne, sous forme de chèque, à l'adresse de la Direction départementale de l'Équipement
8 Allées Marines
B.P. 6
64100 BAYONNE
avec, sur l'enveloppe, la mention « Déjeuner des X ».

Les polytechniciennes sont invitées gratuitement, les camarades des promotions postérieures à 1970 bénéficieront d'une réduction de 30 %.

X-AIR-ESPACE

REUNION DU 25 MARS 1981

Sous la présidence de Gruau (52), nous avons entendu l'exposé de Christian Marchal (58), Conseiller Scientifique à l'ONERA, sur « les missions planétaires récentes ».

Un merveilleux voyage à travers les planètes nous a ainsi été proposé, grâce à de remarquables diapositives prises, en particulier, par les sondes Américaines Viking, Vénus Orbiter, Pionner et Voyager, et les sondes Soviétiques Venera. Après avoir survolé et même nous être posés sur Mars et Vénus, nous avons calmement poursuivi notre chemin pour découvrir Jupiter et son satellite Titan, puis Saturne et sa myriade de satellites et d'anneaux.

Convocations de Promotions

1919 S

Prochain déjeuner avec épouses le mercredi 24 juin, à 12 h 15 à la Maison des X.
Adhésion à Babinet - Sté Aubert & Duval - B.P. 120 - 41 rue de Villiers - 92202 Neuilly-sur-Seine.

1934

Déjeuner avec épouses le samedi 20 juin, à 12 h 30, à l'École Polytechnique à Palaiseau. Visite de la nouvelle École après déjeuner.
Une circulaire avec les itinéraires d'accès a été adressée début mai, de la part d'Aubert.

CREDIT/X MINES

Crédit X-Mines vous permet d'obtenir des prêts Personnels et des prêts Immobiliers à des taux sensiblement inférieurs à ceux pratiqués habituellement par les banques, assurance non comprise pour des résidences principales.

A. Crédit X-Mines

- Association créée en 1968 avec l'aide de l'A.X., sous la dénomination du Crédit X, pour faciliter aux anciens élèves de l'École Polytechnique, ainsi qu'aux veuves et orphelins de camarades, l'obtention de prêts destinés à faciliter la résolution de leurs problèmes.

- Apporte sa caution aux prêts sollicités auprès des 5 organismes bancaires (mentionnés en D ci-après) avec lesquels l'Association est en rapport. En retour, les banques intéressées consentent aux membres de l'association un tarif préférentiel, unique pour les cinq banques, dont les taux sont inférieurs à ceux qu'elles pratiquent avec leurs clients ordinaires.

L'Assemblée générale extraordinaire du 5 juillet 1978 a décidé d'admettre également comme bénéficiaire des interventions de Crédit X les anciens élèves des trois écoles des Mines, de Paris, de Saint-Étienne et de Nancy. De ce fait, depuis cette date, Crédit X est devenu Crédit X-Mines.

B. Prêts consentis

1. Prêts spéciaux études (durée unique 5 ans)

- Ces prêts sont destinés aux Élèves, ou anciens Élèves de Polytechnique ou des Écoles des Mines désirant poursuivre leurs études ou compléter leur formation supérieure.

- Durée unique de 5 ans avec possibilité de franchise totale (capital et intérêts) de 6, 12, 18 ou 24 mois.

- Ces prêts sont faits au taux d'Es-compte de la Banque de France, majoré d'un point.

2 - Prêts à C.T. pour jeunes camarades, jusqu'à la fin de l'année 81 : prêts allant jusqu'à 30 000 F, durée maximum de 3 ans, avec possibilité de franchise, à un taux exceptionnel d'un point inférieur aux taux des prêts personnels, pour les camarades étant sortis, ou sortant des Écoles en **79, 80, 81.**

3 - Prêts à C.T. (durée maximum : 2 ans) :

- achat de biens mobiliers : voitures automobiles, équipement ménager, bateaux de plaisance...

- relais dans l'attente de la vente d'un bien immobilier

4 - Prêts personnels à M.T. (2 à 5 ans)

- Pour frais familiaux exceptionnels, départ à la retraite, équipement mobilier.

5 - Prêts immobiliers à M.T. (3/7 ans) ou L.T. (10/20 ans) :

- Pour le financement de terrains à bâtir, résidence principale (ou de future retraite), résidences secondaires, travaux immobiliers importants dans résidence principale ou secondaire.

C. Règles générales applicables à tous les prêts

La garantie du Crédit X-Mines est uniquement délivrée pour le compte de ses sociétaires : cotisation annuelle de 50 F - à 200 F - selon la nature du prêt.

- Fonds de garantie - La caution donnée aux banques est appuyée sur un fonds de Garantie constitué par prélèvements sur les sommes empruntées (1 % pour les prêts hypothécaires par exemple). Ce prélèvement est restitué, à sa valeur nominale, lorsque le prêt est amorti, cette restitution ne pouvant intervenir que lorsque les comptes de l'année N pendant laquelle a eu lieu

l'amortissement ont été approuvés par l'Assemblée générale de l'année N + 1.

- Montant maximum des mensualités : l'ensemble des charges supportées par le candidat emprunteur du fait du, ou des prêts sollicités, ou des éventuels prêts antérieurs, ne doit pas dépasser en principe 30 % de ses ressources.

- Assurance - tous les prêts sont assortis d'une assurance décès invalidité.

D. Renseignements et établissements des dossiers.

Tous les renseignements nécessaires à l'établissement des dossiers, ainsi que la préparation de ceux-ci peuvent être obtenus à :

- Secrétariat de Crédit X-Mines, 12, rue de Poitiers, 75007 Paris, téléphone 222.76.27. Responsable : M. H. Baudrimont (35) (ouvert aux heures habituelles de bureau, du lundi au vendredi inclus, sauf les mercredi et vendredi après-midi).

- Caisse Centrale des Banques Populaires (C.C.B.P.), 115, rue Montmartre, 75002 Paris. Tél. : 296.15.15 responsable : Mlle Contri (poste 504). (On peut aussi s'adresser dans chacune des 21 Banques populaires).

- Crédit Lyonnais, Agence T 420, 58, Boulevard Saint-Germain, 75005 Paris, Tél. : 329.83.50, responsable M. Leroy (On peut aussi s'adresser à chacune des Agences).

- Banque Industrielle et Mobilière Privée (B.I.M.P.) 37/39, rue d'Anjou 75008 Paris. Tél. : 266.91.52, responsable. M. Paillet.

- Banque de financement immobilier Sovac, 17-21, rue de la Bienfaisance, 75008 Paris, tél. 292.12.12. Responsable : M. Barret.

- Société Générale - 7, Place Édouard VII - 75009 Paris, Tél. 298.59.01. Responsable Mlle Lebasac (on peut s'adresser dans chacune des Agences).



**Direction
des Recherches
Etudes
et Techniques**

**RECHERCHES POUR LA DEFENSE
RECHERCHES POUR LA FRANCE**

26 Boulevard Victor 75996 Paris Arras - Tél. : 552.46.54

**DEUX GRANDS CRUS
DU CAFÉ
PAR NESCAFÉ**



GPX.GPX.

548.52.04

GPX.GPX.



La Chesnaie du Roy
parc floral de Paris

GARDEN PARTY **16 JUIN**
apéritif
dîner
champagne

FEU D'ARTIFICE
ORCHESTRE

Le G.P.X. vous donne rendez-vous le

Mardi 16 juin

à la Chesnaie du Roy (Parc Floral de Paris),
pour sa traditionnelle Garden-Party qui clôturera la saison 1980-81. Parc merveilleusement fleuri,
Apéritif, Dîner, champagne, Feu d'artifice, Orchestre de Roland Duchesne aux rythmes tantôt lan-
goureux et tantôt endiablés.

Venez nombreux, le G.P.X. sera heureux de vous y accueillir.
(Inscription souhaitée auprès du secrétariat). X et leurs invités 150 F/par pers.

GPX.GPX.

548.87.06

GPX.GPX.

Carnet polytechnicien

1904

Décès : On nous prie d'annoncer le décès survenu le 5 avril 1981 de Mme Vve Etienne Génissieu, dans sa 94^e année.

12.4.81, Léon Etcheberrigaray, général de C.A. 2^e Section, dans sa 95^e année.

1912

Décès : 17.4.81, Jacques Bonnaffé, dir. hon. des Chantiers de l'Atlantique.

1914

Décès : 4.81, Roger Labauve
24.4.81, Charles Rougnon, Chevalier de la Légion d'Honneur.

1919 S

Décès : 30.12.79, Jean Pérignon
14.2.81, Jean Sauvajol f.p. du décès de son fils Robert.

1919 N

Décès : 25.4.81, Paul Reyroles, Dir. rég. des Télécom., Officier de la Légion d'Honneur.

1920 S

Décès : 7.4.81, André Davoine, oncle de Marbon (45).

1921

Naissance : 17.4.81, Avril f.p. de la naiss. de son 18^e petit-enfant, Thomas Tranié.

Décès : 11.4.81, André Lauga, Ing. gén. Arm. (G.M.) 2^e Section.

1922

Décès : 4.4.81, André Vion, Cons. hon. de la Banque de France, Présid. d'hon. de plusieurs Soc. de T.P. et Associations patronales en Normandie.

1923

Décès : 1981, Marcel Gothié, Ing. gén. 2^e cl. Arm. (A.N.) 2^e Section.
15.4.81, Roger Jouanneau, Ing. gén. hon. SNCF.

1924

Décès : Paul Stora a la douleur de f.p. du décès de son fils Jean-Claude, ancien élève de l'ENA, chef de Bureau des Affaires internationales au Trésor, survenu brutalement à l'âge de 35 ans.



1925

Mariage : 26.7.80, Stéphane Meunier f.p. du mariage de sa fille Bénédicte avec Gérard-Philippe Grandjean (70).

Décès : Nous avons le vif regret de f.p. du décès, le 13.4.81, de Mme Vérot, veuve de Jean Vérot, qui a si souvent contribué par son accueil affectueux à la préparation de nos voyages. Elle a bien mérité de la promo.

1927

Décès : 28.4.81, Maurice Rémond.

1928

Naissance : 26.4.81, Prieur f.p. de la naiss. de son 21^e petit-enfant, Claire Prieur fille d'Hubert et d'Anne-Marie née Carrier.

Mariage : 27.3.81, Magne f.p. du mariage de son fils Patrice avec Mlle Florence Dubedout.

Décès : 8.4.81, Robert Montagner, Gén. de div. 2^e Section.

1929

Naissance : 29.4.81, Carrière f.p. de la naiss. de son 9^e petit-enfant, Maud sœur de Sophie.

1932

Décès : 20.3.81, Mme Mercier a la douleur de f.p. du décès de son mari, le Colonel Jacques Mercier.

1933

Mariage : Jean Boulenger f.p. du mariage de sa fille Marie-Josèphe avec Georges Néagu.

1934

Décès : 19.4.81, Jean de Sauville de la Presle, expert financier, Expert près le Tribunal administratif de Paris.

1936

Mariages : Kass f.p. du mariage de sa fille Marie-Catherine avec M. Jörg Reckmann, le 15.9.79, et de celui de son fils François avec Mlle France Bagarry, le 25.4.81.

1939

Naissance : 27.4.81, Alain Chef et Christiane f.p. de la naiss. d'Emilie, sœur de Florence, Emmanuel et Cécile.

Décès : 8.5.81, Emile Rombout Ing. gén. de l'Arm. (T.A.) 2^e Section.

1940

Mariages : 2.5.81, Robert David f.p. du mariage de son fils Alain (74) avec Mlle Marie Weymuller.

11.8.79, Roumain de la Touche f.p. du mariage de son fils Arnaud, aspirant de Marine avec Alix Massie, arr. petite-fille de Cézanne (1849) et Alban de Virel (1860).

11.4.81, Romain de la Touche f.p. du mariage de son fils Yves, ingénieur agronome, avec Colette Tanguy des Déserts, arr. petite-fille de Cauvet (1884).

1945

Décès : 7.4.81, Mardon f.p. du décès de son oncle André Davoine (20S).

1951

Naissance : 11.4.81, Jean Carrier f.p. de la naiss. de son 2^e petit-fils Julien, chez Florence et Philippe Evrard.

1953

Décès : Paul Costa a l'immense douleur de f.p. du décès de son fils Hugues, élève de l'Ecole Normale Supérieure (major du concours

1978), survenu dans sa 22^e année, à New Dehli, le 30 mars 1981.
2.5.81, Flesselles a la douleur de f.p. du décès de sa mère.

1955

Naissance : 3.5.81, G.Y. Kervern f.p. de la naiss. de son fils Eric-Franck, frère de Patrick et d'Isabelle.

1957

Naissance : 23.3.81, Daniel Lépine f.p. de la naiss. de sa fille Florence, sœur d'Eric et Franck.

1961

Naissance : 2.3.81, Christian Gitiaux f.p. de la naiss. de Xavier, frère de Cyril.

1962

Naissance : 27.3.81, Alain Artaud f.p. de la naiss. de Vincent, frère de Gilles et Anne.

1964

Naissances : Paul Martin f.p. de la naiss. d'Elise, sœur de Marianne, Frédéric et Juliette.

7.4.81, Dominique Desplats-Redier f.p. de la naiss. de Perrine, sœur de Cédric, Stéphanie et Christophe.

7.2.81, Hubert Pasteau f.p. de la naiss. de Delphine, sœur de Jérôme, Olivier et Antoine.

1966

Naissance : 25.4.81, Jean Grouas et Anne-Marie f.p. de la naiss. de Sophie, sœur de Nathalie.

1968

Naissances : 17.3.81, Xavier Laniray f.p. de la naiss. de Pierre, frère de Yann et Marc.

24.1.81, Pascal Payet-Gaspard f.p. de la naiss. de son fils Matthieu, frère de Timothée.

15.4.81, Dominique Maillard f.p. de la naiss. de son fils Frédéric.

Mariage : 9.5.81, Christian Gennerat f.p. de son mariage avec Mlle Marie-Annick Billy.

Décès : 14.4.81, Dominique Maillard f.p. du décès de son père Roland Maillard.

1969

Naissances : 13.1.81, Roland Grima f.p. de la naiss. de Laure, sœur de Sophie et Cécile.

27.2.81, Jean-Louis Berrendonner f.p. de la naiss. de Guillaume.

1.4.81, Boissier f.p. de la naiss. de Cyril, frère d'Elodie et Fabienne petit-fils de Boissier (45), arr. petit-fils de Le Touzé (13), arr. arr. petit-fils de Le Touzé (1882), neveu de Boissier (1980).

1970

Mariages : 26.7.80, Gérard-Philippe Grandjean f.p. de son mariage avec Mlle Bénédicte Meunier, fille de Stéphane Meunier (25), mariage célébré par l'abbé Philippe Rast (70).

6.6.81, Hervé Brindejonc de Tréglodé f.p. de son prochain mariage avec Mlle Laurence de Hauteclouque, petite-fille de Jean de la Gorge de Rosny (19) décédé.

1972

Naissance : 9.2.81, Laurent Barthélémy f.p. de la naiss. d'Alice, sœur de Marie.

1974

Naissances : 20.2.81, Jean-Philippe Grelot f.p. de la naiss. de Geoffroy.

13.4.81, Jean Perrot f.p. de la naiss. d'Anouk.

Mariage : 2.5.81, Alain David f.p. de son mariage avec Mlle Marie Weymuller.

1975

Naissances : 19.2.81, Olivier de Vréville f.p. de la naiss. d'Emmanuel.

30.4.81, Didier Meurisse f.p. de la naiss. d'Estelle, sœur de Carine.

Mariage : 11.80, Michel Bentz f.p. de son mariage avec Mlle Catherine Poignon.

1976

Naissance : 1.4.81, Olivier de Conihout, fils de Pierre de Conihout (35) f.p. de la naiss. de Guillaume, frère de Juliette.

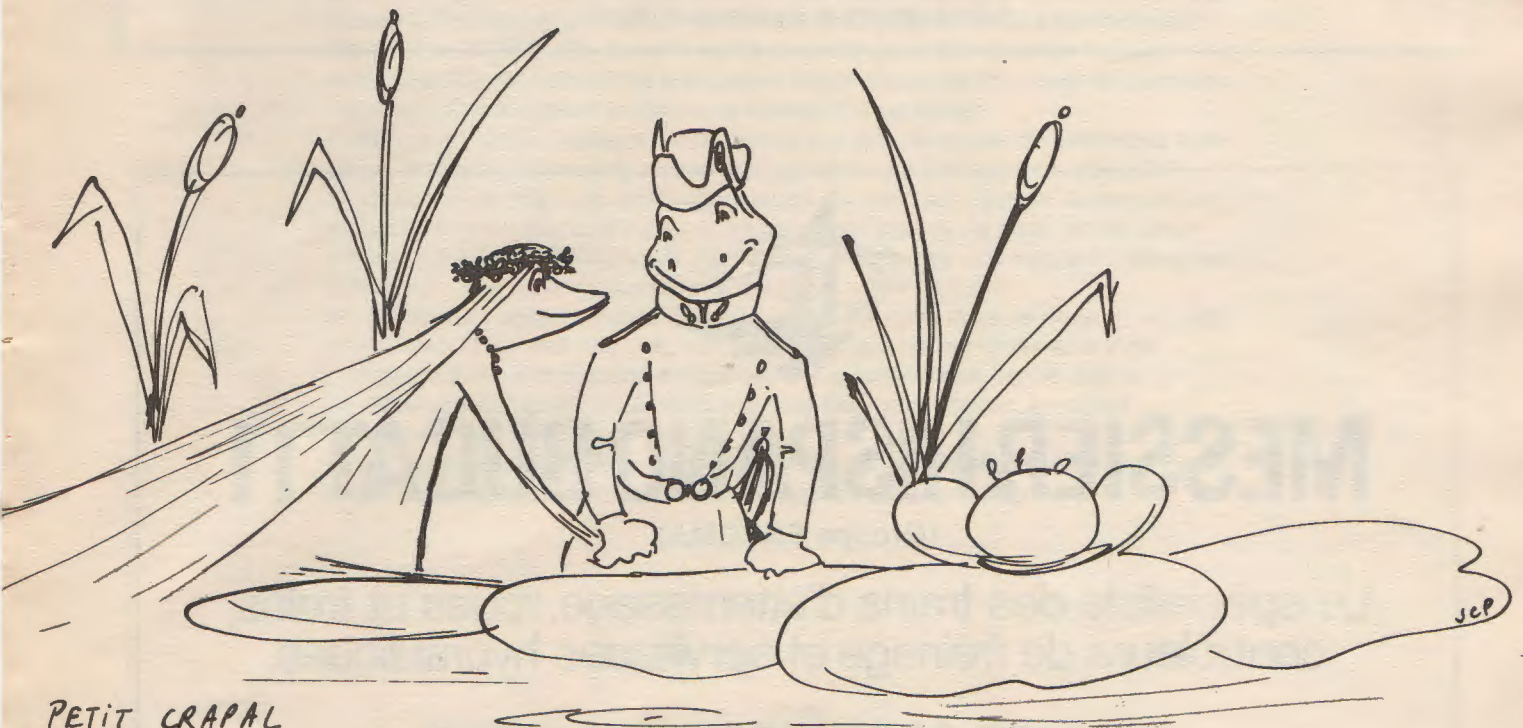
24.4.81, Duvert f.p. de la naiss. de Frédéric.

1977

Naissance : 14.4.81, Raoul Nehme et Lina f.p. de la naiss. de Michel.

Mariages : 4.4.81, Bruno Le Stradic f.p. de son mariage avec Mlle Claire Pinget.

11.4.81, Bruno Héron f.p. de son mariage avec Mlle Anne-Marie Bouvot.



PETIT CRAPAL

AU

CARNET POLYTECHNICIENS

usimor

Siège social : 14, rue d'Athènes, 75009 PARIS, Tél. 280.66.19

ECOLE SPECIALE DE MECANIQUE et d'ELECTRICITE

ETABLISSEMENT PRIVE RECONNU PAR L'ETAT (Décret du 8 décembre 1922)

S U D R I A 4, rue Blaise Desgoffe - 75006 PARIS Tél. : 548.03.70

JEUNES GENS

JEUNES FILLES

**FORME DES INGÉNIEURS MÉCANICIENS - ÉLECTRICIENS ET MÉCANICIENS -
ÉLECTRONICIENS AVEC LARGE PLACE A L'INFORMATIQUE
SCIENTIFIQUE AUX AUTOMATISMES ET A LA RECHERCHE OPÉRATIONNELLE
(DIPLÔME MINISTÉRIEL)**

**1^{er} Cycle (Mathématiques Supérieures et Spéciales)
- 2 ans - Second Cycle : 3 ans**

Des sections de dernière année sont consacrées

• A la gestion des Entreprises • Au génie nucléaire

Renseignements et inscriptions à l'Ecole



MESSIER-HISPANO-BUGATTI

(Groupe SNECMA)

**Le spécialiste des trains d'atterrissage, roues et freins,
contrôleurs de freinage et servitudes hydrauliques.**

58, rue Fénelon - B.P. 555 - 92542 Montrouge Cedex France

Tél. : 657.14.24 - Téléx : 260.655 Meshi

Petites Annonces

bureau des carrières

12, rue de Poitiers, 75007 Paris
Tél. 548.41.94
Ouvert tous les jours (sauf samedi).

Le général Keim (33) est à la disposition des employeurs pour toute offre pouvant intéresser les polytechniciens. Les camarades à la recherche d'une situation, même si cela n'a pas un caractère d'urgence, ont toujours intérêt à se faire connaître, en écrivant ou en téléphonant au Bureau des Carrières. S'ils le souhaitent, ils peuvent recevoir directement, et sans tenir compte des délais de publication, la liste des offres récentes disponibles au Bureau des Carrières.

OFFRES DE SITUATIONS

Ces offres de situation sont réservées exclusivement aux Anciens Élèves de l'École Polytechnique

1°) PARIS ET SES ENVIRONS

5279 - Cie Générale d'informatique recrute **Ing. confirmé ou déb.** Formation ass. (2 mois). Prendre contact avec : CHAPOT (62) ou env. C.V. et photo à Mme JAMET C.G.I. 84, rue de Grenelle, 75007 Paris.

5760 - Société Services Informatiques rech. :

1) Un **Ingénieur programmeur** ayant une brève exp. pour participer à des études de gestion automatisée ou de système informatique.

2) Un **Ingénieur pour participer à des études et interventions de haut niveau** en clientèle notamment en province et à l'étranger, 1 à 3 ans d'exp. en organ. et en informatique de gestion. Anglais souhaité. S'adresser Bur. des Carrières.

6480 - SERTI - Conseil en informatique et organisation auprès des Grandes Entreprises et Administrations, recherche des X (promotions 70 à 75). Qualités requises : goût des contacts, dynamisme, réalisme, formation assurée au métier de conseil, responsabilités à court terme. Voir activités de SERTI dans rapport Carrières. Écrire à M. ROCHET (X58) ou LE DONG (X62) 49, avenue de l'Opéra 75002 PARIS.

6690 - EUROPE-INFORMATIQUE, SSCI de moyenne importance, recevrait volontiers des camarades des promotions 60 à 75. Écrire à J.F. JACQ (58) 8, rue Sèze 75009 PARIS.

6869 - Groupe DATAID, Groupe de Sociétés de service et de conseil en informatique et bureautique, recherche pour son développement dans les domaines de pointe (Bases de données, réseaux, mini-ordinateurs, bureautique) des Ingénieurs informaticiens confirmés et de jeunes X attirés par l'informatique et le métier du service (formation assurée). Prendre contact avec J. TEBEKA (56), 48, avenue Raymond Poincaré 75116 Paris, tél. 553.47.26.

7274 - CABINET INTERNATIONAL DE CONSEIL, recherche jeunes camarades, 22 ans min., débutants ou 1 à 2 ans d'expérience pour plusieurs postes d'**Ingénieur conseil en Organisation et/ou d'Ingénieur-Conseil en Informatique**. Formation permanente assurée aux USA et en France. Accès rapide à de larges responsabilités pour ceux ayant démontré leur dynamisme, et leur sens de l'initiative et des contacts. Anglais indispensable. S'adresser Bur. des Carrières.

L'Association Échanges et Consultations Techniques Internationaux (E.C.T.I.), recherche, dans le cadre de la Coopération Technique Internationale, des Ingénieurs experts bénévoles, en principe retraités, pouvant exécuter des missions, non rémunérées, mais défrayées des frais de voyages et de séjour sur place. Les camarades intéressés peuvent obtenir tous renseignements en s'adressant à BOREL (26) ou WERQUIN (38) ECTI, 3, rue de Logelbach 75017 PARIS. Tél. : 622.20.19.

7332 - PEAT, MARWICK, MITCHELL & Co., une des plus grandes firmes professionnelles internationales (20 000 personnes - 300 bureaux dans le monde), offrant les services de conseil en gestion, conseil juridique et fiscal, recher. **Ingénieurs** intéressés par la carrière de **Conseil de Direction**, ayant acquis 3 à 5 ans d'expérience dans les domaines suivants : Informatique, Comptabilité Finances, Banques, et ayant une formation complémentaire aux techniques de gestion - anglais courant nécessaire - Évolution des responsabilités et de la rémunération rapide, liée aux performances. S'adresser Bur. des Carrières.

7426 - CRÉDIT LYONNAIS recherche pour sa direction des études économiques et financières, **Ingénieur conseil et d'études**, débutant. S'adresser Bur. des Carrières.

7439 - TRANSTEC, Société de services en informatique en pleine expansion, filiale de C.I.S.I. et de RAND INFORMATION SYSTEMS INC. (USA) recherche pour son développement, des **Directeurs et des Chefs de projets** pour des opérations se déroulant en Europe de l'Ouest.

Écrire : J.P. ROSSIENSKY (X61), P.D.G., TRANSTEC 15/17, rue Auber 75009 PARIS ou téléphoner : 266.23.63.

7455 - Le centre de recherches de CII HONEYWELL BULL recherche des **Ingénieurs de haut niveau pour sa division architecture et logiciel**, connaissances approfondies théoriques et pratiques dans l'un ou plusieurs des domaines suivants : architecture de machines, logiciel de base, techniques de compilation, transformation et analyse des programmes, technique d'évaluation, systèmes distribués. S'adresser Bur. des Carrières.

7516 - Le Groupe FOUGEROLLE, leader français dans le domaine bâtiment et T.P. (5 milliards C.A. - 20 000 personnes) recherche **Jeunes Ingénieurs**, débutants ou avec début d'expérience. Très larges perspectives d'avenir. Écrire sous la référence « FO 48 » Service Recrutement - 3, avenue Morane Saulnier - 78140 VÉLIZY-VILLACOUBLAY.

7817 - SOFINNOVA, première Société Française de Financement de l'Innovation, recherche jeune camarade ayant si possible expérience financement de PMI, qui souhaiterait s'accomplir au sein d'une petite équipe de pionniers de « venture-capital » à la française. Prendre contact HAMON (61) Directeur Général SOFINNOVA-SOFININDEX 51, rue Saint-Georges - 75009 Paris - Tél. 280.68.70.

7818 - Société multinationale importante (CA France 1 MD F.) recherche **Directeur de l'Informatique**, 30 ans min., anglais courant, familiarisé avec les méthodes de reporting anglo-saxon, expérience de 6 à 7 ans dans les systèmes (développement et implantation) des minis et gros ordinateurs (y compris les systèmes interactifs on line) et expérience d'une direction de service. S'adresser Bur. des Carrières.

7820 - Paris (ou éventuellement Étranger) - Groupe français de T.P. et Génie Civil, largement implanté à l'étranger, recherche **Directeur Commercial**, anglais courant, autre langue souhaitée, professionnel ayant une expérience approfondie et diversifiée incluant l'exportation et la direction antérieure d'importants chantiers. S'adresser Bur. des Carrières.

7822 - Important Cabinet de brevets recherche **Responsable du service juridique**, 35 ans min., anglais courant, allemand souhaité, formation complémentaire Droit souhaitée, diplôme américain ou allemand apprécié, plusieurs années de pratique professionnelle, connaissances approfondies en propriété industrielle notamment en Droit des licences, Droit de la concurrence. S'adresser Bur. des Carrières.

7823 - TOTAL C.F.R. recherche pour sa direction TOTAL CONSTRUCTION **Spécialiste** en équipements thermiques et chaudronnerie lourde, anglais courant, expérience acquise dans un service Ingénierie ou un service Entretien-Inspection. S'adresser Bur. des Carrières.

7824 - Filiale française d'un groupe américain spécialisé dans la vente de produits de consommation directement aux particuliers, recherche **Directeur des relations humaines**, anglais courant, expérience de la fonction personnel dans une société de services en croissance rapide, participation à la création ou extension d'une unité de production appréciée. S'adresser Bur. des Carrières.

7826 - Groupe international réputé, important constructeur d'équipements informatiques, recherche pour son département Central Marketing, **Responsable de produit**, 30 ans min., anglais courant, première expérience ayant permis de se familiariser avec les systèmes informatiques (hard et soft), importantes possibilités d'évolution dans un groupe très diversifié. S'adresser Bur. des Carrières.

7827 - Société française de construction mécanique liée au secteur de l'aéronautique, rattachée à un important groupe français, recherche **Directeur Général Adjoint**, 38 ans min., anglais utile, expérience de plusieurs années dans l'animation d'une unité d'environ 500 personnes, acquise de préférence dans le secteur de la mécanique. S'adresser Bur. des Carrières.

7828 - Grand groupe industriel multiproduits recherche **Responsable planification**, expérience de la planification soit dans un cabinet de conseil international, soit au sein de la fonction planification d'une société au management sophistiqué. S'adresser Bur. des Carrières.

7829 - Grand groupe industriel international recherche **Directeur Informatique** pour l'une de ses principales divisions, 35 ans min., anglais courant, maîtrise des problèmes informatiques en milieu industriel international (anglo-saxon si possible). Potentiel de développement de carrière intéressant. S'adresser Bur. des Carrières.

7830 - Grand groupe industriel international recherche pour le compte de sa division la plus importante, **Responsable Organisation**, 30 ans min., anglais courant, expérience de l'organisation acquise si possible dans un grand cabinet de conseil en management/organisation. S'adresser Bur. des Carrières.

7831 - Société spécialisée dans l'exportation recherche **Ingénieur chargé d'affaires**, 27 ans min., anglais courant, 2 à 3 ans d'expérience de l'entreprise dans des fonctions technico-commerciales si possible tournées vers l'exportation. S'adresser Bur. des Carrières.

7832 - Firma de conseil spécialisée dans le recrutement des cadres au niveau le plus élevé, par les méthodes de la recherche systématique, recherche **Consultant de haut niveau, conseil en recrutement**, anglais courant, expérience approfondie de la direction des entreprises et du milieu des affaires, bon contact humain. S'adresser Bur. des Carrières.

7837 - Société Savante (Association loi de 1901) dans le domaine hydraulique, mécanique des fluides, recherche **Secrétaire Général**. Situation complémentaire convenant à un retraité. S'adresser Bur. des Carrières.

7840 - Société informatique d'un très important groupe international de services, recherche **Chef de département projets**, consacré à l'un des tous premiers sous-ensembles de ce groupe, 32 ans min., anglais courant, formation complémentaire gestion, 5 à 10 ans d'expérience de conduite de projets informatiques et de l'organisation interne des entreprises et des systèmes en informatique. Évolution possible, à court terme, vers la fonction de sous-direction dans la Société. S'adresser Bur. des Carrières.

**AVIS DE VACANCE DE POSTE
POUR UN ENSEIGNEMENT
D'ÉCONOMIE
DE LA CONSTRUCTION
(D.E.A. de Sciences
et Techniques du Bâtiment)
A L'ÉCOLE NATIONALE
DES PONTS ET CHAUSSÉES
28, rue des Saints-Pères
75007 PARIS**

L'École Nationale des Ponts et Chaussées lance un avis de vacance de poste de professeur d'Économie de la Construction.

Cet enseignement comporte 12 séances de 3 heures chacune. Le programme est, en substance, le suivant : facteurs de production, les diverses formes d'industrialisation. Notion et structure du coût. Effet de série, économies d'échelle. Formation des prix au niveau de l'entreprise. Le couple qualité-prix. La productivité du processus de construction. Le couple fonction/coût. Le coût global : prise en compte des coûts différés.

Les personnes intéressées peuvent obtenir des précisions complémentaires auprès du Directeur de l'Enseignement de l'École (tél. : 260.34.13).

Chaque candidat devra joindre à sa lettre de candidature son curriculum vitae, ainsi que la liste de ses références, travaux et publications. Il fournira également un programme sommaire de l'enseignement qu'il se propose de faire.

La date limite de réponse à cet avis de vacance de poste est fixée au 31 juillet 1981.

7841 - Très important groupe privé d'assurances recherche pour renforcer ses équipes **Organisateurs**, quelques années d'expérience (secteur indifférent) en organisation et bonne connaissance de l'informatique. S'adresser Bur. des Carrières.

7842 - Filiale d'un très important groupement industriel français fabriquant des biens de consommation (équipement ménager) recherche futur **Directeur de son usine** (à 1 heure de Paris) 35 ans min., expérience au sein d'entreprises utilisant les méthodes les plus modernes en technologie dans le domaine de l'emboutissage, traitement de surfaces et automatisation de l'assemblage, industries du même secteur ou employant ces méthodes, par exemple l'industrie automobile, électro-ménager, etc. S'adresser Bur. des Carrières.

7843 - Filiale française d'un important groupe industriel international commercialisant des biens d'équipement sophistiqués, utilisés dans la distribution et le commerce recherche **Directeur Commercial**, 38 ans min., bonnes connaissances d'anglais, expérience acquise dans une fonction similaire au sein d'entreprises fabriquant équipements de bureau, mini-ordinateurs, matériel de bureau, systèmes in-

formatiques etc. connaissance des secteurs de la distribution souhaitée. S'adresser Bur. des Carrières.

7844 - Groupe multinational de premier plan, concevant et réalisant des systèmes de haute technologie pour l'industrie pétrolière, recherche **Technologue (Ingénieur électronique)**, 27 ans min., anglais courant, 2 à 5 ans d'expérience en électronique (technologie des composants et des circuits). S'adresser Bur. des Carrières.

7848 - ORESYS, société de conseil dans les domaines de l'informatique et de l'organisation, recherche **Ingénieurs débutants, Ingénieurs 2 à 6 ans d'expérience industrielle**, formation au métier de conseil, intervention dans les domaines de pointe en France et à l'Étranger. S'adresser Bur. des Carrières.

7853 - Société Ingénierie (1 100 personnes - 2 Mds de F. de CA) filiale d'un très grand groupe français, recherche **Responsable Implantation CAO** dans ses bureaux d'études (poste à créer) Expérience de l'utilisation de la C.A.O. acquise chez un utilisateur (industrie ou société de services) ou chez un fournisseur de C.A.O. S'adresser Bur. des Carrières.

7855 - Filiale française d'un important groupe multinational du secteur automobile recherche **Directeur Commercial**, 35 ans min., anglais courant, allemand apprécié, formation complémentaire commerce ou gestion appréciée, bonne expérience du marketing industriel. S'adresser Bur. des Carrières.

7856 - Importante société française, filiale d'un groupe international d'équipements automobiles, recherche **Ingénieur commercial**, 30 ans min., anglais courant, expérience commerciale industrielle. S'adresser Bur. des Carrières.

7859 - Important groupe français d'électromécanique recherche **Ingénieur en organisation industrielle et administrative**, 30 ans min., expérience de 5 à 10 ans acquise soit comme consultant d'un cabinet de Conseil en Organisation, soit dans le Service Organisation d'une grande entreprise, soit à des postes différents dans la vie industrielle (mécanique, chaudronnerie, etc.) S'adresser Bur. des Carrières.

7860 - Département de la Division Télécommunications d'un important groupe français, concevant, fabriquant et vendant des équipements élaborés de transmission d'informations à usages civils recherche **Directeur Etudes et Industrialisation**, 35 ans min., formation type ESE, Télécom., solide expérience du domaine études et industrialisation dans un univers d'électronique complexe (professionnelle ou grand public) public ou privé ainsi que celle de l'animation d'une équipe nombreuse et de niveau élevé. Expérience de marketing industriel apprécié. S'adresser Bur. des Carrières.

7861 - Très important groupe français du B.T.P. recherche **Directeur adjoint du Développement International**, anglais courant, espagnol souhaité, expérience de la recherche et de la négociation de grandes affaires complexes du niveau international acquise soit dans le domaine B.T.P., soit dans une importante société d'ingénierie ou de B.E.T. S'adresser Bur. des Carrières.

7864 - Très important groupe français d'assurances (VIE et IARD) recherche **Chef de projet**, 32 ans min., 5 ans d'expérience en informatique, dont 1 à 2 en tant que chef de projet, connaissance du secteur des assurances appréciée. S'adresser Bur. des Carrières.

7865 - Très important groupe français d'assurances (VIE et IARD) recherche **Ingénieur système**, 30 ans min., 2 à 3 ans d'expérience dans la fonction, bonne connaissance des logiciels IBM gros systèmes OS/MVS - VSAM - VTAM - CICS. S'adresser Bur. des Carrières.

7866 - Société commercialisant et distribuant en France des batteries et piles électriques fabriquées à l'Étranger (130 personnes - 60 M.F. de CA) recherche **Directeur Général**, 30 ans min., expérience professionnelle de 5 à 10 ans souhaitée dans une fonction technico-commerciale, très bonne aptitude à la fonction commerciale, connaissance du milieu de l'automobile appréciée. S'adresser Bur. des Carrières.

7867 - C.F.P. TOTAL recherche **Ingénieurs d'études dans les domaines de pointe de la recherche pétrolière**, débutants ou 1 à 2 ans d'expérience. Anglais courant. S'adresser Bur. des Carrières.

7868 - L'Université Populaire de Paris recherche pour sa section **Informatique, Professeurs** (cours du soir, rémunération à la vacation). S'adresser Bur. des Carrières.

7869 - ORDINA, SSCI, recherche pour son département automatisme, micro-informatique, avionique, en expansion, **Ingénieurs Informaticiens**, débutants ou première expérience. Ils devront connaître, si possible, matériels : INTEL 8080, 8085, 8086 - MITRA 225, 525 - Z 80 - MOTOROLA 6800; langages : Assembleurs, FORTRAN, PASCAL, BASIC. S'adresser Bur. des Carrières.

7870 - Branche Ingénierie (3 entreprises - 170 personnes - 60 M.F. de CA) d'un important groupe français recherche **Directeur Général**, 38 ans min. anglais, solide expérience de BET et (ou) d'entreprise générale dans le bâtiment, ayant exercé des responsabilités de direction générale ou de direction d'agence régionale importante, ayant déjà travaillé en milieu international. S'adresser Bur. des Carrières.

7871 - Établissement financier, leader français du crédit à la consommation, recherche **Directeur du Marketing**, 35 ans min., anglais courant, grande expérience du marketing soit dans un établissement financier, soit dans les produits grand public (fabricant ou distributeur), expérience de la négociation clients appréciée. S'adresser Bur. des Carrières.

7874 - Institut de Prévisions Économiques et Financières pour le Développement des Entreprises (I.P.E.C.O.D.E.), nouvellement créé, recherche pour son **Équipe d'économistes, Jeune Ingénieur** débutant ou quelques années d'expérience professionnelle, compétences demandées : analyse économique et financière - économie d'entreprise - techniques statistiques et économétriques - informatique de calcul. S'adresser Bur. des Carrières.

7876 - Laboratoire du secteur public désire rentrer en contact avec **Ingénieur de recherches physicien** de niveau docteur es sciences pour participer au démarrage d'un programme pluridisciplinaire de technologie avancée. Le travail, de recherche de base au départ, évoluera vers un projet de caractère industriel. Ceci rendra possible de nombreuses évolutions de carrière. S'adresser Bur. des Carrières.

7877 - QUADRANT, cabinet de conseils de direction, récemment créé, recherche **Consultants**, formation complémentaire MBA ou économie, anglais apprécié, expérience fonctionnelle ou opérationnelle de 3 à 5 ans en organisation du travail, systèmes d'information et de gestion, informatique. S'adresser Bur. des Carrières.

7878 - Entreprise de Génie Civil et Bâtiment, filiale d'un grand Groupe, recherche **Futur Directeur Général**, pour seconder puis relayer le directeur général, 35 ans min., 5 ans minimum d'expérience de direction d'une agence ou d'une direction régionale d'une entreprise de B.T.P. S'adresser Bur. des Carrières.

7879 - Entreprise de Génie Civil et Bâtiment, filiale d'un grand Groupe, recherche **Directeur Commercial**, 35 ans min. S'adresser Bur. des Carrières.

7881 - U.T.A. recherche pour sa direction financière, **Contrôleur de Gestion**, 5 ans d'expérience, une bonne pratique du reporting, de solides connaissances en comptabilité analytique et en informatique (APL...). S'adresser Bur. des Carrières.

7883 - Société commerciale (CA 3,5 Mds) filiale d'un groupe minier parapublic (CA 7 Mds) recherche **Jeune Camarade**, 26 ans min., **Intéressé par le commerce**, formation complémentaire ou souhaitée MBA, ISA, Master en R.O., ENSAE ou CEPE. Dans un premier temps, 2 ou 3 ans, à l'E.M. de la direction générale, il aura à mettre au point et à perfectionner l'emploi de divers modèles de simulation et à participer à l'élaboration de la politique commerciale. Ultérieurement, il lui sera proposé des responsabilités commerciales en France ou à l'Étranger. S'adresser Bur. des Carrières.

7884 - Paris - France et Étranger - SPIE BATIGNOLLES recherche pour sa division SPIE (départements Entreprise Générale et Électricité Industrielle) **Jeunes Ingénieurs** débutants ou quelques années d'expérience, anglais courant :

a) Paris :

1° **Ingénieurs d'Affaires** ayant une première expérience de chantier

2° **Ingénieurs d'études** pour calculs de procédés, préconisation de matériel, démarrages et essais (électricité, pétrochimie)

b) France et Étranger :

1° **Ingénieurs chantiers d'installations électriques**

2° **Ingénieurs systèmes**

c) Étranger

1° **Ingénieurs travaux** - T.C.E. en mécanique et tuyauterie. S'adresser Bur. des Carrières.

2°) PROVINCE

7406 - Nord de Paris - Filiale française (plusieurs milliers de personnes) d'un groupe européen recherche pour une unité de production (biens d'équipement) en forte expansion un **Directeur de développement** (direction d'une équipe pour gérer tous les problèmes techniques d'industrialisation et de gestion, mise en place d'un planning de production en tenant compte des aspects sociaux), 35 ans min., anglais courant, formation électromécanicien, 10 à 15 ans d'expérience des articles techniques « Grand Public », notions d'électronique. S'adresser Bur. des Carrières.

7821 - Midi-Pyrénées - Société métallurgique, filiale de 2 groupes importants, national et international, fabriquant des produits à haute technicité, recherche :

a) **Chef de service entretien-travaux neufs,**

b) **Ingénieur technico-commercial,**

30 ans min., allemand courant, anglais souhaité, possibilités de carrière rapide au niveau du Groupe. S'adresser Bur. des Carrières.

7825 - Val de Loire ou Région Lyonnaise - Société spécialisée dans les vins mousseux, première place dans la profession (133 M.F. de CA - 260 personnes - 4 établissements de production) recherche **Adjoint au directeur d'établissement** (50 personnes), 25 ans min., poste très polyvalent pouvant évoluer vers un poste de direction assez rapidement. S'adresser Bur. des Carrières.

7834 - Province - Société française de T.P. à implantation internationale recherche **Chef d'Agence**, 35 ans min., anglais courant, allemand ou espagnol souhaité, 5 ans minimum d'expérience de direction (ou adjoint) d'agence ou de chantier de T.P. en France et (ou) à l'Étranger. S'adresser Bur. des Carrières.

7835 - Ardèche - LAFARGE COPPEE (27 000 personnes - 10 Mds de F. de CA) pour étoffer ses services de recherches (250 per-

sonnes) dans son laboratoire de recherche appliquée, recherche **Jeune ingénieur recherches énergétiques**, formation génie chimique ou génie énergétique, expérience ingénierie ou service spécialisé grande industrie souhaitée. S'adresser Bur. des Carrières.

7836 - Lyon - Société d'ingénierie moyenne (17 personnes) en pleine expansion recherche **Ingénieur d'affaires**, destiné à devenir le « bras droit » d'un directeur, 30 ans min., anglais et allemand, entraîné à gérer des contrats « clés en mains » et à suivre des projets et leur réalisation de bout en bout. S'adresser Bur. des Carrières.

7838 - Sud - Important groupe français de presse recherche **Directeur des relations humaines**, 38 ans min., expérience de la fonction « personnel », déjà acquise dans une société industrielle à relations sociales difficiles. S'adresser Bur. des Carrières.

7839 - Strasbourg - Entreprise, filiale d'un groupe français et d'un groupe américain (850 personnes, 260 M.F. de C.A. dont 60 % à l'export) spécialisée dans la conception, la fabrication, la vente et l'installation de cloisons amovibles et de plafonds modulaires, recherche **Directeur de production** (350 personnes) 35 ans min., anglais et (ou) allemand courant, expérience de directeur de production, directeur de fabrication, responsable méthodes et industrialisation acquise dans un secteur faisant appel à la technologie des tôles minces. S'adresser Bur. des Carrières.

7845 - 100 Km de Paris - Entreprise agro-alimentaire (1 Md de F. de CA) recherche **futur Directeur Administratif et Financier**, 35 ans min., anglais courant, 5 à 10 ans d'expérience au sein d'une entreprise industrielle et commerciale dans des services contrôle de gestion/comptabilité, en rapport étroit avec l'informatique. S'adresser Bur. des Carrières.

7846 - Rhône-Alpes - Multinationale à majorité française (5 000 personnes) fabriquant en grande série des composants électroniques (pour l'électroménager) recherche **Directeur Usine** (1 200 personnes - 3x8, 6 jours par semaine) 35 ans min., anglais souhaité, expérience de direction d'un atelier de fabrication important ou d'une usine de 500 personnes, acquise si possible dans des fabrications du type industrie de verre ou semi-conducteurs - connaissance du travail en 3x8. S'adresser Bur. des Carrières.

7849 - Marseille - Centre d'Études et d'Expérimentation des Systèmes d'Information, C.E.E.S.I. (100 personnes dont 60 cadres) recherche **Adjoint au Directeur** (poste à créer : faire en sorte que la « maison » fonctionne dans les meilleures conditions possibles d'efficacité, de calme sur le plan des affaires intérieures), 35 ans min., expérience de plusieurs années dans un poste de responsabilité ayant comporté la direction de personnels, y compris de cadres de haut niveau. S'adresser Bur. des Carrières.

7850 - Rhône-Alpes - Société française (CA : 200 M.F.) filiale d'un groupe américain et holding français, possédant plusieurs unités décentralisées en Europe, fabriquant et commercialisant des produits consommables destinés à l'industrie, recherche **Directeur Général Adjoint** rattaché au Président, pour prendre la responsabilité complète d'un centre de profit France et Export regroupant plusieurs départements, 40 ans min., anglais courant, allemand souhaité, expérience de production dans une industrie assez lourde souhaitée. Connaissance de la clientèle fonderie, sidérurgie et construction mécanique appréciée. S'adresser Bur. des Carrières.

7852 - Nord de la France - Groupe familial important (2,250 Mds de CA dont 2/3 à l'exportation - 3 250 personnes - 3 usines en France) spécialisé en bio-industrie dans la fabrication et la commercialisation des dérivés du maïs et de la pomme de terre pour l'alimentation humaine et animale, et des produits des-

tinés à l'industrie pharmaceutique, recherche un **second Directeur Général**, 42 ans min., ayant expérience de directeur général ou D.G.A. opérationnel ou directeur de division dans un groupe important faisant appel à une forte technologie et des investissements lourds (chimie, agro-alimentaire...) S'adresser Bur. des Carrières.

7854 - Var et Sarthe - Société spécialisée dans la fabrication d'appareils mécaniques, électromécaniques ou électroniques du contrôle et de mesure (150 M.F. de CA - 700 personnes) recherche **Deux Directeurs de Centres de Profit** que vont constituer 2 établissements rachetés, l'un pour la signalisation ferroviaire (CA 25 M.F. - 50 personnes) l'autre pour la fabrication d'équipements destinés à la SNCF et la RATP (CA 30 M.F. - 100 personnes), 30 ans min., anglais courant, formation complémentaire gestion (INSEAD, MBA...) appréciée, 6 à 10 ans d'expérience à des postes de responsabilité commerciale ou usine dans des sociétés fabriquant des équipements mécaniques ou électromécaniques. S'adresser Bur. des Carrières.

7857 - France ou Étranger - Très important groupe européen de l'industrie chimique, recherche **Attachés de direction**, 30 ans min., anglais courant, formation complémentaire management, expérience double Production/Technique et Gestion ou Commercial, grande mobilité géographique. S'adresser Bur. des Carrières.

7858 - Touraine - Entreprise spécialisée dans la fabrication d'emballages alimentaires (400 personnes - 120 M.F. de CA) recherche **Directeur Général**, 35 ans min., anglais souhaité, expérience marketing produits de grande consommation et gestion. S'adresser Bur. des Carrières.

7862 - Grande Ville du Nord - Filiale d'un groupe industriel français très performant (1,6

Md. de CA, soit 10 % du CA du Groupe - Profit brut : 60 M.F.) fabriquant et vendant des produits très diversifiés dont la majorité est destinée au grand public recherche **Directeur Général** (poste actuellement assuré par le P.D.G. qui veut se consacrer à ses autres fonctions), expérience commerciale (politique produits, distribution) soit comme directeur d'une unité réalisant un CA minimum de 200 à 300 M.F., soit comme directeur commercial d'une unité plus importante, soit ayant exercé des activités fonctionnelles à l'E.M. d'un groupe important tout en ayant été exposé précédemment à des tâches opérationnelles. S'adresser Bur. des Carrières.

7883 - Lorraine - Société française de construction de biens d'équipements (2 500 personnes, C.A. 1 Md. de F.) recherche **Directeur d'un des Départements de production** de son usine, 30 ans min., expérience aussi polyvalente que possible acquise dans la chaudronnerie industrielle (cuves, citernes, équipements pour la chimie, la pétrochimie, etc.) S'adresser Bur. des Carrières.

7872 - Grande Ville Est - Société fabriquant des articles de loisirs (150 M.F. de CA - 900 personnes) recherche **Directeur Général**, 35 ans min., anglais et allemand très souhaités, diplôme gestion apprécié, expérience de direction technique ou de production si possible dans le domaine électronique. S'adresser Bur. des Carrières.

7873 - Orléans - Société d'Études et de Maîtrise de Chantiers (9,5 M.F. de CA - 36 personnes) à l'activité diversifiée (centres commerciaux, bâtiments industriels, bureaux, parkings) recherche **Directeur Général** (poste à créer), 35 ans min., formation complémentaire management (MBA, INSEAD, ISA...) souhaitée, connaissance du milieu bâtiment, expérience de la direction d'une équipe d'ingénieurs et de la négociation à tous niveaux. Par-

ticipation au capital pouvant être envisagée à terme. S'adresser Bur. des Carrières.

7875 - Est de la France - Division « Mécanique de Précision » (1 200 personnes) d'un groupe français important recherche pour lui confier la responsabilité des études industrielles, **Ingénieur mécanicien**, 35 ans min., anglais courant, expérience dans la grosse et belle construction mécanique de l'organisation du travail, des méthodes et outillages d'usine, de l'établissement et du suivi des prix, du contrôle de la productivité - Poste pouvant être un tremplin à la direction de la Division. S'adresser Bur. des Carrières.

7880 - Province - Entreprise Génie Civil et Bâtiment recherche **Chefs d'Agence, Directeurs de Travaux, Chefs de secteur**. S'adresser Bur. des Carrières.

7882 - Rhône-Alpes - Société de machines-outils, mondialement réputée, recherche pour assurer **développement machines futures et direction bureau d'études**, (40 personnes) **Ingénieur** haut niveau, 35 ans min., expérience conception machines-outils à commande numérique. S'adresser Bur. des Carrières.

3°) ÉTRANGER

7833 - France et Étranger - Société française de T.P. à vocation internationale recherche **Directeur de Travaux**, 35 ans min., anglais courant, allemand ou espagnol souhaité, expérience de direction de chantiers de T.P. (>30 Millions) en France et à l'Étranger. S'adresser Bur. des Carrières.

7847 - Étranger - Société appartenant à un important groupe multinational comprenant une mine (1 000 personnes) et une usine de transformation de minerais (2 000 personnes - budget annuel 1 Md de F.) recherche **Directeur des Exploitations** (N° 2 après le D.G.), 40 ans min., anglais, expérience minière non indispensable, expérience de la grande industrie du type sidérurgie ou métallurgie à chaud (expérience de fabrication à feu continu indispensable) et expérience de la direction d'une unité de plus de 1 000 personnes. S'adresser Bur. des Carrières.

7851 - Étranger - Très important groupe français de Travaux Publics recherche **Directeur** pour la conduite d'un **très grand chantier**. Expérience de très grands travaux à l'Étranger, bâtiments ou Travaux Publics (plus de 1 000 personnes - parc de matériel excédant 150 M.F.), anglais courant - perspectives de promotion dans les filiales ou au Siège du groupe. S'adresser Bur. des Carrières.

Le Bureau ne transmet pas « Sauf cas spécial » les demandes des camarades intéressés par les offres ci-dessus. Il met en contact directement demandeur et « offreur » d'emploi.

DEMANDES DE SITUATIONS

Inserions gratuites

2967 - X 59, anglais, notions espagnol, expérience très large de l'entreprise et de l'ensemble de ses fonctions, du management et des restructurations, de l'organisation (informatique) et des relations humaines et industrielles, recherche poste de responsabilité ou consultant. S'adresser Bur. des Carrières.

2999 - Camarade 34 ans, P.C. licence Sciences Éco., M.S. Berkeley, anglais courant, notions allemand, expérience chantiers B.T.P., aménagement urbain, recherche poste responsabilité. S'adresser Bur. des Carrières.



ELECTRONIQUE MARCEL DASSAULT

recherche, dans le cadre de son développement, des

ingénieurs

réellement attirés par la technique.

(POSITION I à III)

Si le laboratoire vous intéresse:

que ce soit dans les activités systèmes, hyperfréquences, circuits analogiques, utilisation de microprocesseurs...

que vous soyez débutant ou ingénieur confirmé avec de l'expérience de laboratoire,

adressez votre dossier de candidature (sous référence 2174 JR à préciser sur l'enveloppe) à

DEVELOPPEMENT

10, rue de la Paix - 75002 Paris.

3040 - X 65, anglais courant, russe, suédois - expérience économie d'entreprise au sein grande société nationale (plan, contrôle, marketing produit...) et mise en œuvre micro-informatique de décision sous APL recherche situation responsabilité. S'adresser Bur. des Carrières.

3056 - X 48 - ICG directeur commercial groupe biens d'équipements industriels et produits de technologie avancée dans domaines mécanique, électronique et ingénierie - anglais courant - recherche poste responsabilité à prédominance commerciale. S'adresser Bur. des Carrières.

3087 - X 45, anglais, italien, forte expérience production, commercial, logistique, informatique, formation et social, acquise sur le terrain en cabinet Conseil et en Entreprise - spécialiste productivité et réorganisation industrielle et commerciale - recherche poste responsabilité ou, éventuellement, mission durée déterminée. S'adresser Bur. des Carrières.

3102 - X Ponts, diplômé Harvard, 51 ans, anglais courant, connaissance outre-mer, expérience confirmée D.G.A. groupe important gestion développement dans domaine immobilier, aménagement transports, B.T.P., Services, recherche poste de responsabilité. S'adresser Bur. des Carrières.

3163 - X 67, D.E.A. logique, espagnol courant, anglais, compétences analyses numérique, théorie des graphes, statistiques, R.O., actuellement en Afrique Noire, recherche à partir juillet 81 poste utilisant ses compétences. S'adresser Bur. des Carrières.

3196 - X 56, expérience professionnelle dans industrie de transformation et industrie de pointe, en poste opérationnel (production, contrôle) et fonctionnel (conduite des projets, études économiques, plans) complétée par expérience actuelle au sein d'une direction générale à forte orientation commerciale, recherche dans grande entreprise Paris, poste de responsabilité. S'adresser Bur. des Carrières.

3198 - X 65 - anglais, espagnol, expérience bancaire, direction du personnel, direction générale et secrétariat général d'un groupe de sociétés industrie lourde, recherche poste responsabilité. S'adresser Bur. des Carrières.

3199 - X 60 - Sciences Po - anglais, allemand - début de carrière dans l'armée, expérience assurances, organisations professionnelles, secrétariat général - connaissance approfondie des P.M.E. et habitude des contacts privés et administratifs à tout niveau, recherche poste responsabilité opérationnelle - Région indifférente, Étranger accepté. S'adresser Bur. des Carrières.

3203 - Camarade 42 ans, expérience approfondie en staff Direction Générale, management technique et commercial, organisation, informatique de gestion, temps réel et réseaux, électronique et ingénierie, puis direction SSCI biens de production et consommation de masse, logistique et distribution, cherche poste de responsabilité de type direction à forte implication informatique et/ou organisation, tous secteurs professionnels. S'adresser Bur. des Carrières.

3204 - X 70, diplômé U.S. Yale, expérience informatique scientifique et de gestion, cherche poste responsabilité dans secteur public ou privé. S'adresser Bur. des Carrières.

3205 - X 67, G.R.E.F. hydraulique agricole, allemand, espagnol courants, grande expérience problèmes aménagement rural et hydraulique, recherche poste de préférence recherche ou bureau d'études dans ce domaine. S'adresser Bur. des Carrières.

3206 - X 43 - I.C.G. - spécialiste en propriété industrielle - expérience mécanique, métallurgie, génie chimique, véhicules de transport, aérodynamique, recherche poste responsabilité ou missions recherches et études en particulier - ou participation dans petite industrie. S'adresser Bur. des Carrières.

3209 - X 41 - C.P.A. - anglais courant, allemand lu, grande expérience problèmes bancaires, administratifs et financiers à l'échelon exécution et direction générale, cherche poste de responsabilité. S'adresser Bur. des Carrières.

3212 - Camarade 32 ans, expérience variée d'exploitation et gestion dans le secteur public (Aviation civile), compétences techniques et administratives, anglais et espagnol courants, recherche poste à responsabilité élevée tout secteur. S'adresser Bur. des Carrières.

3213 - Camarade (54) civil Télécom., M.I.T., anglais et espagnol courants, expérience échelon D.G., direction commerciale et marketing produits haute technologie, usines « clés en mains », pétrochimie, recherche poste responsabilité France et Étranger. S'adresser Bur. des Carrières.

3214 - Camarade 35 ans, expérience problèmes financiers, gestion, administration des affaires dans l'industrie pétrolière et dans l'ingénierie, recherche poste banque, compagnie financière ou activité similaire. S'adresser Bur. des Carrières.

BUREAU DES CARRIÈRES

DE L'A.X.

12, rue de Poitiers,
75007 Paris
548 41 94

Il nous faut toujours plus d'offres d'emploi pour des polytechniciens de tous âges et de toutes disciplines.

Les camarades qui, par leur position, peuvent disposer de tels postes sont instamment priés d'en informer le Bureau des Carrières ou de prendre contact directement avec le Général Keim (33) au Bureau des Carrières.

La solidarité polytechnicienne doit jouer.

3215 - X 54, spécialiste en organisation - grande expérience de conseil en gestion, production personnel, action commerciale, recherche poste direction ou conseil. S'adresser Bur. des Carrières.

3216 - Camarade 27 ans - P.C. - anglais courant, russe, expérience de problèmes d'aménagement et d'urbanisme en France et à l'Étranger, logements, montages financiers, problèmes d'énergie, cherche poste de responsabilité. S'adresser Bur. des Carrières.

3217 - X 59, Armement - C.P.A. - anglais courant, expérience importante secteur bancaire, problèmes financiers des entreprises, contrats recherche poste responsabilité. S'adresser Bur. des Carrières.

3218 - X 45 - Télécom., expérience direction générale et contrôle de gestion, métallurgie et entreprise générale cherche poste responsabilité. S'adresser Bur. des Carrières.

3221 - X 73, deux ans d'expérience grand projet informatique, anglais et espagnol courants, bonne connaissance de l'allemand et du portugais, recherche poste profil technique offrant de grandes possibilités de travaux à l'étranger pour de courtes ou longues périodes. S'adresser Bur. des Carrières.

3223 - X 42 termine carrière en recherches chimie organique et macromoléculaire - possède large expérience en applications d'ana-

lyse des données. Recherche poste en rapport avec responsabilités antérieures. S'adresser Bur. des Carrières.

3224 - X 43 - E.S.E. ayant contribué au développement de plusieurs ordinateurs notamment pour les aspects technico-économiques, cherche poste en rapport avec ces 25 ans d'expérience dans ce domaine. S'adresser Bur. des Carrières.

3225 - Camarade 39 ans, ingénieur en chef de l'armement (G.M.), STEGE, 4 ans chef de projet informatique, expérience études et travaux et direction de programme sur systèmes mécaniques et électroniques complexes, responsable département industriel (1 000 personnes) dans important établissement, recherche poste opérationnel région atlantique ou parisienne. S'adresser Bur. des Carrières.

3226 - X 65 - Civil GREF - anglais courant - expérience études et développement secteur promotion immobilière ainsi qu'industries de matériaux, recherche poste de responsabilité. S'adresser Bur. des Carrières.

3228 - Camarade 45 ans, origine Armement, I.A.E., anglais courant, allemand, expérience production, étude de coûts, qualité, dans les domaines mécanique, optique, métrologie, informatique, recherche poste de responsabilité. S'adresser Bur. des Carrières.

3229 - X 65, responsable de secteur dans une SSCI, 12 ans d'expérience informatique de gestion, bases de données, TP, mini-ordinateurs, cherche place de responsabilité, de préférence à dominante technique. S'adresser Bur. des Carrières.

3230 - X 58 - Ingénieur Armement - I.C.G. - anglais courant - expérience industrielle et commerciale biens d'équipement (mécanique - pétrole - électricité) recherche poste responsabilité. S'adresser Bur. des Carrières.

3232 - X 68 - P.C. - anglais courant, allemand, expérience infrastructures routières (études, chantiers) aménagement et planification urbaine au sein administration, recherche poste de responsabilité, d'action et de création à caractère opérationnel, tous secteurs d'activité. S'adresser Bur. des Carrières.

3233 - X 45, grande expérience direction générale, en particulier T.P. - Presse - Mécanique, et expérience importante conseil de direction, recherche poste responsabilité. S'adresser Bur. des Carrières.

3236 - Camarade 37 ans, anglais courant, 12 ans d'expérience de recherche et développement dans l'industrie spatiale et d'armement, souhaiterait poste de responsabilité même secteur ou secteur voisin de haute technicité. S'adresser Bur. des Carrières.

3237 - Camarade 30 ans, civil P.C., anglais courant, expérience des études stratégiques et économiques dans le domaine des industries de pointe recherche poste études et recherches, précision technologique, stratégie industrielle, marketing industriel ou similaires. S'adresser Bur. des Carrières.

3238 - Camarade (56), 43 ans, cadre supérieur B.T.P. expérience principale dans études structures complexes, mais aussi conn. et expér. sérieuses en conseil (même de chantier), contrôle, formation, gestion, organisation et autres domaines variés, recherche poste de responsabilité. S'adresser Bur. des Carrières.

3243 - X 44 ans, G.M., I.C.G., anglais courant, expérience direction technique et direction générale secteurs mécanique, électricité, métallurgie, recherche poste de responsabilité. S'adresser Bur. des Carrières.

3244 - X 44 ans, anglais et espagnol courants, expérience de conseil de direction et de direction générale d'un centre de profit et d'une usine (1 600 personnes) recherche poste responsabilité région parisienne. S'adresser Bur. des Carrières.

3245 - Camarade en préretraite cherche contact avec autres camarades dans la même

situation cherchant une activité utile, intéressante, et conforme aux obligations ASSEDIC pour échange de vue et, le cas échéant, formation d'un groupe d'accueil. Appeler le soir RENARD 527.17.20

3246 - X 67, espagnol et anglais courants, 10 ans d'expérience informatique, gestion et organisation, direction de projets, recherche poste de responsabilité dans ce domaine, ouverture internationale souhaitée. S'adresser Bur. des Carrières.

3247 - Camarade 36 ans, anglais et espagnol courants, expérience organisation et planification informatique, contrôle de gestion, recherche poste de responsabilité. S'adresser Bur. des Carrières.

3248 - X 35 ans, Armement, anglais et espagnol courants, grande expérience en gestion - connaissances approfondies en administration des entreprises, recherche poste de responsabilité au niveau d'une Direction Générale. S'adresser Bur. des Carrières.

3250 - Camarade retraité qui après sa carrière militaire a exercé dans le civil des fonctions qui l'ont amené à entreprendre au C.N.A.M. des études d'Économie, lesquelles ont été sanctionnées par l'attribution du D.E.S.E. option actuariat, recherche dans Compagnie d'assurances ou organisme financier une activité de chargé d'études, notamment de celles comportant des aspects actuariels susceptibles d'être développés dans une thèse. S'adresser Bur. des Carrières.

3252 - X 52, allemand et italien courants, anglais technique, expérience ingénierie atomique, planification, organisation, logistique, contrôle budgétaire, négociation commerciale à l'échelon D.G., domaines très diversifiés, recherche poste responsabilité. S'adresser Bur. des Carrières.

3259 - X 71 - M.B.A., expérience gestion général PME et contrôle de gestion Holding, anglais courant, espagnol, recherche poste financier ou contrôle de gestion. S'adresser Bur. des Carrières.

3260 - Camarade 34 ans, M.S. Berkeley, INSEAD, quatre langues étrangères, expérience diversifiée : modélisation économique, développements sur microprocesseurs, marketing d'équipement informatique, connaissance secteur financier, cherche poste à responsabilités : marketing ou stratégie industrielle, développement, gestion. Province ou Paris. S'adresser Bur. des Carrières.

3261 - EXPÉRIENCE : Direction générale à dominante technique et industrielle, négociations à haut niveau avec des partenaires commerciaux, financiers et administratifs. DOMAINE : produits techniques pour clientèle française et internationale, grand public, administrations, industrie. DISPONIBLE : en septembre, à 55 ans, pour direction d'une entreprise moyenne, Paris ou Province - éventuellement en relais. S'adresser Bur. des Carrières.

3264 - X 59, ENSAE - DEA Statistiques, anglais courant, expérience R.O., informatique, marketing, études économiques, recherche poste de responsabilité dans ces domaines. S'adresser Bur. des Carrières.

3265 - X 25 ans s'ennuyant dans l'administration et dans les tâches d'« encadrement » recherche une activité de nature scientifique ou mathématique, de préférence région parisienne et permettant, si possible, de s'éloigner sans heurts du cadre normal de l'Administration. Traitement indifférent si le travail est intéressant. S'adresser Bur. des Carrières.

3267 - Ex Chef d'entreprise 61 ans cherche semi bénévolat intéressant, genre secrétariat

Ligue ou Association - Spécialiste négociations niveau élevé et problèmes financiers. Goût problèmes humains. S'adresser Bur. des Carrières.

3268 - X 46, G.M., anglais, expérience problèmes de formation, spécialiste des transports et de la logistique, expérience délégué général organisation professionnelle, recherche poste de responsabilité formation, organisation professionnelle, transports. S'adresser Bur. des Carrières.

3269 - Camarade 35 ans, DES Sc Eco, anglais, compétence diversifiée économique, sociale et financière, expérience gestion important bureau d'études et prévisions du secteur public, recherche poste de responsabilité, domaine indifférent. S'adresser Bur. des Carrières.

3272 - X 45 ayant acquis grande expérience dans la gestion, l'organisation et l'informatique dans importante société matériel électrique, et ayant dirigé une PME dans la construction de maisons individuelles, cherche poste de responsabilité au niveau d'une Direction Générale. S'adresser Bur. des Carrières.

S.N. - Votre contact à NEW YORK : FRANCE - U.S.A. Business Services Ltd. « Au service de la petite et moyenne entreprise ». WEILL (47) suite 10G 300E 33RD Street NEW YORK, N.Y. 10016 Tél. (212) 684-6727 ou s'adresser Bur. des Carrières.



CITROËN ^ CX

D. FÉAU

CONSEIL IMMOBILIER CONSTRUCTEUR

PAUL-LOUIS CAMIZON (61)
DIRECTEUR GÉNÉRAL

D. FÉAU S.A.
132 BD HAUSSMANN 75008 PARIS TEL 261.80.40 TELEX FEAUPAR 290561 F

**cadre
supérieur**

F 150.000 + à 500.000 +

Que vous soyez Directeur Général, Directeur du Marketing, Directeur Financier, Directeur d'Usine, Directeur des Relations Humaines, etc. ou responsable d'un poste clé de votre Société, nous pouvons vous proposer à Paris, en Province, ou à l'Étranger, plus de 300 postes par an correspondant à votre niveau et publiés en **EXCLUSIVITE** dans "International Executive Search Newsletter".

Vous devez savoir que 80% au moins des recherches de Dirigeants dont la rémunération moyenne atteint FF 300.000 **NE SONT PAS PUBLIÉES DANS LA PRESSE**, mais confiées aux spécialistes français et internationaux de l'Executive Search respectant une stricte déontologie.

Seuls, ces Consultants peuvent publier des offres exclusives dans notre newsletter : cette formule permet aux Cadres Supérieurs en poste de s'informer **SANS RISQUE D'INDISCRETION**.

**TARIF ABONNEMENT FRANCE
10 NUMEROS/AN FF 500**

AUTRES PAYS TARIF SUR DEMANDE
Adressez votre carte de visite et montant de l'abonnement à I.C.A.

*** SPECIMEN GRATUIT SUR DEMANDE
I.C.A. PUBLIE PLUS D'OFFRES
DE PLUS HAUT NIVEAU
QUE TOUT AUTRE ORGANISME.**

I.C.A. International Classified Advertising
3, RUE D'HAUTEVILLE - 75010 - PARIS

pub. r. frank



BUREAU
D'ETUDES

**SOLS
ET
FONDACTIONS**

JEAN DULAU 1944

- ETUDES DE SOLS
- SONDAGES
- LABORATOIRE DE MECANIQUE DU SOL

153, AV. VICTOR HUGO - 75116 PARIS
B.P. 3 - 91620 LA VILLE DU BOIS
TEL : 909.14.51

TECHNOSOL

ZINCS ET PLOMBS

PRODUCTION DE LA
**COMPAGNIE ROYALE
ASTURIENNE
DES MINES**

Siège Social :

12, place de la Liberté, BRUXELLES 1
Tél. 17-52-82 - Téléx 61.813

Services commerciaux :
FRANCE

**42, avenue Gabriel
75366 PARIS CEDEX 08**
Tél. 296-10-60 - Téléx 280.946

ESPAGNE

**8, plaza de Espana
MADRID 13**
Tél. 247-27-00 - Téléx 27.482

A. POMMERIE 1928 - A. CARPENTIER 1959

autres annonces

Secrétariat général de l'A.X.
5, rue Descartes,
75005 PARIS
Tél : 633.74.25

Les petites annonces sont reçues
jusqu'au 5 du mois en cours
pour parution le mois suivant

Attention! à partir du mois de mars, le **tarif des Petites annonces** dans la Jaune et la Rouge est modifié :

— Demandes de situations : 10 F la ligne

— Industrielles et commerciales : 35 F la ligne

— Autres rubriques : 22 F la ligne N.B.— Pour toute domiciliation à l'A.X., prière de **joindre quelques timbres.**

DEMANDES DE SITUATION

10 F la ligne

N° 859 - Nièce cam. 26 ans, Bac B, bilingue anglais, notions droit, étudie ttes propos. Tél. 580.06.75.

N° 860 - Jeune fille 25 ans, maîtrise d'Histoire, diplômée du Centre de Préparation Supér. de Secrétariat, dépendant de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Paris, bilingue anglais, cherche poste de Secrétaire de direction bilingue/documentaliste à partir du 1^{er} juillet. (Solides connaissances en Économie, Gestion, Droit, des Entreprises). Tél. 604.40.26.

N° 861 - Frère cam. (63), 26 ans, Institut Supér. de Gestion, 2 ans Banque, ch. situat. ds un service financier. Écr. ou tél. Benoît Pin - 100, rue des Dames 75017 Paris - 387.56.24.

LOCATIONS

22 F la ligne

N° 811 - CHAMONIX Majestic meublé 2 p. + 1 petite jusqu'à 6/7 pers. Tél. 288.71.27.

N° 812 - A louer chalet BETTEX Mt d'ARBOIS, 10 pers., cft, mois d'été. Tél. 525.03.88.

N° 813 - ILE D'ELBE cam. loue juillet-sept. villa confort, 9 lits, gd jard. boisé, accès direct mer. Tél. 555.47.18 soir.

N° 814 - ILE DE RÉ cam. loue maison 5 ch., gd séj., jard., juin, juillet. Tél. soir 337.42.56.

N° 815 - Paris Convention à louer vide, libre début juillet, appt 53 m², 3 p., cuis. s.d.b., cfge centr., tél., cave. S'adr. Rougemont - 36, rue Chardon Lagache 75016 Paris. Tél. 647.74.43 et en cas d'absence, 33, rue de la Lande St Joseph - Noirmoutier 85330. Tél. 51.39.12.46.

N° 816 - LES ARCS cam. loue cet été très bel appt. 2 p. 4 pers. Tél. soir 551.61.96.

N° 817 - LE VÉSINET villa, hall, salon, salle à manger, 4 ch., s.d.b., s. dche, garage, gd jard., gardiens, 5^eRER. Tél. 976.68.80 ou 698.00.79.

N° 818 - Lac ANNECY juillet, chalet gd cft, jard., tennis, 5/7 pers. Tél. 16.7.842.11.80.

N° 819 - COTENTIN (50-Carteret) au bord de mer. cam. loue maison de pays, gd cft, 8/10 pers., juillet et 1^{er} quinz. août. Tél. 524.02.35.

N° 820 - RISOUL 1850. cam. loue appt. 7 lits, tennis, sem. dispon. juillet. Tél. 624.42.02

N° 821 - Cam. loue bel appt 5 p. 100 m² à MEUDON, terrasse observatoire. Tél. ap. 20 h au 534.48.69 ou à Lyon (7) 823.61.57.

N° 822 - PARIS 5^e cam. loue courte durée appt meublé tt cft, 1 ch. & 1 ch. mezzanine, t. beau living atelier artiste vue sur Panthéon. Convient pr séjours professionnels temporaires. S'adr. AX.

N° 823 - Soeur cam. loue m^o Vaugirard 2 p. tt. confort ds imm. 1971 calme, avec park. 1 800 F + ch. Tél. 603.91.77.

N° 824 - PARIS 15^e, 2 p., 30 m². Tél. tt. cft., libre 1^{er} août. Tél. 783.86.00

N° 825 - Av. la BOURDONNAIS, Cam. loue bel appt. 150 m², 5/6 p., 2 s.d.b., ch. serv., im. anc., libre sept. Tél. 602.39.57

N° 826 - NATION, Cam. loue 2 p. tt. cft., park, prox. RER 1950 F + charges Tél. 373.19.58

N° 827 - Cam. loue août LE HOME S/MER CABOURG villa s/mer, s. de séj., 8 ch. avec cab. de toil., 2 baig. sab., très pratique, jard. Tél. 527.77.00

N° 828 - Ds belle ptté sur mer, 6 km TROUVILLE-DEAUVILLE, cam. loue pav. indép. 6 pers., 4 ch., 2 s.d.b., 2 wc, living, cuis. équip. mod., poss. locat. heure tennis, impeccable. Libre 14 août. Ec. AX ou après 16 juin. Tél. 551.70.30

N° 829 - 06 BIOT loue août belle mais. tt. cft. jard. gd. living, 4 ch., 8/9 pers. 10 000 F + charges. Tél (93) 65.14.47 ou 783.86.23.

N° 830 - LAC D'ANNECY, Chalet neuf, vue imprenable, tt. cft. pour une dizaine de pers., gd calme, 4 km. de la plage et tennis, 2 km. du golf, 750 m. d'altitude. Tél. 527.95.82.

N° 831 - A 14 km. aérodrome Hyères, 7 km. TOULON, cam. loue mais. 9/10 pers. vue superbe s/mer, parc privé 4 000 m², plage sable 5 min. par accès piétonnier, ravitail. facile 1 k., 4 ch, 4 lavabo, s.d.b., douche, 2 wc, kitch., barbecue, garage, gde terrasse couverte. Ec AX ou après 16 juin tél. 551.70.30 Juil.Août, mois quinzaine.

N° 832 - PARIS COURCELLES 5 p., 110 m² 3 ch. Libre 1^{er} août. Tél. 622.37.26.

VENTES D'APPARTEMENTS ET DE PROPRIÉTÉS

22 F la ligne

N° 435 - Mais. ville Drôme, 2 séj. dt 1 tr. gd. 3 ch. av. wc et s.d.b., terrass. s/jard. clos, 2 cuis. équipées, gd ss-sol av. atelier artiste, buand., chfge cent. A ach. viager (81 a. - 1 tête) 850 000 F. Tél. 555.28.71.

N° 436 - OLLIERES (83), 5 km ST-MAXIMIN sur 5 000 m² plantés, mais. pierres caractère, séj. 40 m², cheminée, 2 ch., s.d.b. + s. d'eau, 2 wc, gar. JEANNE (94) 78.05.18.

N° 437 - Vds PALAISEAU appt 3/4 p., proche ttes commodités, expos. sud. Tél. 014.33.74 ap. 18 h.

N° 438 - Cam. vd limite Orléans-St-Pryvée (45) belle villa r.d.c. 130 m², séj. sal. 40 m² bureau, gde ch., s.d.b., gde cuis. équip., étage 2 tr. gdes ch., s.d.b., grenier, chfge élect., garage 2 voit., jard. paysager 1 000 m². Px 870 000. Ecr. AX ou tél. (38) 66.46.56.

N° 439 - ST-MAUR pr. lycée et RER, appt 100 m², living 40 m², 4/5 p., tt cft, box, cave, 600 000 F. Tél. 873.28.38.

N° 440 - SUPERDEVOLUY gd studio multi-proprété un mois par an : février. 60 000 F. Tél. 93.83.39.71.

N° 441 - Cam. vd prop. VERSAILLES quart. résid., belle récept., 7 ch., 2 s.d.b., beau jard., sup. 1 880 m², lib. fév. 82. Tél. 954.70.44.

N° 442 - CACHAN limite l'HAY-les-ROSES, vd direct maison 6 p., cuis., 2 s.d.b., tt cft + ptt pavillon annexe : 2 p., garage. Terrasse 350 m². Prox. transports, écoles, lycées, ENSET, Ecole des TP, commerçants. 1 100 000 F. Ecr. AX.

N° 443 - Cam. vend ou loue GARCHES (92) 5 p., 120 m², tél., terrasse, park. + évent. ch. indép. Tél. (1) 741.26.72.

N° 444 - 75 km S.E. de PARIS, mais. de camp. (ferme restaurée), belle situation ds village calme. Cour et jardin. Pelouse arborée, 600 m² env. 2 corps bâtiments en équerre. S.d. séj. 30 m² avec gde baie vitrée s/jardin. S. à manger, cuis. équipée. 4 gdes ch. Poutres, s.d.b., wc, grange, grenier, cave voûtée. 370 000 F. Tél. matin du mardi au vendredi inclus : 878.69.10

N° 445 - Cam. vend SIX FOURS (83) au calme, proche centre, villa F 4, jardin. clos. 220 m, séjour 3 ch., 2 b, 2 wc, garage, terr., perg. + bcue. 660 000 F Tél (94) 25.93.17

N° 446 - LES MENUIRES S/CROISSETTE, cam. de 2 p., 36 m², cuis., s.d.b. Tél. 48.50.52.75. M. Fousnant.

N° 447 - Cam. vd. 65 km PARIS N.D. par N 1 ds joli site boisé BELLE PROPRIÉTÉ camp. caract. anc. ferme amén. sur ter. boisé 2 250 m². Toit refait, 7 p. cuis., s.d.b. cat. T, 2 c., dép., conf., eau, élect. force. Tél. Px 625 000 F. GROS CRÉDIT poss. S'adres. Agence G. LEMOR exp. F.N.A.I.M. 60430 Noailles. Tél. 16.4.403.30.52.

N° 448 - AIX en PCE cam. vd. rez jard. 125 m², 4 ch. 2 s.d.b., séj. park, jardin. privé 250 m² ensol. prox. centre. Tél. 42/26.54.70

N° 193 - SANS LE BAC. Préparez chez vous la CAPACITÉ EN DROIT (Décret Ministériel du 30.3.56). Nombreux débouchés dans la fonction publique et le privé. Document. grat. sur méthode d'auto-formation à : ÉDITIONS JURIDIQUES DE FRANCE BRIARD 12, rue André-Caplet, 76600 LE HAVRE.

N° 194 - Cam. (45) recom. vvt SPIDELEC : ts travaux électricité, installation, dépannage. Paris et rég. Paris. Tél. 725.20.50.

N° 195 - Femme cam. ch. femmes dyn. intéressées par l'esthétique et la diététique pr vente directe et création réseau commercial de distribution. Tél. 043.75.58.

N° 196 - MARAIS HISTORIQUE, à louer ds immeuble neuf, 2 appt. duplex 63 et 90 m² + terrasses, aménagement luxueux, park, tél., soleil, vue., silence. Loyer 3 500 et 4 150 + charges. Écr. AX.

RECHERCHES D'APPARTEMENTS

22 F la ligne

N° 160 - Cam. 52 cherche pr sa fille location studio pr deux ans PARIS 13° ou prox. Tél. (42) 92.56.47.

N° 161 - Jne couple ch. 3 p., 70/80 m², juin ou juillet, PARIS rive gauche ou proche banlieue sud/sud ouest. 2 500 F c.c. max. Tél. 657.13.65 p. 3 224. Arneil.

N° 162 - Cam. ch. location maison calme, jard., 60 km Paris max., 4 à 6 sem. période 1/7 au 15/8 pr attente bébé. 542.97.13.

N° 163 - Fils cam. étudiant 3^e année médecine ch. chbre indépend. ou petit studio prox. Kremlin Bicêtre. Tél. 336.49.18

N° 164 - Cam. retour étr. ch. 3/4 p PARIS 5°, 6°, 7°, 14°, 15° ou banlieue Montparnasse à partir août/sept. 81. Tél. 307.56.40.

ACHATS ET VENTES DIVERS

22 F la ligne

N° 64 - Ch. manuel histoire Malet Isaac, cl. 4°, progr. 1931. Tél. 542.17.93.

N° 65 - A.V. PLEYEL 1/4 queue modèle F, palissandre verni, expertise 38 000. Tél. 958.65.82.

DIVERS

22 F la ligne

N° 140 - Artiste peintre réal. décoration murale personnalisée, ttes pièces d'habitation, devis et esquisse gratuits, sur R.V., X. Combes. Tél. 329.48.96 Paris ap. 20 h.

INDUSTRIELLES ET COMMERCIALES

35 F la ligne

N° 191 - CANNES Villas, terrains appartements, Yves Pelloux les vend (frère cam.). Résidences Gd Hôtel. 45 Croisette (93) 38.56.56 sur R.V.

N° 192 - Cam. (45) recom. vvt tapissier professeur Fg St-Antoine Tr. conscienc. tous travaux anc. et mod. pr particul. et entrepr. Thera et Demanche 20, rue St-Nicolas Paris Dor. 49.49. Cond. Spéc. aux X.

D'aucuns cultivent leur différence
Nous, nous cultivons notre référence
Polytechnicienne, cela va sans dire
Et que ce soit vrai n'est pas le pire.

Nos fondateurs, certains de nos dirigeants,
De nos cadres et beaucoup de nos clients
Sont sortis de l'antique boîte à carva
Mais n'en font pas pour autant un plat.

Tout cela pour vous dire
Et surtout sans rire
Qu'ici les polytechniciens
On les traite plutôt bien.

Entreprises, parlez-nous de vos projets,
Particuliers, dites-nous vos intérêts ;
Nous causerons, réfléchirons, proposerons
Vous déciderez si nous nous voyons !

BANQUE
INDUSTRIELLE
ET MOBILIERE
PRIVÉE

22, rue Pasquier
75008 PARIS
266 - 91 - 52

Mialaret (33)

Téqui (37)

Froissart (51)

Dernière heure

N^{os} de téléphone de l'A.X.

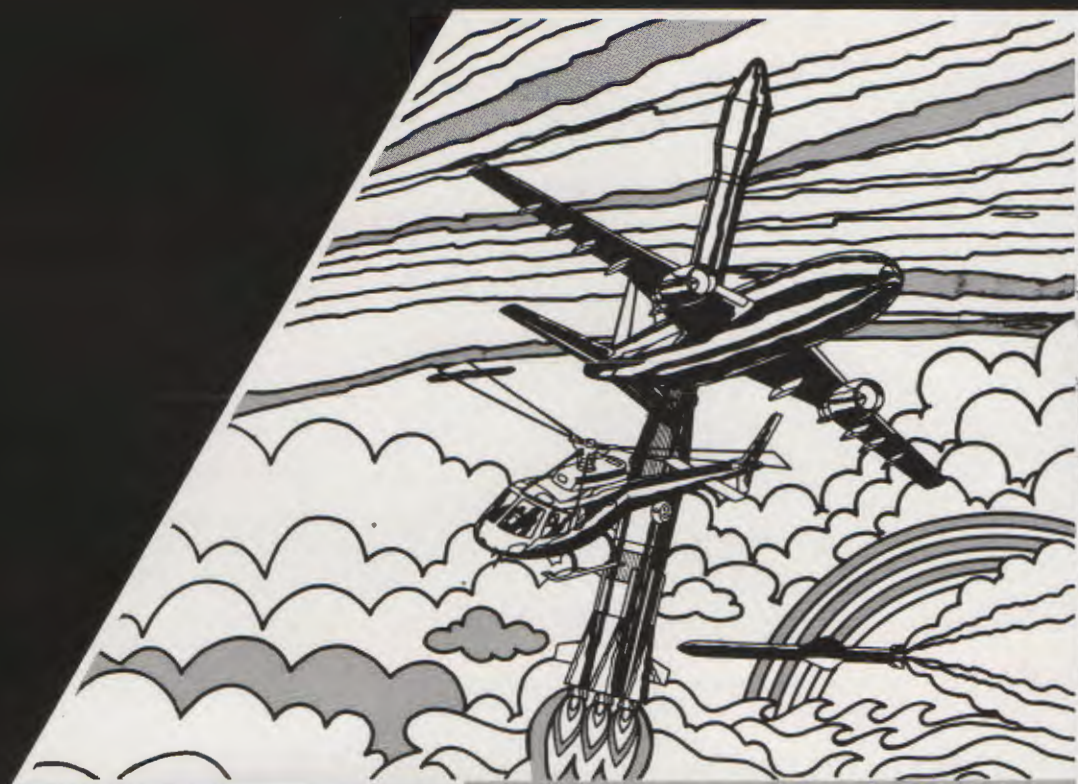
Délégué général	M. Callot	633.74.25 et 634.33.33 p. 226
Secrétariat	Hélène Rousseau	633.74.25 et 634.33.33 p. 434
La Jaune et la Rouge		
- Secrétariat de rédaction	Mme Rousseau	633.74.25 et 634.33.33 p. 320
- Petites annonces	Mme Christensen	633.74.25 et 634.33.33 p. 433
Caisse de Secours	M. Vidal	633.74.25 et 634.33.33 p. 305
Comptabilité-Cotisations	M. Gauthier - Mme Broc	633.74.25 et 634.33.33 p. 347
Délégué général adjoint	Général Pauly	633.74.25 et 634.61.46
et Annuaire	Mme Lebon - Mme Girault	633.74.25 et 634.61.46
Bal de l'X	Mme Roehrich	329.63.11
Maison des X		548.41.66
Bureau des carrières		548.41.94
Crédit-X Mines		222.76.27
G.P.X.		548.52.04 et 548.87.06
Maison de Joigny		16 (86) 62.12.31

Directeur de la publication : Jean-Pierre Bouyssonnier (39) ● Rédacteur en chef : Jean-Pierre Callot (31) ● Comité de rédaction : Pierre Malaval (52), Jean-Pierre Bégon-Lours (62), Georges Cara (62), Jean Chevrier (20 S), Dominique Sénéquier (72), François Dupont (72), Hervé Gresse (61), Philippe Naigeon (69), Jean Peynaud (29), Marcel Sala (35), Jacques Szmargd (66), Christian Stoffaës (66), François de Witt (64) ● Dessin : Philippe Rémon-Beauvais (57), Jean Croizé-Pourcelet (63) ● Mise en page : Annie Huart ● Secrétariat de rédaction : Andrée Rousseau.

5, rue Descartes, V^e Paris — Téléphone 633.74.25
Abonnement France 80 F ; Étranger 100 F. Veuves d'X 40 F
membres de l'association 70 incluse : 44 F — 71 à 74 : 33 F — 75 à 78 : 22 F
Prix du numéro 5 F ; numéro spécial 25 F



Fabrication : SOGEPLO, 6, place de la Madeleine, 75008 Paris — Photocomposition Marchand 75014 Paris
Imprimerie Carducci, 42170 St Just — St Rambert — Publicité OFERSOP, 8 bd Montmartre 75009 Paris 824.93.39



Société Nationale Industrielle
aérospatiale
première industrie
aéronautique
et spatiale en
europe

Publicité aérospatiale

Avions

Airbus A300/A310, Concorde,
Corvette, Transall, Epsilon.

Hélicoptères

Alouette, Lama, Gazelle,
famille Ecureuil, famille Dauphin,
Puma, Super Puma, Super Frelon.

Engins tactiques

AS. 12, AS. 15 TT, AS. 30,
Milan, Hot, Roland, Exocet,
Pluton, ASMP, C. 22.

Systèmes balistiques et spatiaux

SSBS, MSBS, Ariane,
Météosat, Intelsat V, TDF 1.



Société Nationale Industrielle
aérospatiale

37, bd de Montmorency - 75781 Paris Cedex 16 - France

ASSISTANCE GÉNÉRALE AU MAÎTRE D'OUVRAGE, DE L'AUDIT BÂTIMENT À LA MAÎTRISE D'ŒUVRE

- Assistance technique programme ● Project Management
- Prévision et contrôle budgétaires ● Planification études et travaux, pilotage.



Hippodrome de Vincennes.

(Société d'encouragement à l'élevage du cheval français.)



Banque Nationale de Paris, Siège à Paris. Photo : Alex Bianchi.



Hôtel COSMOS à Moscou (URSS). (Réalisation SEFRI)

Studio Antony.



Siège social de l'Office Chérifien des Phosphates (O.C.P.) - Casablanca.



Hôtel des ventes DROUOT. - Paris - (MEUNIER PROMOTION - Groupe B.N.P.)

CO.TE.BA International

92-98, bd Victor Hugo - 92115 PARIS-CLICHY (France)

Tél. : (1) 739.33.05 - Télex : 620 469

Logements - Bureaux - Hôtels - Hôpitaux - Bases-vie - Industries...