

Les sciences au lycée

Un siècle de réformes
des mathématiques et de la physique
en France et à l'étranger

Sous la direction de
Bruno Belhoste, Hélène Gispert et Nicole Hulin

vuibert



Introduction générale

Deux grands moments marquent l'histoire de l'enseignement scientifique au XX^e siècle : les années 1900 quand des réformes décisives voient le jour dans de nombreux pays, et les années 1960-1970, années de rénovation profonde de l'enseignement des mathématiques et de la physique.

Avec l'avènement, dans les années 1900, d'une société où « l'industrie fille de la science du XIX^e siècle règne [...] en maître » note C. Bourlet ¹, les questions de l'enseignement scientifique se posent avec urgence dans tous les pays d'Europe. En France, en Italie, en Allemagne, en Angleterre et dans bien d'autres pays, ces réformes dessinent les grands traits d'un enseignement secondaire moderne des sciences qui ne subira guère d'évolution jusque dans les années 1960.

DES ANNÉES 1900 ...

Les réformes des sciences dans les années 1900 ont été l'occasion de réflexions sur les buts, les contenus et les pratiques didactiques des enseignements scientifiques.

Les réformateurs revendiquent le même caractère formateur pour les sciences que pour les humanités : si « les études classiques concourent à former l'esprit et le cœur de la jeunesse, l'éducation de l'esprit ne peut être complète sans une étude proportionnelle des sciences et spécialement des mathématiques qui habituent à bien raisonner » ².

Il s'agit en fait d'adapter l'enseignement scientifique aux exigences de la science moderne qui se sont profondément modifiées et multipliées depuis le milieu du XIX^e siècle ; il s'agit aussi de transformer les programmes pour mieux répondre aux besoins de la vie économique et — citons Langevin ³ — aux « exigences de plus en plus précises

(1) Voir la conférence de C. Bourlet, « La pénétration réciproque des mathématiques pures et des mathématiques appliquées dans l'enseignement secondaire », *L'Enseignement mathématique*, 10, 1908, pp. 372-387.

(2) Séance d'inauguration de la Société italienne de mathématiques (Florence, octobre 1908), *L'Enseignement mathématique*, 11, 1909, pp. 55-60.

(3) La citation est extraite (p. 73) de la conférence « L'esprit de l'enseignement scientifique » que Paul Langevin donna en 1904 au Musée pédagogique dans le cadre de la formation des enseignants au nouvel esprit de la réforme de 1902 et qui fut publiée dans le recueil *Conférences du Musée pédagogique*, Paris, Imprimerie nationale, 1904, pp. 73-95. Les conférences de H. Poincaré et E. Borel (voir notes 1 et 2 ci-après) furent prononcées dans le même cadre.

**Autres ouvrages sur l'histoire de l'enseignement des sciences et des techniques
réalisés par le Service d'histoire de l'éducation de l'INRP**

Bruno BELHOSTE : *Les Sciences dans l'enseignement secondaire français. Textes officiels. Tome 1 : 1789-1914.* Paris, INRP et Economica, 1995, 771 p.

Christophe CHARLES, Éva TELKES : *Les Professeurs du Collège de France, 1901-1939. Dictionnaire biographique.* Paris, INRP et CNRS, 1988, 248 p. (coll. Histoire biographique de l'enseignement)

Christophe CHARLES, Éva TELKES : *Les Professeurs de la faculté des sciences de Paris, 1904-1939. Dictionnaire biographique.* Paris, INRP et CNRS, 1989, 304 p. (coll. Histoire biographique de l'enseignement)

Thérèse CHARMASSON (dir.), Anne-Marie LELORRAIN, Yannick RIPA: *L'Enseignement technique de la Révolution à nos jours. Textes officiels avec introduction, notes et annexes. Tome 1 : De la Révolution à 1926.* Paris, INRP et Economica, 1987, 784 p.

Claudine FONTANON, André GRELON : *Les Professeurs du Conservatoire national des arts et métiers. Dictionnaire biographique, 1794-1955.* Paris, INRP et CNAM, 1994, 2 vol., 752 p. et 687 p. (coll. Histoire biographique de l'enseignement)

Françoise HUGUET : *Les Professeurs de la faculté de médecine de Paris, 1789-1939.* Paris, INRP et CNRS, 1991, 754 p. (coll. Histoire biographique de l'enseignement)



Composition et mise en page : Anne-Marie Fabry

Maquette de couverture : Alain Luguet

Photographies de couverture :

Expériences de physique auprès des lycéens, © Palais de la découverte ;

Le 1^{er} Spoutnik exposé à Paris en 1957, collection Roger Viollet.

VUIBERT : ISBN 2 7117 8899 7

INRP : ISBN 2 7342 0514 9

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Des photocopies payantes peuvent être réalisées avec l'accord de l'éditeur.

S'adresser au Centre français d'exploitation du droit de copie :

3, rue Hautefeuille, 75006 Paris - Tél. (1) 43 26 95 35.

© Librairie Vuibert - juin 1996 - 20, rue Berbier du Mets, 75647 Paris cedex 13

DANGER : Le photocopillage tue le livre.

Table des matières

Introduction générale	1
Des années 1900	1
... aux années 1960-1970	2
Et aujourd'hui...	3
Trois axes de réflexion	4

Première partie : Enjeux et contextes des réformes

Introduction	9
Utilité sociale et valeur culturelle des réformes	10
La réforme de 1902 : le positivisme des savants français	11
La caution des « savoirs savants » : les rénovations « nécessaires » des années 1960-1970	12
Comment faire l'histoire des réformes de l'enseignement ? (Antoine Prost)	15
Réforme et changement	15
Les réformes « scientifiques »	17
Les réformes « politiques »	19
Dynamique des réformes	22
Réformer ou conserver ? La place des sciences dans les transformations de l'enseignement secondaire en France (1900-1970) (Bruno Belhoste)	27
La réforme de 1902 et les « humanités scientifiques »	27
L'« égalité scientifique » et la culture générale	32
La démocratisation du second degré, la crise des humanités classiques et la réforme des mathématiques modernes	35
Auguste Comte, le positivisme et l'éducation (Dominique Lecourt)	39
La reine mathématique et sa petite sœur (Michel Atten)	45
De la constitution d'une science	46
De la cristallisation sociale de ces conceptions	48
Une hypothèse de travail	50
Deux remarques en guise de conclusion	52
Constitution de la physique moderne et nouvelle conception de l'enseignement de la discipline (Nicole Hulin)	55
Les changements de la physique. Les étapes de l'évolution	57
Nouvelle structuration de la physique	61
Les physiciens et l'enseignement de leur discipline	62

Réformer l'enseignement secondaire de la physique	63
La prise de conscience bourbakiste, 1930-1960 (André Revuz)	69
Les lacunes de l'enseignement universitaire français des mathématiques dans les années 1930	69
La rénovation bourbakiste	70
Personne n'est parfait	74
Mathématiques « modernes » et sciences humaines (Michel Armatte)	77
Les justifications de la réforme	77
Les acteurs de la réforme : une commission bourbakiste	79
Mathématiques appliquées et réformes des enseignements supérieurs	80
Le structuralisme suscite d'autres mathématiques	82
La critique post-soixante-huitarde des mathématiques	84
Les mathématiques, hier et demain (Jean-Pierre Kahane)	89
Les années 1950-1960	89
Les mathématiques actuelles	92
Les rapports de conjoncture de 1989 et de 1992	94
Structures hier, interactions et modèles aujourd'hui. De quoi demain sera-t-il fait ?	94

Deuxième partie : Les réformes en France : principes et réalités

Introduction	101
Permanences et décalages	101
Enseignement concret ou expérimental, enseignement théorique	102
Bilan des réformes : Échec ou réussite ?	104
L'enseignement de la physique : d'une réforme à l'autre, permanences et décalages (Nicole Hulin)	107
Contexte général	108
Les commissions de réforme	108
Les sociétés savantes et la réforme	109
Les objectifs	110
L'unité de la science, l'unité de la physique	111
Physique enseignée, physique savante	112
Une physique expérimentale	114
La référence à l'histoire des sciences	115
Permanences et décalages	116
La place de la géométrie dans l'enseignement des mathématiques en France : de la réforme de 1902 à la réforme des mathématiques modernes (Rudolf Bkouche)	121
La réforme de 1902	122
La réforme des mathématiques modernes	125
Comparaison des principes des deux réformes	132
L'évolution des conceptions des physiciens et l'enseignement des circuits électriques (Samuel Johsua)	139
Les quatre introductions de l'électrocinétique	140
Le succès de « l'introduction énergétique »	144
Quel jugement porter sur les arguments échangés ?	146
Un fleuron de l'enseignement de la physique au lycée	147

Des règles de changement ?	149
Les exercices pratiques dans la réforme de 1902 (Claudette Balpe)	153
Une initiation à la méthode expérimentale	154
L'organisation des exercices pratiques	156
Une réflexion nouvelle sur la profession	160
Similitudes et différences des objectifs en physique dans les deux moments de réformes (Édith Saltiel)	165
Le principe d'inertie	166
Le principe d'inertie et les expériences d'accompagnement	169
Le principe d'inertie et la vie quotidienne	173
La réforme des mathématiques modernes, discours, polémiques et réalités (Patrick Trabal)	179
Un enseignement dogmatique ?	181
Abstraction et finalités de l'enseignement mathématique	183
Des intentions et des réalités	185
Des mathématiques sélectives ?	188
Réformes et contre-réformes de l'enseignement de l'analyse au lycée (1902-1994) (Michèle Artigue)	195
La réforme de 1902	196
La réforme des années 1960	201
La réforme des mathématiques modernes des années 1970	205
La contre-réforme des années 1980	208
Un moment du développement de l'enseignement scientifique et technologique : les débat de la Commission Lagarrigue sur la technologie (Jean-Louis Martinand)	217
Les années 1960, la création d'un enseignement de technologie	218
Les premières discussions à la Commission Lagarrigue	219
Pour une « initiation aux sciences et techniques (IST) »	220
Péripéties	223

Troisième partie :

Regards sur l'enseignement scientifique hors de France

Introduction	229
Dimension internationale et spécificités nationales	229
Place et rôle des mathématiques dans l'enseignement : l'exception française	231
Le bilan des réformes : des acteurs incontournables, les élèves et les enseignants	233
La réforme de l'enseignement des mathématiques en Allemagne dans les années 1900-1914 et son rôle dynamique dans le mouvement international de réforme (Gert Schubring)	235
Une dimension sous-jacente : la crise de la modernisation en Allemagne	237
Les mathématiques scolaires comme indicateur de crise	239
L'évolution de la stratégie de Klein	242
Réformer les programmes de mathématiques aux U.S.A. depuis 1900 : réalité et imaginaire (Jeremy Kilpatrick)	247
La pédagogie des mathématiques comme spécialité professionnelle	248
Unifier l'enseignement des mathématiques	249

Le mouvement des mathématiques modernes	251
Changements réels et imaginaires	252
Des métaphores pour les changements dans les programmes	253
Les mathématiques dans l'enseignement secondaire supérieur en Italie : une réforme par siècle (Fulvia Furinghetti)	257
Le système scolaire en Italie	258
Les premières décennies du XX ^e siècle : des demi-réformes	259
1923, la réforme accomplie : les mathématiques reléguées au grenier	262
La réforme à accomplir	265
Les Anglo-saxons sont-ils différents ? (Jon Ogborn)	271
Le droit à l'erreur	273
Différents types de réformes	274
Les conditions du changement	276
Exemples de réformes en physique	278
Les anglo-saxons sont-ils différents ?	283
De nouvelles orientations dans l'enseignement de la physique : le PSSC 30 ans après (Anthony P. French)	285
Le démarrage	286
La création du cours	287
Développement aux États-Unis et à l'étranger	289
Quelques leçons à tirer du PSSC	290
Recommandations pour de futures réformes	291
Les changements dans l'enseignement des sciences physiques, en Allemagne, pendant les années 1960 (Werner B. Schneider)	295
Organisation de l'enseignement dans les deux Allemagne	295
L'enseignement en RFA au début des années 1960	297
Origine des changements	297
Réformes et développements de l'enseignement mathématique en R.F.A. depuis 1950 (Christine Keitel)	301
Les premières recommandations de la Kulturministerkonferenz	302
Les recommandations de 1968 : « Des mathématiques pour tous »	303
Instructions officielles et manuels	304
Une réforme bureaucratique	306
L'après-réforme	307
La réforme de Kolmogorov de l'enseignement des mathématiques en Union soviétique (Svetlana Petrova)	309
La mise en route de la réforme Kolmogorov	310
L'abandon de la réforme Kolmogorov	313
Mathématiques modernes et enseignement : le cas de la Belgique (Guy Noël)	317
La personnalisation	317
La cohérence	318
Le recyclage	319
Un semi-échec	320
Index des noms cités	323

Les sciences au lycée

Un siècle de réformes
des mathématiques et de la physique
en France et à l'étranger

Ouvrage collectif publié sous la direction de
Bruno Belhoste, Hélène Gispert et Nicole Hulin



de l'industrie [...] [qui nécessitent] la préparation aux travaux de la technique pour [...] utiliser le merveilleux empire sur le monde extérieur que la science nous donne » ; comme l'écrit par ailleurs Henri Poincaré ¹, pour un géomètre, il doit y avoir cent praticiens passés par l'enseignement secondaire.

On affirme le caractère expérimental de l'enseignement scientifique, enseignement mathématique compris, dans lequel il faut selon l'expression d'Émile Borel, « introduire plus de vie et de sens du réel » ² ; dans le même temps, on réagit contre le caractère dogmatique de l'enseignement des mathématiques considérées comme une convention, une logique, un jeu, et contre l'exposé déductif dans les sciences expérimentales.

Enfin, on proclame l'urgence d'un renouvellement des pratiques pédagogiques : il faut individualiser les exercices, favoriser l'activité personnelle de l'élève, laisser place à l'intuition et à la méthode expérimentale, tout en ayant recours, à des moments privilégiés, à la rigueur et à des exposés de synthèse.

Cet effort de renouvellement scientifique et pédagogique ne sera pas réactivé durant plus d'un demi siècle.

... AUX ANNÉES 1960-1970

À la fin des années 1960 pour les mathématiques, au début des années 1970 pour les sciences physiques, la nécessité de réformes dans l'enseignement de chacune de ces disciplines devient l'occasion de vastes débats en France. Parmi les raisons invoquées, citons la vétusté des programmes qui, pour l'essentiel, n'ont pas changé depuis cinquante ans et les nouveaux besoins du développement de la société. C'est donc en réaction contre les réformes et les programmes dépassés des années 1900 que se définissent les nouveaux enjeux de l'enseignement scientifique dans les années 1960-1970.

Les mathématiciens rappellent le caractère formateur et l'utilité sociale de leur enseignement ; ils insistent sur l'évolution de leur discipline depuis 1920 et exigent une rénovation pédagogique profonde. Mais les termes ont bien changé depuis les années 1900 et c'est dans cette différence que réside un des intérêts principaux de cet ouvrage. Alors que les mathématiques de l'enseignement secondaire sont présentées au début du siècle comme « une science physique » qui « n'est pas qu'une pure abstraction » — pour reprendre les termes d'Émile Borel et de Jacques Hadamard —, elles deviennent une discipline formaliste, dominée par l'idée de structures et les règles de fonctionnement logique. Ainsi, d'après un rapport officiel de 1967 ³, *la mathématique* permet

(1) Poincaré (H.), « Les définitions générales en mathématiques », *Conférences du Musée pédagogique*, Paris, Imprimerie nationale, 1904, pp. 257-283 ; extrait cité p. 266.

(2) Borel (É.), « Les exercices pratiques en mathématiques dans l'enseignement secondaire », *Conférences du Musée pédagogique*, Paris, Imprimerie nationale, 1904, pp. 107-131 ; extrait cité p. 121.

(3) « Rapport préliminaire de la Commission ministérielle », dite Commission Lichnerowicz, *Bulletin de*

seule de classer, de dominer, de synthétiser un savoir ; elle porte partout témoignage du fonctionnement même de notre esprit. Cette nouvelle image de la discipline, de ses objectifs, de ses contenus, de ses pratiques pédagogiques, est une des clés de la réforme des mathématiques modernes.

Dans les années 1970, les physiciens continuent à dénoncer le déséquilibre entre « scientifiques » et « littéraires » dans l'enseignement qui constitue, selon les termes d'un communiqué publié par la Société française de physique ¹, une menace pour l'avenir du pays. Mais là encore l'analyse a changé. La cause n'en est plus le monopole des humanités dans l'enseignement secondaire : c'est la réduction accrue de la place accordée aux sciences expérimentales et la montée des mathématiques « délibérément les plus abstraites », « école de dogmatisme » accentuant le caractère subalterne de la place accordée aux sciences physiques. Ainsi, c'est en partie sur la critique de la réforme des mathématiques modernes dans l'enseignement que se construisent les réflexions des physiciens.

En partie seulement, car les difficultés liées à un contexte défavorable ne sont pas les seules responsables de la situation très grave que connaît l'enseignement des sciences physiques. Les physiciens portent un jugement sévère sur leur discipline dans le secondaire : enseignement trop abstrait, subordonné à son outil mathématique, aux programmes désuets, coupé de la physique pratiquée quotidiennement et de ses applications technologiques. Ce constat aurait déconcerté l'ensemble des scientifiques (mathématiciens et physiciens) impliqués dans la rénovation de l'enseignement du début du siècle, tellement il semble éloigné des objectifs poursuivis par les réformes des années 1900. Ces scientifiques auraient retrouvé, par contre, dans les termes du rapport de 1970 de la Société française de physique des principes énoncés en leur temps par Paul Langevin, Henri Poincaré, Émile Borel, etc. : affirmation du caractère expérimental de l'enseignement de la physique, priorité du lien au réel pour l'enseignement de toutes les disciplines scientifiques et importance de la part « utilisable » des connaissances mathématiques, nécessité du lien avec la science en marche. Ces similitudes dans le discours tenu ne doivent cependant pas masquer les profondes évolutions dans les conceptions des sciences et de leurs enseignements entre les deux périodes.

ET AUJOURD'HUI...

L'idée de rapprocher ces deux moments de réforme s'est construite au sein du séminaire sur l'histoire de l'enseignement scientifique, créé par Nicole Hulin en 1988 au Centre Alexandre Koyré et dont les animateurs sont les responsables du présent

l'APMEP, 1967 (n° 258), pp. 246-271.

(1) Communiqué commun de la Société française de physique, de la Société chimique de France, de l'Union des physiciens : « La nécessaire réforme de l'enseignement des sciences physiques dans le second degré », publié dans le *Bulletin de la SFP* de mai-juin 1970. Le document préparatoire à ce communiqué, avec mention des coupures réalisées pour la version définitive, est publié dans Hulin (M.), *Le Mirage et la nécessité*, Presses de l'École normale supérieure et Palais de la découverte, Paris, 1992, pp. 39-50.

ouvrage. Il convenait cependant de prolonger le propos, l'enseignement scientifique secondaire étant toujours l'objet de débats, de critiques, de réformes. Les décennies 1970 et 1980 ont vu, dans de nombreux pays, la remise en cause progressive des réformes des mathématiques modernes et de l'enseignement de la physique, puis la mise au point de nouvelles réformes qui entérinent le rejet des options épistémologiques sous-jacentes aux réformes précédentes. De nouveaux objectifs, de nouvelles problématiques s'affirment, liés aux développements de la didactique des mathématiques et de la physique et aux transformations rapides du public scolaire.

Réfléchir aux réformes d'hier pour mieux appréhender les questions d'aujourd'hui, telle fut la finalité d'un colloque international « Réformer l'enseignement scientifique : histoire et problèmes actuels » organisé par le Service d'histoire de l'éducation de l'Institut national de recherche pédagogique en janvier 1994 sous la responsabilité d'Hélène Gispert. Manifestation large et ouverte destinée tant au milieu enseignant dans son ensemble qu'aux chercheurs, ces journées furent l'occasion de débats mêlant étroitement les questions d'ordre historique, philosophique, scientifique, didactique. La diversité des approches et des questionnements — tant des intervenants que des participants — loin d'être un obstacle, fut un atout précieux qui favorisa grandement la connaissance historique et la compréhension de ces processus complexes que sont les réformes de l'enseignement.

TROIS AXES DE RÉFLEXION

Le présent ouvrage, auquel ont collaboré des historiens de l'enseignement, des historiens des sciences, des scientifiques, des philosophes et des didacticiens ayant participé aux travaux du colloque, s'inspire de ces journées. Il en privilégie et sélectionne certains axes de réflexion autour desquels s'articulent trois parties présentées par des exposés introductifs rédigés par Hélène Gispert en collaboration avec les deux co-responsables de ce volume.

La première partie, « enjeux et contextes des réformes », réunit des analyses qui permettent d'identifier et d'éclairer les motivations des différents groupes d'acteurs de ces réformes. Leurs discours, à chaque période, sont ambitieux : il s'agit de former l'homme, le citoyen, le futur cadre scientifique. Les rénovations des contenus renvoient alors, explicitement ou non, au contexte économique et social du moment, aux philosophies et idéologies dominantes, au mouvement des disciplines et aux contextes épistémologiques qui l'accompagnent. C'est à ces différents champs de référence qu'est consacrée cette première partie.

Dans la deuxième partie, intitulée « les réformes en France : principes et réalités », on aborde les rénovations des contenus. Plusieurs études de cas, tant en mathématiques qu'en physique, exposent l'évolution des conceptions, des objectifs, des concepts-clés, cherchant à mettre en évidence, d'une réforme à l'autre, tant les différences que les

similitudes. Exercice d'autant plus intéressant que les réformes des années 1960-1970 se sont en partie construites contre les enseignements issus de 1902.

Enfin, les différents « regards sur l'enseignement scientifique hors de France » proposés dans la troisième partie témoignent de la dimension internationale que connurent les réflexions et les réformes. Dans le même temps, ils mettent en valeur le rôle des particularités nationales dans la réalisation des réformes ; par exemple, le rôle spécifique qu'ont les mathématiques dans l'enseignement scientifique français, les particularités de l'enseignement de la physique dans les pays anglo-saxons ou le poids des diverses situations institutionnelles aux USA, en Italie, en Allemagne ou en URSS...

Cet ouvrage ne constitue nullement les actes du colloque de janvier 1994 ; il est cependant manifeste qu'il lui doit beaucoup, aussi souhaitons-nous saluer l'ensemble des conférenciers et des intervenants du colloque pour leur apport. Outre les auteurs de cet ouvrage, nous tenons à remercier tout particulièrement, Françoise Balibar, Pierre Caspard, Gustave Choquet et Pierre Léna ainsi que Josette Adda, Évelyne Barbin, Michel Blay, Bernard Charlot, Michèle Chouchan, Roger Fourme, Nahum Joel, Anne Michel-Pajus, Pierre Provost, Jacqueline Tinès et Gilbert Walusinski.

Hélène GISPERT, Bruno BELHOSTE, Nicole HULIN

Les auteurs

ARMATTE Michel	Université Paris-Dauphine (Paris IX) — <i>Histoire des sciences</i>
ARTIGUE Michèle	Institut universitaire de Formation des Maîtres de Reims et Équipe Didirem. Université Denis Diderot (Paris VII) — <i>Didactique des mathématiques</i>
ATTEN Michel	Centre national d'Études des Télécommunications (France-Télécom) — <i>Histoire des sciences</i>
BALPE Claudette	Institut universitaire de Formation des Maîtres de Versailles et Institut national de recherche pédagogique (SHE) — <i>Histoire des sciences</i>
BELHOSTE Bruno	Institut national de recherche pédagogique (SHE) — <i>Histoire et histoire des sciences</i>
BKOUICHE Rudolf	Université de Lille I — <i>Mathématiques</i>
FRENCH Anthony P.	Massachusetts Institute of Technology (USA) - <i>Physique</i>
FURINGHETTI Fulvia	Université de Gênes (Italie) — <i>Histoire et didactique des mathématiques</i>
GISPERT Hélène	Institut universitaire de Formation des Maîtres de Versailles et Université Paris-Sud (Paris XI) — <i>Histoire des sciences</i>
HULIN Nicole	Université Pierre et Marie Curie (Paris VI) et Centre Alexandre Koyré (EHESS-CNRS-MNHN) — <i>Physique - Histoire des sciences</i>
JOHSUA Samuel	Université de Provence (Aix-Marseille I) — <i>Didactique de la physique</i>
KAHANE Jean-Pierre	Université Paris-Sud (Paris XI) — <i>Mathématiques</i>
KEITEL Christine	Université libre de Berlin (Allemagne) — <i>Didactique des mathématiques</i>
KILPATRICK Jeremy	Université de Georgie (USA) — <i>Didactique des mathématiques</i>
LECOURT Dominique	Université Denis Diderot (Paris VII) — <i>Épistémologie</i>
MARTINAND Jean-Louis	École normale supérieure de Cachan — <i>Didactique des sciences et techniques</i>
NOËL Guy	Université de Mons (Belgique) — <i>Mathématiques</i>
OGBORN Jon	Institute of Education, Université de Londres (Grande-Bretagne) — <i>Didactique de la physique</i>
PETROVA Svetlana	Université de Moscou (Russie) — <i>Histoire des sciences</i>
PROST Antoine	Université Panthéon-Sorbonne (Paris I) — <i>Histoire</i>
REVUZ André	Université Denis Diderot (Paris VII) — <i>Mathématiques</i>
SALTIEL Édith	Université Denis Diderot (Paris VII) — <i>Didactique de la physique</i>
SCHNEIDER Werner	Université d'Erlangen-Nürnberg (Allemagne) — <i>Didactique de la physique</i>
SCHUBRING Gert	Université de Bielefeld (Allemagne) — <i>Histoire des sciences</i>
TIBERGHIEEN Andrée	École normale supérieure de Lyon — <i>Didactique de la physique</i>
TRABAL Patrick	<i>Sociologie</i>

PREMIÈRE PARTIE

Enjeux et contextes des réformes

Introduction

Pourquoi, à un moment donné, l'institution scolaire décide-t-elle de modifier les contenus des enseignements ?

Une première raison peut résider dans l'obsolescence des contenus en question : l'écart entre les savoirs dits savants et les savoirs dits scolaires dans la discipline cesse d'être supportable. On ne peut plus enseigner des savoirs périmés. C'est pourtant ce que l'école fait en permanence. La question se déplace donc : pourquoi à un moment donné, l'écart entre les deux ordres de savoir devient-il intolérable ? Qui le décrète tel ? Quels milieux font écho — ou obstacle — à ces exigences ?

Mais la remise en question peut s'appuyer aussi sur l'inadaptation de ces contenus aux objectifs du système scolaire. En ce cas, quelle est la source de cette difficulté ? Les publics scolaires ont-ils évolués ? Les priorités de l'institution se sont-elles modifiées ?

Autant de questions qu'il nous faut examiner, tant dans le cas de la réforme de 1902 qui accorde à l'enseignement scientifique une place nouvelle dans l'enseignement secondaire et en modifie profondément les programmes, que dans celui des réformes successives de l'enseignement des mathématiques puis des sciences physiques dans les années 1960-1970.

Autant de questions, autant d'enjeux, dont l'énoncé suggère à lui seul que chacune de ces réformes est un processus social complexe, conflictuel, mettant en jeu une pluralité d'acteurs. Prenant des exemples dans et hors du champ des disciplines scientifiques qui nous occupent dans ce livre, Antoine Prost met en avant cette diversité des acteurs sociaux et de leurs motivations et de leurs intérêts qu'il est nécessaire d'identifier pour faire comprendre la dynamique d'une réforme. Les discours, les arguments, les débats sont ainsi tout à la fois d'ordre scientifique, pédagogique, idéologique, économique, politique, etc.

UTILITÉ SOCIALE ET VALEUR CULTURELLE DES RÉFORMES

Il est notable que le premier des arguments avancés par les promoteurs des réformes de l'enseignement scientifique — la réforme de 1902 comme celle dite des mathématiques modernes ou celle préparée par la Commission Lagarrigue — renvoie à l'utilité sociale des changements qu'ils proposent. Autour de cette notion se cristallisent à chaque fois nombre d'enjeux, de controverses et de justifications parfois contradictoires.

L'utilité est avant tout celle de la science, moteur du progrès de la société, sur laquelle se fonde le savoir nécessaire au citoyen moderne. Cette idée est ancrée dans le positivisme des milieux savants et enseignants du début du siècle. Aux humanités classiques, symbole de la culture secondaire littéraire et élitiste du XIX^e siècle, les réformateurs de 1902 veulent substituer des « humanités scientifiques ». Dans les années 1960 et 1970, les promoteurs des réformes s'appuient sur l'idéologie du progrès qui caractérise les années de reconstruction et de croissance de l'après-guerre, et le scientisme ambiant qui fait du progrès des sciences et des techniques à la portée du plus grand nombre la solution aux besoins économiques et sociaux du moment.

Mais, sur ces bases philosophiques et idéologiques communes, se développent des arguments contradictoires. Au début du siècle les besoins grandissants en ingénieurs et techniciens diplômés, conséquence de la seconde révolution industrielle, poussent effectivement l'Instruction publique à développer l'enseignement des sciences ; les finalités de l'enseignement secondaire demeurent cependant, comme le montre Bruno Belhoste, d'ordre culturel. L'enseignement secondaire, qui n'est ni gratuit, ni obligatoire, est toujours un enseignement d'élite. Seulement 5 % d'une classe d'âge en bénéficie. L'utilité doit se conjuguer ici avec l'idéal d'un enseignement désintéressé et ne pas se confondre avec l'utilitarisme.

La complexité des discours est manifeste. Certains insistent sur la valeur formative pour l'homme et le citoyen — et non pas le professionnel — de l'enseignement des « sciences positives » ; d'autres relèvent la nécessité « d'opérer d'importantes transformations [dans les programmes scolaires] en vue d'une meilleure adaptation aux besoins actuels de la vie économique »¹. Les discours des uns comme des autres contiennent en outre plus ou moins implicitement des références à une utilité toute politique de l'enseignement des sciences, gage de la paix sociale.

L'ambiguïté du recours à l'argument d'utilité et la diversité des façons de le décliner apparaissent de façon encore plus manifeste au moment des réformes des années 1960 et 1970. Depuis la Seconde Guerre mondiale, les besoins en ingénieurs et en techniciens au fait de la science moderne se font à nouveau très fortement sentir dans une période de compétition technique, scientifique et militaire avec l'Union soviétique.

(1) Fehr (H.), Compte rendu bibliographique des quatre volumes du *Cours de mathématiques* d'É. Borel, *l'Enseignement mathématique*, 6, 1904, pp. 497-498.

La rénovation des enseignements de mathématiques et de physique devient un réel enjeu économique, d'autant que l'accès à l'enseignement secondaire s'est généralisé avec, en France, la création d'un enseignement moyen unifié. Des organismes tels l'OECE (Organisation européenne de coopération économique) puis l'OCDE s'impliquent dans le développement des réflexions sur les réformes des contenus et des méthodes d'enseignement de ces deux disciplines et apportent, de fait, une caution économique et politique aux changements proposés. Mais à ce besoin objectif vont s'alimenter des discours divers, contradictoires et polémiques, se disputant l'avenir de la nation ; il reste en effet à énoncer en quoi les disciplines sont utiles à la société. De nouveaux enjeux d'ordre scientifique et épistémologique interviennent alors qui provoquent clivages et convergences entre les différents acteurs des réformes.

LA RÉFORME DE 1902 : LE POSITIVISME DES SAVANTS FRANÇAIS

Préparée par un large débat national, appuyée par les milieux économiques et politiques dirigeants de la Troisième République, la réforme de 1902 de l'enseignement secondaire scientifique est une réforme d'universitaires¹. On retrouve les savants français dans les sous-commissions chargées de l'élaboration des nouveaux programmes comme dans les initiatives pour assurer leur promotion, telles les conférences au Musée pédagogique de 1904. Ils y représentent l'autorité de la science contemporaine, fixant en partie les références sur lesquelles est construit le nouveau savoir scolaire. Il est donc particulièrement nécessaire d'identifier leurs conceptions de la science. On pourra, dans un deuxième temps, en saisir les effets sur les principes et les contenus des réformes.

La science, c'est d'abord la science positive, qui a « pour objet la coordination des faits observés » — comme l'écrit Auguste Comte dans l'avertissement à la première édition de son *Cours de philosophie positive* — ; « elle ne poursuit ni les causes premières, ni la fin des choses [et] procède en établissant des faits et en les rattachant aux autres par des relations immédiates »². Rappelant les grands principes du positivisme d'A. Comte, Dominique Lecourt nous permet d'expliquer ce culte du « fait », de « la méthode expérimentale » que l'on retrouve dans la réforme de 1902 et les discours de mathématiciens et de physiciens qui l'accompagnent (voir la deuxième partie), ainsi que l'articulation de la physique expérimentale avec l'analyse mathématique : « Après l'usage rationnel des méthodes expérimentales, la principale base de perfectionnement de la physique résulte, écrit A. Comte dans la 28^e leçon de son *Cours*, de l'application [...] de l'analyse mathématique [qui ne] pourra être, en réalité, convenablement cultivée que lorsque les physiciens et non les géomètres se chargeront enfin de diriger l'instrument analytique ».

(1) Voir Belhoste (B.), « L'enseignement secondaire français et les sciences au début du XX^e siècle », *Revue d'histoire des sciences*, XLIII/4, 1990, pp. 371-400.

(2) Berthelot (M.) : « Lettre de M. Berthelot », dans Renan (E.), *Dialogues et fragments philosophiques*, Paris, Calman Lévy, 1895, p. 196.

C'est aux manifestations de ces principes dans l'activité scientifique que s'intéresse Michel Atten. Étudiant la mathématisation des sciences physiques au XIX^e siècle, il met en évidence la division du travail scientifique, en France, entre les deux communautés de physiciens mathématiciens (dont les chaires sont rattachées aux sciences mathématiques) et de physiciens expérimentateurs (dont les chaires sont rattachées aux sciences physiques) ; parmi ces derniers, rares sont ceux qui allient recherche expérimentale et élaborations théoriques. La hiérarchisation des sciences chez les savants français, la place et le rôle qu'ils accordent aux mathématiques — le degré d'avancement d'une théorie scientifique se mesure à l'emploi qu'elle fait de celles-ci —, sont des caractéristiques qui marquent durablement la physique française et son enseignement.

LA CAUTION DES « SAVOIRS SAVANTS » : LES RÉNOVATIONS « NÉCESSAIRES » DES ANNÉES 1960-1970

Les partis pris épistémologiques à l'œuvre dans la réforme de 1902 ont effectivement la vie longue. Dans les premières décennies du XX^e siècle, comme le relève Nicole Hulin dans sa contribution sur la constitution de la physique moderne, les théories relativistes n'ont pas leur place dans le cours de physique générale de la Sorbonne et sont renvoyées au cours de physique mathématique ; comme pour la théorie atomique, les physiciens français attendent les « expériences positives » qui conforteraient ces hypothèses métaphysiques et mathématiques. André Revuz, dans son analyse de la « prise de conscience bourbakiste » des mathématiciens français, note de la même façon, pour les mêmes années, des préjugés épistémologiques qui écartent comme « irréelles » certaines notions modernes comme la théorie des ensembles.

Les évolutions radicales de la physique et des mathématiques dans ces premières décennies infirment cependant de telles attitudes. Les « révolutions » provoquées par les théories de la relativité et de la mécanique quantique mettent en cause le rôle de la méthode inductive — erreur philosophique fondamentale d'après Albert Einstein — chère aux savants français. Par une succession d'exemples, Nicole Hulin met en lumière la nouvelle structuration de la physique où sont désormais omniprésentes des « superlois » (invariance, conservation, symétrie) liées au traitement mathématique, induisant des conséquences physiques observées, vérifiées, *a posteriori* : « ce sont les règles de structuration de la matière, plus que les apparences de la matière, qui sont devenues prioritaires ».

Les transformations de la physique, où des cadres qui paraissaient immuables n'ont pu être maintenus, ont beaucoup fait, selon André Revuz, pour ouvrir les yeux à quelques jeunes universitaires à l'étroit dans les mathématiques de la France des années 1930. Ils vont, à leur tour, bâtir une nouvelle architecture insistant sur le fait que les mathématiques étudient, non les objets, mais les relations entre ces objets. Donnant un

rôle nouveau à l'axiomatique, Bourbaki substitue à une classification selon les objets, une classification selon les méthodes.

Après la Seconde Guerre mondiale, coexistent ainsi des sciences modernes rénovées et un enseignement supérieur et secondaire pour le moins traditionnel. L'écart entre la connaissance scientifique contemporaine et les programmes scolaires atteint un paroxysme ; d'où, la nécessité pour de nombreux scientifiques de repenser, de restructurer l'enseignement de leur science. C'est cette « nécessité », utilisée comme argument décisif de légitimation de la mise à jour des contenus de l'enseignement secondaire par les différents groupes d'acteurs engagés dans les réformes, qu'interroge Michel Armatte dans le cas de la réforme des mathématiques modernes. Cherchant du côté de l'histoire des sciences sociales des années 1960, il souligne les convergences entre le structuralisme des mathématiciens et celui des anthropologues et des linguistes, ce dernier servant de tremplin pour la promotion, à l'échelon de la société tout entière, de la mathématique structurée et unifiée par la démarche bourbakiste.

Les remises en cause, brutales ou progressives, des réformes des années 1960 et 1970 en mathématiques comme en physique, soulignent plus encore la complexité de la référence aux « savoirs savants » et la précarité de choix apparus, quelques années plus tôt, comme conséquences nécessaires des évolutions des disciplines.

Il n'en est pas moins vrai, nous l'avons vu, que les évolutions des disciplines ont participé des transformations des contextes intellectuels et culturels dans lesquels ont été élaborés les programmes scolaires et leurs réformes. C'est au développement de cette réflexion, d'hier à demain, qu'a accepté de se livrer Jean-Pierre Kahane à propos du mouvement des mathématiques et de ses effets potentiels dans l'enseignement. Structures hier, interactions et modèles aujourd'hui, de quoi demain sera-t-il fait ? Telle est la question posée à la fois pour les mathématiques et leur enseignement.

Comment faire l'histoire des réformes de l'enseignement ?

Antoine PROST

Avant d'entrer dans le vif du sujet et d'étudier les réformes de l'enseignement scientifique, peut-être n'est-il pas inutile de s'interroger sur la signification même de l'exercice. Quel objet se propose-t-on ici d'étudier ?

En première analyse, le terme « réforme » semble transparent et tout le monde le comprend. Il désigne une action (réformer) effectuée par un acteur individuel ou collectif (le réformateur) et qui produit un changement. Le plus souvent, qui dit réforme dit réforme des structures, transformation de la morphologie du système scolaire : ainsi la réalisation du collège unique. Comme les structures dépendent du pouvoir politique, les réformes qui les affectent sont aisément identifiables et elles sont d'autant plus efficaces qu'elles sont plus importantes : décréter par exemple que les classes de sixième seront hétérogènes est moins facile à faire appliquer que prolonger d'une année l'obligation scolaire.

Dans le cas présent, l'interrogation ne vise pas l'organisation du système scolaire, mais la définition et l'agencement des contenus enseignés et des exercices pratiqués. Or le lien entre les changements de cet ordre et la volonté d'un réformateur n'a pas la même évidence que pour les réformes de structure.

RÉFORME ET CHANGEMENT

Tous les changements ne résultent pas d'une réforme. Il en est qui s'effectuent par consensus tacite, implicite, par une suite d'ajustements des contenus aux situations pédagogiques. Il est de fait, par exemple, que les auteurs français du XX^e siècle se sont progressivement introduits dans les classes du second cycle : lesquels, quand, sous quelle forme ? On ne pourrait le savoir qu'en dépouillant des cahiers de textes, à supposer qu'ils soient fiables.

D'autres changements proviennent de simples mesures techniques passées inaperçues. La définition des épreuves d'examen, par exemple, mobilise rarement les

foules, et pourtant elle est lourde de conséquences sur les enseignements. L'introduction du résumé de texte comme l'une des trois modalités possibles de l'épreuve de français du baccalauréat est probablement l'une des mesures les plus importantes des trente dernières années pour l'évolution de cet enseignement ; de même pour le commentaire de texte en histoire. Mais il est des mesures techniques plus discrètes encore, décidées au niveau des établissements, comme celles qui concernent les horaires et l'organisation du travail. Quand on voit, entre 1958 et 1964, le proviseur du lycée Janson de Sailly œuvrer efficacement au remplacement des compositions par des interrogations écrites, on mesure aux résistances rencontrées l'ampleur des transformations induites par cette mesure.

Assurément, on ne dira pas que de tels changements sont le résultat de réformes : leur ampleur n'est pas suffisante. Mais, inversement, il est des réformes qui ne changent rien, ou du moins qui n'obtiennent pas les résultats recherchés. Le plus bel exemple en ce domaine est sans doute l'introduction des activités d'« éveil » dans l'enseignement élémentaire en 1969. Faute de directives assez précises et d'une action administrative cohérente et suivie, les instituteurs abandonnés à eux-mêmes ont appliqué la réforme au gré de leurs initiatives personnelles. Une bonne moitié d'entre eux ont continué à faire des leçons d'histoire régulièrement, dont une moitié en suivant les anciens programmes. La réforme a donc échoué.

On le voit, réforme et changement sont deux réalités différentes. Étudier les réformes n'est pas exactement étudier les changements. La réforme a certes pour objectif un changement, mais elle ne se confond pas avec lui, comme le croient trop facilement les avocats des politiques volontaristes, qui s'imaginent pouvoir décréter le changement.

Pour qu'il y ait réforme, il faut que trois conditions soient simultanément réunies. Il faut d'abord un projet de réforme, c'est-à-dire une volonté explicite, argumentée et assumée de provoquer des changements identifiés. Il faut ensuite que ce projet aït une certaine ampleur : remplacer la virgule par le point dans la notation des nombres décimaux ne constituerait pas nécessairement une réforme. En revanche, supprimer les traits d'union et rendre invariables les participes passés serait incontestablement une réforme de l'orthographe. C'est que l'ampleur nécessaire à la réforme se mesure autant par rapport aux représentations collectives qu'aux réalités scolaires. Le troisième caractère d'une réforme est, en effet, l'existence d'un débat collectif autour du projet : toute réforme suppose des réformateurs et des adversaires, des partisans et des détracteurs.

C'est définir la réforme comme un processus social complexe, échelonné dans le temps, qui met en jeu une pluralité d'acteurs autour d'enjeux, en l'occurrence autour de la définition des contenus concrets et des méthodes d'enseignement. Toute réforme est toujours portée et assumée par des acteurs concrets qui exposent les objectifs poursuivis et les justifient. Analyser des réformes, c'est donc toujours commencer par

identifier les acteurs qui les portent et à partir desquels on peut comprendre les raisons et les objectifs des projets, et le sort inégal qu'ils connaissent. Mais les réformes peuvent être portées par plusieurs types d'acteurs principaux, auxquels correspond une typologie qui demanderait sans doute à être affinée.

LES RÉFORMES « SCIENTIFIQUES »

Quand un scientifique ou un historien des sciences se penche sur une réforme, il pense naturellement qu'elle a pour but de mettre à jour les programmes, de réduire l'écart entre l'état de la science et ce qui s'enseigne dans les classes, bref d'ajuster les savoirs scolaires aux savoirs savants.

Les exemples abondent de telles réformes. La plus célèbre est celle des mathématiques modernes, qui aboutit entre 1965 et 1972 à une révision complète des programmes de mathématiques, de l'école primaire au baccalauréat, sous l'impulsion de la commission Lichnerowicz. Mais on peut également citer les réformes de la physique suscitées par la commission Lagarrigue, l'introduction de la génétique dans ce qui était les sciences naturelles et devient la biologie, ou encore la réforme de l'enseignement du français à la même époque.

Les premiers acteurs de telles réformes sont les scientifiques eux-mêmes, professeurs d'université ou de grandes écoles, membres des académies : disons, pour faire vite, les savants. Mobilisés en permanence sur le front pionnier de leur discipline (à ce qu'ils disent), ils mesurent mieux que quiconque le caractère obsolète, périmé, dépassé de ce qui s'enseigne dans les classes. Parfois l'écart devient tel qu'il compromet la possibilité même d'accéder à la science contemporaine : le cadre conceptuel enseigné est tel que les nouveaux savoirs ne peuvent s'y insérer ; avant d'apprendre la science moderne, il faut commencer par désapprendre la science scolaire. Une remise à jour des programmes leur apparaît indispensable : il y va de l'avenir même de la discipline.

Si grand soit leur prestige, les savants, seuls, sont impuissants. Pour parvenir à leurs fins, ils ont besoin d'alliés. Ils peuvent les trouver parmi les professeurs, notamment auprès des associations de spécialistes : la réforme des mathématiques modernes, par exemple, a été non seulement fortement soutenue, mais même réclamée par l'Association des professeurs de mathématiques, très solidement implantée dans la profession.

La conjonction des savants et des pédagogues ne va pas sans tensions. Les savants mesurent rarement avec réalisme ce qui peut effectivement s'enseigner dans les classes. Ils ont tendance à négliger le problème de la transposition didactique, et à raisonner en songeant aux cas exceptionnels des bons élèves d'antan qu'ils étaient, sans réaliser à quel point les élèves actuels sont différents. Ils sous-estiment toujours la difficulté des contenus qu'ils proposent. Ils tranchent souvent de haut, avec l'assurance que leur confèrent leur âge et leur statut. Heureusement, les savants formant les professeurs des lycées et collèges, un lien subsiste, parfois chaleureux, et des informations remontent

des classes vers les lieux de recherche. Les pédagogues réussissent ainsi à se faire entendre, mais inégalement suivant les périodes et les matières.

À supposer que les savants et les pédagogues réalisent un front commun quasi-unanime, ce qui fut le cas pour les mathématiques modernes, la réforme ne serait pas acquise pour autant. Il faut en effet qu'elle soit prise en charge par les responsables politiques, et pour cela qu'elle trouve un soutien dans l'opinion. Le responsable politique peut, à la rigueur, imposer par surprise une réforme qui laisse le corps social indifférent ; dès qu'elle intéresse le public, en revanche, il hésite à affronter l'opinion.

L'exemple des réformes de l'enseignement scientifique dans les années soixante le fait bien voir ; leur ampleur et leur rapidité sont inexplicables si on ne les replace pas dans le contexte large de l'époque. Les sciences bénéficient alors d'une légitimité sociale impressionnante, et les savants d'une influence politique sans précédent. La création de la DGRST en 1958 remet en fait la définition du budget civil de la recherche entre les mains de douze « sages », qui sont tous des savants. L'enveloppe recherche est multipliée par 6,6 entre 1958 et 1966. Le CNRS connaît une croissance sans précédent, avec un budget multiplié par 4,7 entre les mêmes dates et un personnel qui double. Les facultés des sciences explosent. Le colloque de Caen (1966) envisage leur réorganisation complète sur des bases qui permettent une recherche moderne. Une association pour l'expansion de la recherche scientifique se constitue, où le responsable de la rubrique « éducation » du *Monde* côtoie des membres de l'Académie des Sciences, de hauts fonctionnaires et de grands patrons. Tandis que la V^e République investit massivement dans la recherche où elle voit le moteur non seulement du développement économique, mais de la grandeur nationale, la société toute entière fait de la science un espoir mobilisateur.

Dans ces conditions, les savants et les pédagogues qui proposent au ministre de préparer cet essor scientifique par une réforme de ce qu'on enseigne dans les classes sont certains d'être entendus : à quoi bon tant d'efforts et si coûteux en faveur des sciences, si l'on continue à former les scientifiques d'une façon archaïque ? L'accueil est plus que favorable : le ministre Fouchet assistera, en observateur, aux premières réunions de la commission Lichnerowicz.

Le cas de la réforme du français à la même époque illustre bien, *a contrario*, quelle conjonction d'acteurs sociaux est nécessaire pour qu'une réforme puisse s'imposer. La configuration initiale est analogue à celle des mathématiques : le développement rapide de la linguistique moderne met en évidence le caractère désuet de la grammaire scolaire. Non seulement les contenus et les formalisations diffèrent, mais les approches divergent : au privilège accordé par l'école à la langue écrite et à la norme, la linguistique oppose l'usage et les niveaux de langue ; à l'analyse des éléments elle préfère la compréhension des structures. L'écart est donc important.

Les savants trouvent des alliés dans l'administration et le corps enseignant, mais des alliés divisés : les raisons pour lesquelles certains inspecteurs généraux ou profes-

seurs d'école normale veulent une réforme sont moins d'ordre scientifique que pédagogique ; ils cherchent un moyen de surmonter les difficultés croissantes rencontrées dans les classes. D'autres réformateurs sont plus simplement animés par une conception libérale de l'école et veulent élargir la place faite à l'initiative et à l'imagination des élèves.

Il y a plus grave : non seulement le camp des réformateurs n'est guère homogène, mais il se heurte, au sein même de la profession, à de fortes résistances. Une partie de l'inspection générale est résolue à ne pas céder à la mode linguistique et traite comme de gros mots les termes empruntés à cette discipline nouvelle : mieux valait ne pas parler de connotation si l'on voulait réussir l'agrégation. Parmi les enseignants, l'association traditionnelle, la Franco-ancienne, est hostile. Certes, une Association des professeurs de français se crée, qui soutient la réforme, mais elle est en porte-à-faux, car elle comprend surtout des professeurs du second degré alors que l'enjeu majeur est le premier degré.

Surtout la légitimité scientifique de la linguistique est très inférieure à celle de la physique ou des mathématiques : son essor est sans influence sur le progrès économique et la grandeur nationale. Bien plus, elle touche à la langue, matière sensible entre toutes, et pour laquelle il existe d'autres légitimités fortes, à prétention scientifique, à commencer par celle de l'Académie française, gardienne séculaire de la langue. Or ces milieux sont hostiles à toute réforme. Les imputations politiques font le reste, et la réforme échoue. Pour faire prévaloir leurs vues, les savants n'avaient pas réussi à réunir assez d'alliés ni surtout à se concilier l'opinion publique.

LES RÉFORMES « POLITIQUES »

Seconde possibilité, la réforme a pour objectif d'adapter les contenus enseignés aux finalités nouvelles de l'institution. Elle est alors généralement le fait du pouvoir politique, car c'est lui qui est en charge des grandes finalités du système, et le choix des contenus d'enseignement est l'un des moyens d'assurer l'adéquation de l'école aux objectifs de la société. Mais l'administration est généralement associée au projet, car le pouvoir politique change, tandis que l'administration reste, et c'est elle qui prépare les dossiers et en assure le suivi.

À l'époque actuelle, ce type de réforme est souvent techniciste, ou productiviste, comme on voudra : il vise à développer les enseignements qui préparent le plus efficacement aux débouchés prévisibles. L'introduction de la technologie en quatrième et troisième, par exemple, celle de l'initiation économique et sociale en seconde, répondent à une volonté de ce type. Le meilleur exemple de telles réformes est sans doute la refonte des sections de second cycle en 1965, avec la création des baccalauréats de techniciens, ou, plus près de nous, la création des baccalauréats professionnels.

Naturellement, une réforme peut simultanément être « scientifique » et « politique », ce qui augure bien de son accueil. C'est le cas, par exemple, de celle des

mathématiques modernes, dont on vient de voir qu'elle avait rencontré le soutien rapide et déterminé du gouvernement et de larges secteurs de l'opinion.

On se tromperait pourtant en pensant que les réformes « politiques » ont toujours pour but d'assujettir les contenus d'enseignement à des finalités utilitaires. S'il est le souci prioritaire des gouvernements de la seconde moitié du XX^e siècle, le développement économique n'est pas le seul objectif politique possible. La réforme de 1902 a été largement débattue en lettres et en histoire, en raison d'enjeux qui n'étaient pas scientifiques, mais idéologiques et politiques. La question : faut-il enseigner Voltaire ou Bossuet recoupait le choix entre les Lumières et la tradition, entre la société moderne et l'Ancien Régime. C'était un débat de société, comme nous dirions aujourd'hui, et la décision était fondamentalement d'ordre politique.

Pour peu qu'on y réfléchisse, cette situation n'est pas anormale. En effet, les critères qui permettent de choisir entre les savoirs légitimes, ceux qu'on enseignera, ne sont pas et ne peuvent pas être eux-mêmes de l'ordre du savoir légitime. Tout savoir constitué, la linguistique, le sanscrit, le chinois, l'épigraphie grecque, l'astronomie infra-rouge est un savoir légitime, et qui pourrait prétendre à être enseigné dans les classes. Pourquoi enseigne-t-on le latin, et pas le vieux français ? Pourquoi la génétique et pas l'astronomie ? L'histoire et pas la sociologie ? Et, à l'intérieur de chaque discipline, les choix de contenus sont toujours discutables : Louis XIV est-il plus légitime qu'Alexandre de Macédoine ?

Or on ne peut tout enseigner ; un choix s'impose, entre les contenus possibles d'enseignement, et ces choix ne sont pas eux-mêmes scientifiques. Une fois qu'on a décidé d'enseigner tel ou tel contenu, une réflexion pédagogique ou didactique peut sans doute déterminer, jusqu'à un certain point, dans quel ordre les divers éléments doivent être enseignés, et s'il en est qu'on puisse négliger sans compromettre l'ensemble : à force d'entendre des professeurs déplorer que leurs élèves « manquent de bases », j'ai conclu qu'il y avait des « bases » dans chaque discipline, et qu'elles constituaient un élément essentiel des contenus d'enseignement. Mais on a vite fait leur inventaire. Les « bases » de l'anglais acquises, savoir s'il faut enseigner Shakespeare ou le *Times* et le *Guardian* demeure une question ouverte. À plus forte raison, aucune didactique ne tranchera jamais entre la littérature et la philosophie, entre l'astronomie et la génétique. Ce débat relève de la conception que chacun se fait de l'enseignement, de l'homme et du citoyen. C'est dire qu'il est profondément politique.

Aussi de telles réformes divisent-elles souvent l'opinion. Les réformateurs, pour l'emporter, doivent s'assurer le double soutien des notables de l'intelligentsia et des professeurs. L'histoire est ici particulièrement éclairante.

La réforme de 1902, par exemple, a été précédée d'un large débat, et ses textes d'application se sont échelonnés sur plusieurs années ; le gouvernement avait pris le temps de réfléchir aux textes qu'il préparait. En fait, cette réflexion s'est déroulée au sein de commissions qui ont accordé une large place à des notables universitaires. Pour

l'histoire, un Seignobos, par exemple, s'est fortement engagé, publiant des livres sur l'enseignement de la discipline dans le secondaire, collaborant à des manuels, donnant des conférences. Lanson a joué un rôle comparable pour le français. L'appui de ces maîtres prestigieux a entraîné celui d'une partie du corps enseignant, de jeunes professeurs, formés par eux quelques années plus tôt. Ces deux alliés ont permis au gouvernement de surmonter les obstacles et ils ont assuré le succès de la réforme.

Le contre-exemple est la réforme Haby de l'histoire-géographie. L'intention semblait judicieuse ; ces deux disciplines justifient, en effet, la place qu'elles tiennent dans notre enseignement par leur fonction civique et sociale : elles font comprendre aux élèves les fonctionnements complexes de la société dans laquelle ils vivront. Le ministre, prenant au sérieux cette fonction affichée, estimait qu'avec le développement des sciences sociales, il n'était plus possible d'en rester à l'enseignement canonique de disciplines distinctes, et qu'il fallait inventer un nouvel enseignement regroupant l'histoire, la géographie et les sciences sociales autour de grands thèmes.

On peut être pour ou contre cette proposition, mais elle méritait d'être discutée. Elle se heurta à un refus multiforme, que le ministre crut pouvoir surmonter en imposant sa réforme. Le résultat fut de souder les oppositions de tous ordres. Les groupes pédagogiques novateurs, qui auraient pu au moins pencher vers la neutralité, choisirent d'y voir un asservissement au néo-capitalisme ; une partie de l'intelligentsia partageait leur méfiance - 1968 était encore proche. Les notables universitaires ne la soutenaient pas pour autant ; l'inspection ne l'approuvait pas ; l'université encore moins, et même l'école des *Annales*, que l'idée aurait pu séduire, lui fit mauvais accueil. Plus largement, le corps enseignant s'indigna : la réforme portait atteinte à l'identité des professeurs, qui est disciplinaire ; ils n'acceptaient pas que des disciplines constituées et prestigieuses comme l'histoire se dissolvent dans un conglomerat hétéroclite de sciences sociales floues. L'association des professeurs d'histoire-géographie se mobilisa pour démontrer à l'opinion la nocivité de la réforme.

Les médias se mirent de la partie. L'hiver 1979-1980 vit se développer une puissante campagne. Elle culmina le 4 mars 1980, avec la journée de débat organisée par le magazine *Historia* à l'occasion de son 400^e numéro. Le ministre qui avait remplacé R. Haby était là, entouré d'hommes politiques comme M. Debré, E. Faure, J.-P. Chevènement, du président de l'association des professeurs d'histoire et de géographie et d'historiens tels F. Braudel, E. Le Roy-Ladurie, M. Gallo, H. Carrère d'Encausse. A. Decaux, reçu sous la coupole huit jours plus tard, donna à ce débat un retentissement sans précédent. Ce fut un tollé général qui ne s'encombra guère de preuves : « Dans l'élémentaire, c'est l'effondrement, dans le 1^{er} cycle, c'est le délabrement, et dans le 2^e cycle c'est la peau de chagrin », résuma le président de l'APHG. Le doyen de l'inspection, qui tenta d'examiner les faits et montra que la chronologie n'était pas sacrifiée comme on le prétendait, fut interrompu sans courtoisie. Le temps n'était

plus à l'instruction : la cause était entendue, le verdict rendu. Le ministre promet des mesures. La réforme Haby était morte. Elle n'avait pas tenu quatre ans.

L'exemple de la réforme Haby est cependant exceptionnel. En effet, il est très rare qu'une réforme d'initiative politique touche une seule discipline. Que le ministre ait été lui-même géographe explique l'exception. En général, l'approche disciplinaire caractérise plutôt les réformes que j'appelais plus haut « scientifiques ». L'exemple contraire de la réforme de 1902 le montre bien : elle concerne l'enseignement de toutes les disciplines. En fait, ces réformes des contenus constituent le volet pédagogique de réformes plus globales, qui affectent la morphologie du système scolaire. La réforme de 1902 achève d'intégrer dans le secondaire l'enseignement spécial, devenu moderne, et il lui donne statut égal et égale dignité.

C'est une situation assez fréquente. Si l'on considère par exemple les programmes de Jean Zay (1937) et ses instructions (1938), il est clair qu'il s'agit de bien davantage que d'ajuster des enseignements ; il s'agit de permettre le passage du primaire supérieur au lycée, et d'organiser comme une transition vers la vie professionnelle l'année qu'on vient d'ajouter à l'obligation scolaire : deux transformations structurelles, dont la réforme est le complément logique. Une approche didactique de ces réformes serait aveugle sur l'essentiel.

Inversement, il arrive qu'une réforme de structure serve de substitut à des réformes de contenus impossibles. Quand, par exemple, le ministère ne réussit pas à infléchir substantiellement un enseignement ou à introduire une discipline qu'il juge nécessaire dans les programmes déjà surchargés des classes ordinaires, il lui arrive de créer une section spéciale où la discipline bannie règne en maîtresse. L'histoire des sciences économiques et sociales dans le second cycle des lycées est sur ce point riche d'enseignements. Au départ, nous avons une section technique, avec un baccalauréat de techniques économiques de gestion créé en 1952. La création de la section B en 1965, et sa distinction d'avec les sections proprement techniques résulte pour une part de l'échec d'une modernisation plus profonde des programmes de l'ensemble des sections de second cycle. Il faudra attendre le début des années 1980 pour voir ces disciplines s'introduire sous la forme d'une « initiation économique et sociale », dans la plupart des sections de seconde.

DYNAMIQUE DES RÉFORMES

Que la réforme prenne naissance du côté des savants ou des politiques, il est impossible de l'expliquer en dehors d'une dynamique temporelle. Il faut la saisir dans sa trajectoire entière pour en comprendre les raisons, les infléchissements et les aboutissements. C'est dire qu'il faut en faire l'histoire pleine et entière, sociale et culturelle autant que pédagogique.

En premier lieu, il convient de construire les temporalités de la réforme. Ne pas s'enfermer dans une périodisation trop courte, car les réformes viennent souvent de loin

et il faut leur laisser le temps de montrer leur vrai visage. Discerner les latences et les accélérations. Surtout, retrouver les temps des différents acteurs. Les savants ont du temps, plus que les politiques ; ils durent, et l'on reste plus longtemps dans une chaire universitaire que dans un fauteuil ministériel. Le politique est pressé, il n'a pas le temps d'attendre ; le savant peut laisser mûrir longtemps des conjonctures plus favorables ; les associations de professeurs des diverses disciplines s'inscrivent dans un temps plus long encore, avec plus de mémoire souvent que le ministère ; celui-ci enfin persiste dans son être multiple, et les bureaux, comme l'inspection, restent longtemps fidèles aux lignes lentement choisies.

Dans l'histoire des réformes de l'enseignement, la mobilisation des acteurs, et plus encore celle de leurs alliés, est un facteur décisif. La capacité à constituer en temps utile un front cohérent décide en général de l'issue du débat. Le temps joue ici un rôle décisif : il en faut pour mobiliser l'opinion, mais quand on y parvient, dans un sens ou dans l'autre, l'issue de la bataille est décidée. Le destin d'une réforme se joue donc souvent dans l'habileté à disposer du temps. Les réformateurs de 1902, par exemple, ont pris le temps de convaincre, mais le temps jouait en leur faveur. La commission Lichnerowicz a mené sa réforme tambour battant, et au bon moment ; quelques années plus tard, la commission Lagarrigue eut beaucoup plus de mal à faire admettre une réforme moins ambitieuse. Il est très difficile d'apprécier en quel sens œuvre le temps : R. Haby pensait qu'il désarmerait ses adversaires, mais il a joué contre lui, comme plus tard, dans un autre domaine, contre Savary.

Les acteurs eux-mêmes demandent à être saisis dans leur distribution complète, et avec toute leur complexité. Les groupes sont rarement homogènes. Ni les savants, ni les politiques, ni le corps enseignant, ni l'administration ne sont des blocs. Les savants, moins nombreux, liés par des pratiques professionnelles multiples, colloques, jurys de thèses, revues, sont peut-être les moins divisés. Mais le lobbying pédagogique est pour eux souvent secondaire par rapport aux enjeux propres de la discipline.

Les politiques ont rarement plus de quelques années devant eux ; les questions d'éducation n'ont pas toujours pour eux l'importance décisive qu'elles avaient pour Jules Ferry ; leur vrai centre d'intérêt est la politique générale, et les parties qu'ils jouent sur ce terrain retentissent sur celle qu'ils mènent dans l'enseignement. J. Fontanet soutient en 1974 le candidat qui perd les élections présidentielles et sa réforme des collèges sombre corps et biens.

Les enseignants sont plus difficiles à saisir : leurs porte-paroles attitrés ne les représentent pas parfaitement. Ni les syndicats, ni les associations de spécialistes n'expriment la pensée complète de la totalité des intéressés. Parfois même, il arrive qu'ils poursuivent une politique à laquelle leurs mandants n'adhèrent pas complètement. La réforme de l'éveil, par exemple, avait l'aval du syndicat ; on a vu ce qu'il en advint dans le quotidien des classes.

Or les enseignants sont les acteurs décisifs des réformes. Pour réussir dans la durée, une réforme doit les convaincre. Sinon, on réformera la réforme et le *statu quo ante* à peine modifié se rétablira. Les enseignants peuvent être sensibles à des raisons très différentes. Ils se mobilisent parfois autour de thèmes idéologiques : la défense de la philosophie ou de l'histoire, quand une réforme les menace, est généralement assurée par une argumentation d'ordre idéologique ; ce sont des disciplines qui forment l'esprit critique, la réflexion personnelle, et tout pouvoir politique qui entreprend de réduire la place qu'elles occupent se classe par là-même au rang des ennemis de la liberté et de la République, comme autrefois l'Empire autoritaire ou l'Ordre moral. Mais les raisons pédagogiques ne sont pas moins fortes. Ce que l'on demande aux maîtres d'enseigner se heurte, dans les classes, à des résistances qui ne sont pas toutes surmontables. Les professeurs sont bien contraints d'en tenir compte. On réforme alors la réforme, pour l'ajuster, quoique incomplètement, aux réalités des classes. Ce fut le destin des mathématiques modernes.

L'administration parle peu, ou dans des comités restreints. En revanche, elle écrit abondamment. Elle a le temps pour elle : la longévité des chefs de bureau et des inspecteurs est une donnée majeure de l'histoire des réformes. La réforme des unités capitalisables dans l'enseignement professionnel, comme la démarche des référentiels, doivent beaucoup à l'action d'un ingénieur, chargé de ce domaine sous des titres divers pendant une bonne dizaine d'années. Mais l'administration est divisée. Les fonctionnaires de la centrale, les inspecteurs, les fonctionnaires locaux : autant d'acteurs qu'une réforme doit mobiliser pour réussir. Seule l'inspection primaire, par exemple, aurait été en mesure de mener à bien la réforme de l'éveil.

L'opinion finit toujours par arbitrer les débats pédagogiques. Les journalistes pèsent d'un poids décisif, moins comme individus que comme instance collective de légitimation de positions qu'ils renforcent massivement en leur accordant crédit et audience. Les contre-pouvoirs dans l'opinion sont limités : les parents d'élèves tiennent un certain rôle depuis 1968, mais, comme groupe organisé, ils n'avaient auparavant guère d'importance.

Les mouvements de l'opinion constituent sans doute l'un des points aveugles de l'histoire des réformes. Aucune étude historique, à ma connaissance, n'a expliqué pourquoi, sous quelles influences, selon quels mécanismes, des mouvements puissants soulèvent l'opinion autour de thèmes pédagogiques. La campagne de 1979-80 contre la réforme Haby a été présentée plus haut, mais il reste à comprendre pourquoi elle a pris une telle importance dans l'opinion. Aucune réforme ne résiste à ces vagues de fond, qui pourtant finissent toujours par retomber, et parfois rapidement. Un autre exemple de leur force est l'abandon du tutorat préconisé par L. Legrand en 1983 : ce n'était qu'une question de mot, et pourtant elle fut décisive.

Restent enfin les acteurs muets. Ceux qui ne parlent pas et semblent étrangers aux réformes : les élèves. Acteurs muets et passifs, ils n'en jouent pas moins un rôle capital :

au vrai, ce sont eux qui font et défont les réformes. Celles-ci doivent toujours, en effet, subir l'épreuve de la classe, et elle ne trompe pas.

On ne comprendrait pas, par exemple, l'évolution de l'enseignement du français depuis un tiers de siècle, si l'on ne prenait en compte les transformations du public scolaire, à la fois dans ses origines sociales et ses pratiques culturelles. Le langage de la publicité, des bandes dessinées, des chansons tissent un ensemble de pratiques familières aux élèves, légitimes à leurs yeux, et l'enseignement du français est bien contraint d'en tenir compte. La banalisation des calembours et leur sophistication croissante, la diffusion de l'informatique créent, de la même façon, des conditions nouvelles qui retentissent sur les enseignements scientifiques. Les élèves introduisent ainsi dans l'enseignement une pression qui oblige à des ajustements.

Ces quelques remarques posent plus de questions qu'elles n'en résolvent, et chacun des exemples évoqués aurait mérité une plus longue analyse. Ils n'en interdisent pas moins d'appliquer aux réformes de l'enseignement une grille d'analyse trop simple et trop linéaire. Les réformes de l'enseignement n'obéissent pas à ce que l'on pourrait appeler la logique des ingénieurs. Il n'y a pas un problème, des experts qui portent un diagnostic et proposent une solution que le Décideur supposé puissant (avec un D majuscule) applique. C'est d'ailleurs pourquoi il est naïf de s'étonner que les rapports — étape habituelle de toute réforme — ne soient jamais appliqués, en tout cas jamais sans modifications ou altérations substantielles : ils sont un moment dans un processus qu'ils infléchissent mais qui les dépasse évidemment.

Il faut donc penser toute réforme comme un processus social complexe qui met en jeu des acteurs multiples, aux intérêts et aux objectifs divers. La comprendre, c'est expliquer ce jeu, apprécier les forces en présence et leur combinaison dans le temps, dénouer l'intrigue. Bref, c'est en faire l'histoire.

Bibliographie

- Bkouche (R.), Charlot (B.), Rouche (N.), *Faire des mathématiques : le plaisir du sens*, Paris, A. Colin, 1991.
- Isambert-Jamati (V.), *La Réforme de l'enseignement du français à l'école élémentaire*, Paris, CNRS, rapport dactyl., ATP n° 14, 1977.
- Luc (J.-N.), Une réforme difficile : un siècle d'histoire à l'école élémentaire (1887-1985), *Historiens et géographes*, n° 306, septembre-octobre 1985, pp. 149-207.

Réformer ou conserver ?

La place des sciences dans les transformations de l'enseignement secondaire en France (1900-1970)

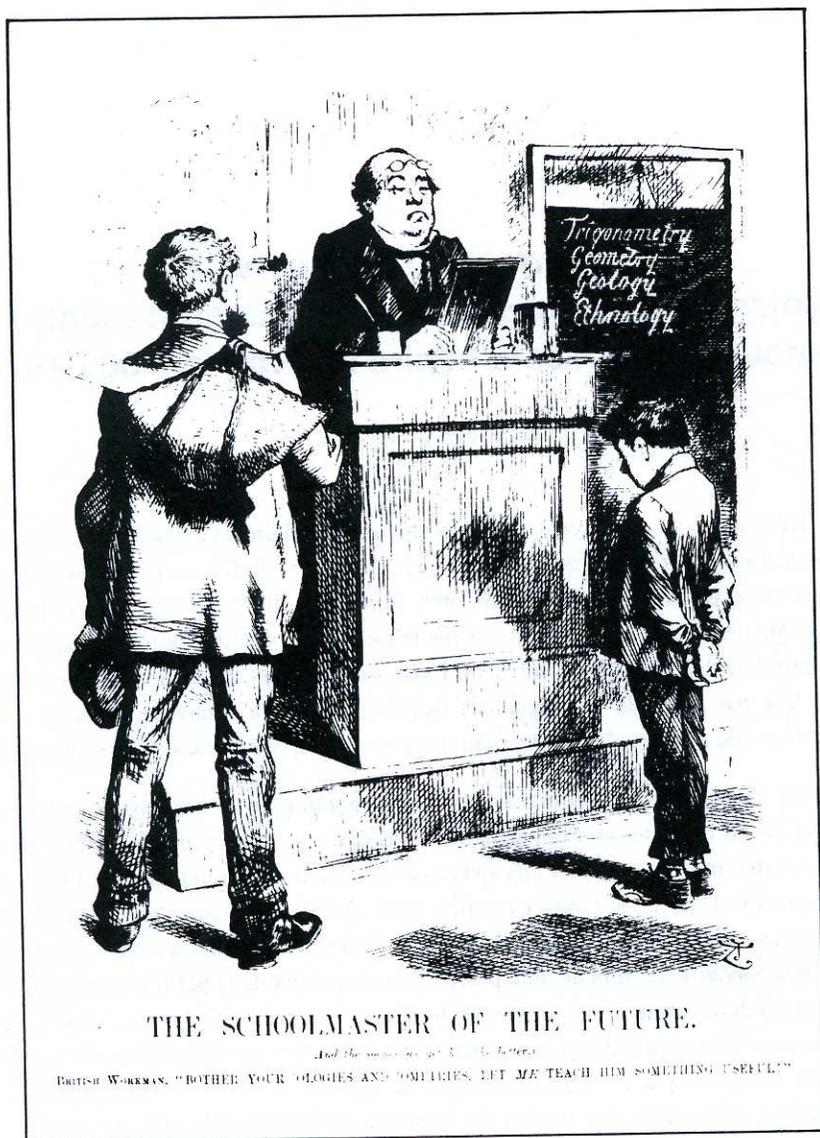
Bruno BELHOSTE

Réformer ou conserver ? L'enseignement secondaire en France oscille depuis le début du siècle entre ces deux tentations, ce qui reflète à la fois son enracinement et la crise récurrente qu'il traverse depuis près d'un siècle, dans une société en mutation. L'enseignement scientifique, qui nous intéresse plus particulièrement, n'échappe pas à cette problématique générale, même si interviennent dans ce cas des facteurs spécifiques, liés par exemple à l'évolution des disciplines de référence dans le champ scientifique ou à la circulation internationale des modèles didactiques et pédagogiques.

On s'efforcera de présenter ici une vue panoramique de l'enseignement scientifique et de ses réformes en France du début du siècle jusqu'aux années 1960. Faute de pouvoir saisir tous les détails d'un sujet aussi vaste, nous n'en retiendrons qu'un aspect, mais un aspect qui nous paraît essentiel, celui de la culture scolaire. Il s'agira donc d'examiner quelle place occupe l'enseignement scientifique dans la formation générale de type secondaire, comment cette place évolue au cours de la période et pourquoi les entreprises de réforme correspondent pour elle à des moments de crise. Notre étude, qui n'est qu'une esquisse, portera principalement sur les représentations de la culture scolaire élaborées par les acteurs majeurs du système à travers les programmes, les instructions officielles, les articles de la presse professionnelle, etc., et non sur les réalisations effectives, ce qui en limite évidemment la portée, mais nous veillerons, autant que possible, à rapporter ces représentations aux conditions sociales et institutionnelles qui ont permis leur expression.

LA RÉFORME DE 1902 ET LES « HUMANITÉS SCIENTIFIQUES »

L'enseignement secondaire, au début du XX^e siècle, est une institution vénérable. Son organisation remonte en effet en France à la création des lycées et collèges communaux sous le Consulat et à la fondation de l'Université impériale, quelques



Un enseignement utile ?

années plus tard. Par leur clientèle, par leur organisation pédagogique et par leur enseignement, ceux-ci sont d'ailleurs les héritiers directs des collèges d'Ancien Régime. À titre de comparaison, l'organisation de l'enseignement primaire au niveau national se met en place après 1830 et acquiert ses « lois fondamentales » au début des années 1880. L'enseignement supérieur ne décolle que dans les deux dernières décennies du XIX^e siècle.

En 1900, l'enseignement secondaire, qui est payant, se caractérise d'abord par sa clientèle, essentiellement les élites instruites qui constituent la classe dirigeante traditionnelle : notables, professions libérales et fonctionnaires, auxquels il faut ajouter, de plus en plus, une nouvelle classe moyenne d'industriels, de commerçants et de cadres techniques, dont l'essor est lié au développement économique du pays. Il ne concerne que les garçons. L'enseignement secondaire pour les jeunes filles, organisé en 1880, est très différent, beaucoup plus modeste dans ses objectifs et encore peu développé en 1900. Les effectifs globaux de l'enseignement secondaire sont faibles. Ils stagnent dans les dernières décennies du XIX^e siècle autour de 100 000 élèves, ce qui représente entre 3,5 et 4 % d'une classe d'âge et ils n'augmentent que très lentement dans le premier tiers du XX^e siècle. Ces chiffres reflètent l'étroitesse de la classe dirigeante à l'époque.

L'enseignement secondaire s'oppose très nettement à l'enseignement primaire et à ses extensions (cours complémentaires et primaire supérieur), gratuits, qui recrutent principalement leurs élèves dans les classes populaires. Les deux ordres d'enseignement ne sont pas consécutifs comme aujourd'hui, mais parallèles. Cette opposition, que théoriseront les sociologues de la reproduction après 1968 ([Bourdieu et Passeron, 1970] et [Baudelot et Establet, 1971]), c'est-à-dire au moment où elle cesse d'être pertinente, est encore peu contestée jusqu'à la Première Guerre mondiale au moins.

L'enseignement secondaire a une identité forte. Il dispense à un public bien ciblé une culture, celle des humanités, qui se veut à la fois générale, libérale et désintéressée et qui prétend former l'esprit et non inculquer des connaissances particulières. Cet enseignement de culture s'oppose aussi bien à l'instruction primaire, pratique et utilitaire, qu'à l'enseignement supérieur, spécialisé et professionnel. Le modèle des humanités, hérité des collèges d'avant la Révolution, repose longtemps sur le seul apprentissage des langues anciennes, principalement du latin [Compère, 1985]. À la fin du XIX^e siècle, cette conception étroite des humanités classiques est en crise et l'idée qu'un enseignement moderne des humanités est possible s'impose peu à peu. Un enseignement secondaire spécial, sans latin mais avec plus de sciences et de langues vivantes que l'enseignement classique et plus directement tourné vers les applications pratiques, existe d'ailleurs depuis longtemps. Devenu enseignement secondaire moderne en 1891, il connaît un succès grandissant dans les dernières années du XIX^e siècle. Mais à mesure qu'il se développe, cet enseignement secondaire de second ordre, à l'origine pratique et utilitaire, se transforme en un enseignement de culture, à l'instar

de l'enseignement classique. La polémique autour du thème des humanités modernes accompagne cette évolution [Falcucci, 1939].

C'est dans ce contexte qu'il faut analyser les transformations de l'enseignement scientifique dans le secondaire autour de 1900. Depuis la création des lycées, l'enseignement secondaire accorde une place aux sciences, certes marginale mais non entièrement négligeable [Belhoste, 1995]. Cet enseignement scientifique présente un double caractère tout au long du XIX^e siècle. D'une part, son succès est lié étroitement au développement d'une filière préparatoire aux grandes écoles, principalement à l'École polytechnique, ce qui favorise presque exclusivement les mathématiques. D'autre part, sa présence dans les plans d'études se trouve principalement justifiée par ses applications pratiques, même si son rôle dans la formation de l'esprit est aussi reconnue, ce qui lui donne une faible légitimité du point de vue de la culture secondaire et le cantonne au rang peu enviable de spécialité [Hulin-Jung, 1989].

La crise que traverse l'enseignement secondaire autour de 1900, qui aboutit à la réforme de 1902, mêle de manière extrêmement complexe des aspects économiques, sociaux, institutionnels, culturels et politiques. Cependant, la presque totalité des acteurs du débat d'époque ne remettent en cause ni le caractère étroitement élitiste de l'enseignement secondaire, même si beaucoup s'inquiètent d'un tassement des effectifs dans les lycées, ni la séparation canonique des ordres primaire et secondaire qui caractérise alors le système scolaire. L'attention se focalise principalement sur l'organisation des études secondaires et les rapports entre le secondaire moderne et le secondaire classique, la crise apparaissant aux observateurs les plus lucides, Émile Durkheim par exemple [Durkheim, 1938], comme une crise des humanités. Le problème, au fond, consiste à définir une culture de référence pour les classes dirigeantes, à un moment où tend à s'effacer l'ancien clivage entre bourgeoisie économique, en ascension, et notabilité, sur le déclin, et où, parallèlement, les sciences et leurs applications pénètrent de plus en plus tous les secteurs de la vie économique, sociale et culturelle.

La réforme de 1902 est un compromis. La division en deux cycles consécutifs, le premier de la 6^e à la 3^e et le deuxième de la 2^e à la classe terminale, et le sectionnement des études avec la création d'une section A avec latin et d'une section B sans latin dans le premier cycle, et de quatre sections dans le second cycle, dont deux à vocation partiellement scientifique, la section C, latin-sciences, et la section D, langues vivantes-sciences, permettent de réunir l'ancien classique et l'ancien moderne, placés sur un pied d'égalité, dans un unique enseignement secondaire. L'importance des disciplines modernes, langues vivantes et sciences, est reconnue, sans que soient sacrifiées les lettres classiques, bien que les partisans des humanités traditionnelles se scandalisent du sort fait aux langues anciennes. La commission parlementaire à l'origine de la réforme rejette d'ailleurs le projet, d'inspiration positiviste, d'un enseignement secon-

naire fondé principalement sur la science que défend le député radical Charles Couyba, chargé d'un rapport sur le plan d'études (comparer [Couyba, 1899] et [Ribot, 1901]).

En réalité, c'est de l'intérieur de l'Université que vient l'impulsion pour le développement et la rénovation de l'enseignement scientifique dans le secondaire, et plus particulièrement de l'enseignement supérieur. Le rôle clé est joué par le directeur de l'enseignement supérieur, Louis Liard, nommé en 1902 vice-recteur de l'Académie de Paris. Quant à la commission chargée de réviser les programmes de sciences, nommée au début de l'année 1901 et présidée par le mathématicien Gaston Darboux, doyen de la faculté des sciences de Paris, elle est peuplée d'éminents universitaires parisiens.

L'esprit général qui préside à la réforme de l'enseignement des sciences est résumé par le slogan des « humanités scientifiques » lancé quelques années plus tôt par Marcelin Berthelot [1891]. Il s'agit d'élever l'enseignement scientifique au rang d'un enseignement de culture, adapté au caractère de l'enseignement secondaire. « Les études scientifiques, déclare Louis Liard en 1904, doivent, comme les autres, contribuer à la formation de l'homme » (voir [Belhoste, 1995, p. 626]). Cette idée n'est pas nouvelle, puisqu'on la trouve déjà, par exemple, sous la plume de Victor Duruy en 1865 ou même de Léon Bourgeois en 1890, mais jusqu'à la fin du XIX^e siècle, l'enseignement scientifique reste en fait dominé par des conceptions de type utilitariste. L'Université considère en effet l'étude des sciences au lycée principalement comme une spécialité préparant aux écoles ou à la vie pratique. La création en 1890 d'un seul baccalauréat de l'enseignement classique, à la place des deux baccalauréats ès lettres et ès sciences, marque même, de ce point de vue, un recul sensible de leur place au lycée.

Pour les réformateurs, la valeur éducative des sciences est avant tout d'ordre intellectuel. Selon Louis Liard, « leur office propre est de travailler, avec les moyens les mieux adaptés, à la culture de tout ce qui, dans l'esprit, sert à découvrir et à comprendre la vérité positive, observation, comparaison, classification, expérience, induction, déduction, analogie, d'éveiller et de développer ce sens des réalités et des possibles qui n'importe pas moins que l'esprit d'idéal, enfin, et par là même elles deviennent, de façon latente mais efficace, des maîtresses de philosophie, d'habituer les intelligences à ne pas penser par fragments, mais à comprendre que tout fragment n'est qu'une partie d'un tout » [Belhoste 1995, p. 626]. La conception sous-jacente est d'inspiration positiviste, mais d'un positivisme non doctrinaire conforme à l'esprit de la nouvelle Sorbonne. Les « humanités scientifiques » doivent être un enseignement des réalités, fondé principalement sur l'observation et l'expérimentation.

Ce point de vue se traduit dans les programmes d'enseignement par une augmentation globale des horaires de sciences dans le premier cycle et surtout dans les sections C et D du second cycle, par une meilleure coordination des disciplines et par un certain rééquilibrage au profit des sciences physiques. Une grande importance est accordée à la méthode inductive, y compris en mathématiques. En sciences physiques, des exerci-

ces pratiques pour les élèves sont institués à partir de la classe de Seconde. En mathématiques, le point essentiel est la réécriture des programmes qui sont augmentés, en particulier avec l'introduction de l'analyse dans le second cycle.

L'« ÉGALITÉ SCIENTIFIQUE » ET LA CULTURE GÉNÉRALE

Nous n'examinerons pas ici l'application effective de la réforme au cours des années suivantes. Elle contribue à remodeler profondément l'enseignement secondaire, désormais unifié. Mais elle se heurte à la vive résistance du camp classique, qui dispose de puissants relais dans l'opinion, la presse et le pouvoir politique. Dès 1908 éclate la polémique sur la « crise du français », attribuée à la réforme. Après la guerre, la campagne des classiques s'amplifie. Pour le président de la commission de l'enseignement de la Chambre des députés, Gaston Deschamps, la réforme de 1902 est « une imitation gauche et maladroite des méthodes allemandes ». La réforme Léon Bérard, adoptée en 1923, consacre finalement l'abandon de celle de 1902 avec la suppression de la division en cycles et du sectionnement, au profit du seul enseignement gréco-latin.

Pour ce qui concerne les sciences, la mesure la plus importante, dans les réformes de l'après-guerre, est l'adoption du principe dit de l'« égalité scientifique », proposé en 1921 par le philosophe Édouard Le Roy, chaudement appuyé par le mathématicien Émile Picard. Tous les élèves du secondaire doivent recevoir une formation intellectuelle équilibrée, à la fois littéraire et scientifique. C'est l'époque où s'impose comme *topos* de la pédagogie secondaire le thème pascalien des deux esprits, l'esprit de finesse que donnerait l'étude des lettres et l'esprit de géométrie que donnerait celle des sciences. Dans ce contexte, l'enseignement scientifique doit être un enseignement général. L'idée de Le Roy est adoptée d'enthousiasme par les classiques. Même après l'abandon partiel de la réforme Bérard en 1925 et la reconstitution d'une section moderne B, le principe de l'égalité scientifique est maintenu. Tous les élèves de l'enseignement secondaire, quelle que soit leur section, suivent dorénavant le même enseignement scientifique jusqu'à la première partie du baccalauréat, avant de se diviser en terminale entre la classe de Philosophie et la classe de Mathématiques élémentaires.

Beaucoup de scientifiques, séduits par la perspective d'une formation scientifique générale pour tous, se rallient dans un premier temps au principe de l'égalité scientifique. L'enseignement scientifique des sections littéraires du second cycle, A et B, dans le régime de 1902, réduit dans ses horaires, est en effet un échec notoire. Il s'agit donc, suivant une expression d'époque, de mettre fin au « désarmement scientifique » des littéraires. Mais l'égalité scientifique suppose la suppression de toutes les classes à option scientifique, en particulier celles de la fameuse section C, latin-sciences, qui ont connu un grand succès, ce qui revient, en fait, à réduire considérablement la part des sciences dans l'enseignement secondaire et à revenir à la situation de la fin du XIX^e siècle, avec un peu plus de sciences. Pour les élèves se destinant aux grandes écoles scientifiques, la formation scientifique sérieuse se trouve concentrée dans les seules

classes de « maths élém » et « spéciales ». Malgré l'opposition résolue des professeurs de mathématiques et de sciences physiques, le principe de l'égalité scientifique sera maintenu dans toute sa rigueur jusqu'à la fin des années 1930.

L'adoption de l'égalité scientifique est symptomatique d'un certain raidissement de l'enseignement secondaire après la Première Guerre mondiale. Les textes officiels rappellent avec insistance la vocation de culture de cet enseignement, incompatible avec des buts purement utilitaires. Les mathématiques et les sciences physiques et naturelles constituent ainsi des « disciplines », au même titre que les langues anciennes, et non des simples spécialités. La conception disciplinaire qui devient la doctrine officielle de l'enseignement secondaire dans l'Entre-deux-guerres exige de chaque matière qu'elle soit formatrice de l'esprit, c'est-à-dire qu'elle reflète totalement dans sa pédagogie comme dans ses contenus l'idéal humaniste qui doit caractériser cet enseignement. Il s'agit ainsi de bien marquer la différence avec le primaire supérieur, alors que se développent les débats sur l'école unique.

L'ambition de former des hommes complets exige des professeurs un engagement personnel sur lequel est fondée toute la pédagogie officielle, celle des sciences aussi bien que celle des lettres, telle que la prescrivent par exemple les instructions de 1925 et de 1938. Cette conception se traduit en mathématiques, sous l'influence de l'inspecteur général Émile Blutel, par la recommandation de la méthode heuristique : « Vérifier la pénétration des idées, à mesure qu'elles sont développées, paraît donc une condition essentielle de toute bonne méthode d'enseignement des mathématiques. On s'en approcherait beaucoup si l'exposition des faits importants et la découverte des liens qui les unissent résultaient d'un travail en commun, sous la direction du professeur qui chercherait moins à imposer des résultats qu'à éveiller la curiosité et à susciter l'effort général par ses questions répétées » (*Instructions* de 1925). En somme, dans les mathématiques comme dans les lettres, le professeur doit être un éveilleur. Mais cette pédagogie d'éveil s'accorde mal avec les programmes chargés qu'exige l'égalité scientifique. Le « surmenage » des élèves devient un sujet d'inquiétude. À la suite de l'enquête menée par une commission du surmenage scolaire, les horaires sont réduits dans la plupart des disciplines en 1931, ce qui suscite les protestations tant des professeurs de sciences que des professeurs de lettres. Dans ces conditions, l'égalité scientifique trouve de moins en moins de défenseurs, surtout après le départ de Francisque Vial de la direction de l'enseignement secondaire en 1936.

Dans les années 1920, l'institution secondaire, l'Empire du milieu selon l'expression de Lucien Febvre, semble, à première vue, un bloc immuable : clientèle sélectionnée socialement et destinée à former l'élite du pays, corps de professeurs homogène composé principalement d'agrégés, enseignement fondé sur une conception des humanités très généralement partagée. Un profond conservatisme social et culturel, en somme [Prost 1968, pp. 351-375]. Pourtant, dans une société traumatisée par la guerre et en rapide transformation, l'institution secondaire est comme une forteresse assiégée.

Elle se trouve menacée en effet à la fois par le développement de formes de scolarisation prolongée concurrentes, et par l'ouverture progressive de ses classes à une nouvelle clientèle, c'est-à-dire par le début de ce qu'on va appeler sa démocratisation. L'enseignement secondaire féminin se rapproche de l'enseignement secondaire masculin, auquel il est assimilé en 1924, et se développe rapidement, en renonçant d'ailleurs à sa spécificité. Mais c'est surtout l'enseignement primaire supérieur, auquel il convient d'ajouter les établissements de l'enseignement technique, les EPCI, qui menace l'hégémonie classique [Briand et Chapoulie, 1992]. Ce secondaire du primaire pèse plus du double de l'enseignement secondaire masculin en terme de scolarisation d'une classe d'âge. Pour les filles, les chiffres sont encore plus favorables au primaire supérieur.

La question de l'unification des deux ordres d'enseignement secondaire et primaire supérieur commence à être discutée au lendemain de la Première Guerre mondiale à l'initiative des militants de l'école unique, mais se heurte à l'opposition résolue de l'institution secondaire. Dans les programmes et sur le terrain, le primaire supérieur se rapproche progressivement du secondaire par des mesures d'harmonisation et d'amalgame. Mais il faut attendre l'arrivée de Jean Zay au ministère de l'Éducation nationale, en 1936, pour que ce rapprochement se traduise au niveau organique. Une direction du second degré est créée au ministère, qui chapeaute le primaire supérieur et le secondaire et les programmes des classes des écoles primaires supérieures sont totalement alignés sur ceux du premier cycle de l'enseignement secondaire.

Le nouveau directeur du second degré, Albert Châtelet, en profite pour supprimer l'égalité scientifique dans le premier cycle du secondaire. Les horaires de sciences en section B moderne, fixés à l'instar de ceux des EPS, sont supérieurs à ceux des sections classiques A et A'. Cette mesure annonce l'abolition de l'égalité scientifique dans le second cycle. C'est Jérôme Carcopino qui saute le pas en créant, en 1941, à côté de la section classique A et de la section moderne lettres M, une section scientifique C, latin-sciences. L'année suivante, est créé un nouveau baccalauréat, philo-sciences, dit bientôt sciences-ex, sans latin et avec moins de mathématiques que le baccalauréat math élém, qui attire les élèves venus des EPS, rebaptisées collèges modernes.

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, l'intégration d'une partie de l'enseignement primaire supérieur dans le second degré ne provoque aucune remise en cause des conceptions secondaires, qui continuent de prôner un enseignement des humanités :

« Ce qui donne à l'enseignement du second degré son caractère original, ce qui constitue sa fonction propre, ce qui lui confère enfin, dans la diversité de ses disciplines et le fractionnement de ses sections, une unité profonde et organique, que marque la coordination des programmes, c'est qu'il vise à former l'esprit des enfants et à leur donner une culture générale. Leur rôle est moins de les pourvoir d'un bagage de connaissances utiles que de favoriser le libre et complet développement de leurs facultés et d'en faire des hommes, en cultivant chez eux tout ce

qui fait l'excellence de l'homme : l'intelligence, le coeur, le caractère, le sens moral, le goût du beau. C'est par cet objet, et non pas uniquement par son contenu que doit se définir un enseignement humaniste. » [ministère de l'Éducation nationale, 1938]

En revanche, l'accent est mis sur le rôle de la pédagogie : « la méthode d'autorité est absolument étrangère à l'esprit de cet enseignement [...]. Un enseignement de formation intellectuelle ne peut procéder que par une méthode active. » Le professeur doit partir de l'expérience des enfants : « son enseignement n'est pas dogmatique ; il procède suivant une méthode inductive. Il ne fait ni cours ni leçon *ex cathedra* ».

« Les professeurs exercent l'esprit de l'enfant d'abord en le tenant en éveil et en haleine par des *questions* incessantes en lui posant de petits problèmes, en l'habituant à s'en poser lui-même, à s'interroger et à interroger ses camarades, à sentir les difficultés réelles, et ils entretiennent en lui cette précieuse faculté de s'étonner et d'admirer dont Descartes faisait la passion fondamentale et qui est, en effet, le principe et le signe de l'activité spirituelle. Dans l'enseignement du second degré, le talent du professeur se réduit, ou peu s'en faut, au grand art socratique d'interroger ». [ministère de l'Instruction publique, 1938].

Après la Libération, cet éloge des méthodes actives est repris et amplifié dans les recommandations officielles. Le directeur du second degré, Charles Brunold, ne cesse de défendre au cours des années 1950 une conception libérale et humaniste de l'enseignement scientifique, fondée sur la méthode de redécouverte et il encourage vivement la diffusion dans toutes les classes des expériences pédagogiques des classes nouvelles, puis des classes pilotes [Brunold, 1960]. Mais, si le discours officiel reste fidèle au modèle disciplinaire de la culture scolaire qui a triomphé dans l'Entre-deux-guerres, la réalité de l'enseignement secondaire se transforme profondément et rapidement à partir des années Cinquante.

LA DÉMOCRATISATION DU SECOND DEGRÉ, LA CRISE DES HUMANITÉS CLASSIQUES ET LA RÉFORME DES MATHÉMATIQUES MODERNES

En même temps que les écoles primaires supérieures s'intègrent dans le second degré, le secondaire amorce en effet un processus rapide de démocratisation [Prost, 1986 et 1992]. Le point de départ se situe autour de 1930, lorsqu'est instaurée, dans une conjoncture démographique déprimée, la gratuité de l'enseignement secondaire. La croissance des effectifs est nette dans les années 1930, malgré l'établissement en 1934 d'un examen d'entrée en 6^e. Elle s'accélère au lendemain de la guerre, profitant de la dynamique créée par les anciennes écoles primaires supérieures, rebaptisées collèges modernes en 1941, alors même que la pression démographique est faible (arrivée des classes creuses). Les sections modernes profitent de cette expansion. Dans le premier cycle, elles accueillent environ la moitié des élèves des lycées et collèges dans les années 1950. À la même époque, leur part augmente dans le second cycle : à partir de 1954, elles fournissent plus de la moitié des bacheliers. La croissance

extrêmement rapide après la Libération des cours complémentaires de l'enseignement du premier degré, évidemment sans latin, et leur intégration progressive dans le second degré après leur transformation en CEG en 1959, renforcent encore le poids des enseignements modernes et réduit du même coup la place de l'enseignement classique dans l'ensemble du second degré.

L'irruption de l'ancien primaire supérieur dans le second degré n'aurait pas suffi à lui seul pour renverser le modèle des humanités classiques, qui demeure d'ailleurs la référence pour les lycées et collèges jusque dans années 1960. L'ancien enseignement secondaire aurait pu en effet se maintenir comme une filière d'élite réservée à l'ancienne clientèle des lycées, à l'intérieur d'un second degré démocratisé. S'il n'en a pas été ainsi, ou pas tout à fait, c'est qu'un autre phénomène est intervenu entre-temps. Ce phénomène, c'est la montée en puissance au lendemain de la guerre d'un nouveau modèle d'éducation. Ce modèle néo-scientiste, qui postule un lien de cause à effet entre le développement scientifique et le développement économique d'un pays, donne à l'enseignement secondaire comme mission prioritaire de former les cadres scientifiques et techniques dont la France a besoin.

Dès le milieu des années 1950, la direction de l'enseignement du second degré souligne « l'urgente nécessité pour notre pays d'orienter le plus grand nombre d'élèves vers les études scientifiques, afin de former les techniciens et les chercheurs dont il a besoin, tout en maintenant à notre enseignement secondaire sa valeur formatrice traditionnelle » (circulaire du 20 mars 1957, reproduite dans [Brunold, 1960]). Pour concilier cette nouvelle politique de formation avec l'orientation classique de l'enseignement secondaire, le ministère crée en 1954 la section A', section élitiste à la fois gréco-latine et scientifique, qui sera pendant une dizaine d'années la voie royale pour l'admission dans les grandes écoles scientifiques (jusqu'en 1970, les élèves qui ont fait du latin et du grec bénéficient d'une majoration de points au concours d'admission à l'École polytechnique).

Si le prestige des humanités classiques décline peu à peu au cours des années 1950, l'édifice, déjà vermoulu, tient à peu près jusque dans les premières années de la V^e République. Il s'effondre brutalement entre 1963 et 1968. Deux événements lui portent alors le coup de grâce : d'une part, la naissance d'une véritable école moyenne, lorsque les anciens cours complémentaires, devenus CEG en 1959, sont intégrés dans le second degré et que sont créés les CES en 1963, d'autre part la croissance très rapide et la rénovation de l'enseignement supérieur. L'enseignement des langues anciennes perd en quelques années les positions qu'il occupait dans les lycées et collèges. Dans le premier cycle, où le nombre des classes modernes l'emporte dorénavant très largement sur les classiques, le début du latin est renvoyé en 4^e en 1969. Dans le second cycle, la réforme de 1965, qui crée les sections A, B, C et D de l'enseignement général, marginalise l'étude des langues anciennes, surtout celle du grec.

En même temps, l'enseignement supérieur est profondément réformé. Les programmes des licences de sciences et d'enseignement dans les grandes écoles sont modernisés. En médecine, on assiste à une élévation très sensible du niveau scientifique exigé des étudiants, qui s'effectue aux dépens des bacheliers de philosophie. Même les sciences humaines (économie, sociologie, etc.), en rapide développement dans l'enseignement supérieur, tourment le dos aux études littéraires et prennent modèle sur les sciences exactes. Ce mouvement général contribue à valoriser l'enseignement scientifique au niveau des lycées et collèges, et principalement celui des mathématiques.

Lorsqu'est engagée la réforme des « mathématiques modernes », dont les prémices remontent aux années Cinquante, mais qui n'est mise en route officiellement qu'en 1967, le contexte est très différent de celui de 1902 [Charlot, 1991]. Au début du siècle, il s'agissait de reconnaître aux sciences une valeur éducative égale sinon supérieure à celle des lettres, pour rénover la culture secondaire, mais sans remettre en cause les caractères fondamentaux d'un enseignement secondaire très élitiste. Dans les années Soixante, le modèle des humanités est mort, tant dans sa version moderne et scientifique que dans sa version classique. L'enseignement secondaire s'est ouvert à une clientèle nouvelle qui ne se reconnaît plus dans l'ancienne culture des élites, surtout au niveau du collège. En même temps, l'enseignement supérieur, en plein développement, exige des futurs étudiants, des connaissances nouvelles, en particulier dans les sciences. Dans cette situation totalement inédite, avec un public d'élèves et un corps enseignant de plus en plus hétérogènes, comment définir les compétences que le secondaire a vocation à enseigner ? La question, qui s'est posée dans tous les pays confrontés à la démocratisation de l'enseignement secondaire, est d'une difficulté immense et nous ne prétendons pas y répondre. Mais une réforme des études pilotée par l'enseignement supérieur, en fonction de ses intérêts et de ses préoccupations et sans vision claire des missions propres du secondaire, était sans doute vouée dès le départ à l'échec, quelle que soit sa légitimité scientifique et la bonne volonté de ses promoteurs.

Bibliographie

- Baudelot (C.) et Establet (R.), *L'École capitaliste en France*, Paris, François Maspéro, 1971.
- Belhoste (B.), *Les Sciences dans l'enseignement secondaire français. Textes officiels*, tome 1 : 1789-1914, Paris, Économica et INRP, 1995.
- Berthelot (M.), « La crise de l'enseignement secondaire. La science éducatrice », *Revue des deux mondes*, 15 mars 1891, pp. 338-374.
- Bourdieu (P.) et Passeron (J.-C.), *La Reproduction, éléments pour une théorie du système d'enseignement*, Paris, Éditions de Minuit, 1970.
- Briand (J.-P.) et Chapoulié (J.-M.), *Les Collèges du peuple. L'enseignement primaire supérieur et le développement de la scolarisation prolongée sous la Troisième République*, Paris, INRP, Éditions du Cnrs et École normale supérieure de Fontenay-Saint-Cloud, 1992.

- Brunold (Ch.), *L'Enseignement scientifique du second degré. Contribution à la diffusion de l'esprit et des méthodes de cet enseignement*, Paris, Publications de l'IPN, brochure n° 146, 1960.
- Charlot (B.), « Histoire d'une réforme : idées directrices et contexte », dans Bkouche (R.), Charlot (B.), Rouche (N.), *Faire des mathématiques : le plaisir du sens*, Paris, Armand Colin, 1991.
- Compère (M.-M.), *Du Collège au lycée (1500-1850). Généalogie de l'enseignement secondaire français*, Paris, Gallimard, 1985, coll. Archives.
- Couyba (Ch.), « Enseignement classique et enseignement moderne. Plans d'études et programmes » in Chambre des députés, *Enquête sur l'enseignement secondaire*, tome 6, *Rapport général fait au nom de la commission de l'enseignement*, session extraordinaire de 1899, n° 1196, Paris, 1899.
- Durkheim (É.), *L'Évolution pédagogique en France*, Paris, Presses Universitaires de France, 1938.
- Falucci (C.), *L'Humanisme dans l'enseignement secondaire en France au XIX^e siècle*, thèse de lettres, Toulouse, Privat, 1939.
- Hulin-Jung (N.), *L'Organisation de l'enseignement des sciences : la voie ouverte par le Second Empire*, Paris, Éditions du CTHS, 1989.
- Ministère de l'Instruction publique et des Beaux-arts, *Instructions relatives à l'application des programmes de l'enseignement secondaire dans les lycées et collèges* (2 septembre 1925), Paris, Vuibert, 1925.
- Ministère de l'Éducation nationale, *Instructions relatives à l'application des arrêtés du 30 août 1937 et du 11 avril 1938 fixant les programmes de l'Enseignement secondaire et de l'Enseignement primaire supérieur* (30 septembre 1938), Paris, Vuibert, 1938.
- Prost (A.), *Histoire de l'enseignement secondaire en France, 1800-1967*, Paris, Armand Colin, 1968.
- Prost (A.), *L'Enseignement s'est-il démocratisé ? Les élèves des lycées et collèges de l'agglomération d'Orléans de 1945 à 1980*, Paris, Presses Universitaires de France, 1986.
- Prost (A.), *Éducation, société et politiques. Une histoire de l'enseignement en France de 1945 à nos jours*, Paris, Seuil, 1992.
- Ribot (A.), *La Réforme de l'enseignement secondaire*, Paris, Armand Colin, 1901.

Auguste Comte, le positivisme et l'éducation

Dominique LECOURT

Le positivisme apparaît en France comme une doctrine philosophique dans les soixante leçons du *Cours de philosophie positive* professées et publiées par Auguste Comte de 1830 à 1842. Pour apprécier son impact immense sur la pensée des savants, des enseignants et des hommes politiques de la III^e République, souvent souligné par les historiens, il convient de bien saisir la *logique d'ensemble* du système bâti par ce polytechnicien en rupture d'École.

Que signifie d'abord le mot *positif* dont il fait son emblème ? L'explication la plus ramassée s'en trouve dans le *Discours préliminaire* qu'il a placé en tête de son *Traité philosophique d'Astronomie populaire* publié en 1844.

Le mot *positif* désigne d'abord, écrit-il, le réel par opposition au chimérique. Cette opposition renvoie à une thèse fondamentale longuement argumentée dans le *Cours* : l'esprit humain aux prises avec les phénomènes a manifesté au cours de l'histoire qu'il pouvait s'y prendre de deux façons différentes pour les interroger. La première consiste à s'interroger sur leurs *causes* et a donné lieu à deux types d'interrogations également chimériques : le premier de type *théologique* — on cherche des puissances surnaturelles personnifiées comme responsables de ce qui est observé, le second de type *métaphysique* : on les impute maintenant à des entités abstraites. La seconde manière d'interroger les phénomènes consiste à « écarter comme nécessairement vaine toute recherche quelconque des causes proprement dites, soit premières, soit finales, pour se borner à étudier les *relations invariables* qui constituent les lois effectives de tous les phénomènes observables ». L'esprit se contente alors de « l'appréciation systématique de ce qui est ». Comte ne se lasse pas de répéter à ses divers auditoires que l'esprit pour devenir positif doit se détourner de la question du « pourquoi » pour se limiter au « comment » des phénomènes ; qu'il doit cesser d'espérer ou de prétendre rendre compte de leur mode de production et de leur nature intime. Sous cette condition, en se détournant du chimérique, l'esprit se donne le pouvoir de la *prévision* rationnelle, « principal caractère de la vraie science ». Cette prévision peut alors se traduire dans la pratique par une « prévoyance » elle-même rationnelle et donner lieu à des « applications » : d'où que

« positif » puisse être entendu comme *utile* par opposition à *oiseux* ; de là aussi qu'il enveloppe l'opposition de la *certitude* à l'indécision, et celle du *précis* au *vague*.

Le renoncement à ce type de questions signe l'avènement de l'esprit positif, lequel s'est d'abord manifesté à propos des phénomènes « les plus simples », objets de la mathématique et de l'astronomie ; puis a difficilement conquis d'autres phénomènes plus complexes, physico-chimiques et, plus récemment, biologiques.

La philosophie positive se donne pour tâche de prendre acte de cette marche progressive et de l'achever en étendant le règne de l'esprit positif aux phénomènes les plus complexes : les phénomènes sociaux.

De ces rapides indications, on peut tirer d'entrée de jeu deux conclusions. La première, c'est que le positivisme d'Auguste Comte *n'est pas un empirisme* : il n'explique nullement en effet la genèse de la connaissance à partir des données des sens ; ce qui est premier, à ses yeux, c'est la « spéculation » sur les causes qui seule pouvait « stimuler suffisamment le premier essor contemplatif ». Pour connaître, il faut observer ; mais pour observer il faut une théorie quelconque. La deuxième, c'est que le positivisme établit une *hiérarchie des sciences* qui sont logiquement et chronologiquement ordonnées selon le degré de complexité de leurs objets. Comte distingue six grands domaines d'objets : mathématiques - astronomiques - physiques - chimiques - biologiques - sociologiques. Cette hiérarchie fermement établie lui permet de dénoncer tout *matérialisme* comme tentation d'expliquer le supérieur par l'inférieur.

Mais le point de vue de Comte ne se présente nullement comme descriptif. Il ne s'agit pas à proprement parler d'un travail d'historien des sciences. En témoigne le sens du mot positif sur lequel il porte particulièrement l'accent : son opposition à « négatif », en ce que « la vraie philosophie moderne est destinée, par sa nature, non à détruire mais à organiser ».

Le *Cours de philosophie positive* s'annonce comme une oeuvre de combat, comme l'instrument d'une « opération philosophique » visant à mettre fin à « l'anarchie intellectuelle, morale et politique » qui s'est installée en Europe du fait de la prééminence persistante, depuis la Révolution française, d'une philosophie négative, c'est-à-dire selon lui destructive, incapable de promouvoir un état stable de l'organisation sociale.

Il faut donc ajouter que le positivisme de Comte ne trouve sa profonde cohérence que dans une philosophie de l'histoire. Or, cette philosophie offre cette particularité d'annoncer la *fin de l'histoire* : l'accession de la sociologie au rang de science positive marque, à ses yeux, le terme d'un processus amorcé dans la Grèce antique.

Mais, on ne le remarque pas assez, cette fin doit permettre à ses yeux de conférer à l'ensemble des connaissances positives l'unité qui leur manquait. L'opération d'Auguste Comte porte donc en elle-même le projet de refondre l'ensemble des sciences

existantes, en les subordonnant aux leçons de la dernière venue — la science supérieure, la sociologie.

Ce projet, affirmé avec vigueur dans les trois dernières leçons, à la lecture desquelles il semble que beaucoup d'interprètes ne parviennent pas, impliquent un certain nombre de prises de positions concrètes dont certaines visent explicitement une réforme de l'éducation.

Pour en comprendre le sens, il faut encore ajouter que la philosophie de l'histoire de Comte, en pleine cohérence avec la thèse qu'il avance d'une fin de l'histoire, présente une allure *circulaire* : ce qui se réalise à la fin était virtuellement présent dès l'origine. Ainsi, dès l'origine se manifeste la propension de l'esprit humain à la *généralité* de ses explications : ce « besoin élémentaire qu'éprouve toujours notre intelligence d'étendre et de lier, autant que possible, ses connaissances réelles ». Or, cette propension qui se déploie dans l'état théologique s'est emparée des premiers résultats obtenus par l'esprit positif en mathématiques pour procéder à des « systématisations chimériques ». On le voit encore au XVII^e siècle avec « la grande construction cartésienne » qui « érigeait la géométrie et la mécanique en fondements directs de la science universelle ». Mais le fait que Descartes ait exclu de son champ les « études morales et sociales » suffirait à prouver, aux yeux de Comte, « le défaut radical de véritable universalité propre à un tel point de vue », cependant que la tentative de l'étendre aux spéculations biologiques y a retardé l'avènement de l'esprit positif. D'où le fait qu'en ces domaines, le point de vue théologique et métaphysique ait pu persister pendant deux siècles.

D'où ce jugement sur les mathématiques : leur titre philosophique essentiel tient à ce que « la véritable logique scientifique y a nécessairement trouvé son essor primordial » ; mais du fait de l'extrême simplicité des phénomènes géométriques et même mécaniques, le point de vue des mathématiques reste « abstraitement universel ». Or, les mathématiciens ont commis l'erreur de vouloir « gouverner des recherches » qu'ils pouvaient seulement « seconder ». Il est temps, il est urgent, répète Comte, de mettre un terme à « la vicieuse prépondérance des géomètres » qui va jusqu'à vouloir traiter des phénomènes sociaux par une « branche spéciale de l'analyse, le prétendu calcul des changes, que la raison publique flétrira bientôt comme une honteuse aberration scientifique ».

Non seulement l'avènement de la sociologie comme science positive s'en est trouvé retardé, mais même « depuis le développement d'ailleurs si récent de la mécanique céleste, les astronomes proprement dits, tels que les Bradley, les Mayer, les Lacaille, les Herschel, les Delambre, les Olbers... ont souvent souffert de l'irrationnelle présomption des géomètres ».

Comte dénonce l'empire de cette « utopie métaphysique » et annonce son déclin « sous l'essor d'une *éducation convenablement rationnelle de la classe spéculative* », grâce à laquelle « la suprématie normale de l'esprit mathématique sera renfermée entre

les limites philosophiques du vrai domaine mathématique ». Mais cette éducation, il faudra l'imposer contre la « domination spéculative oppressive des géomètres » dans les académies. On mettra fin ainsi à « la tendance du point de vue le plus simple et le plus incomplet à prévaloir constamment sur le plus complexe et le plus étendu ».

Comment se présentera cette éducation ? « L'éducation individuelle, écrit Comte, doit essentiellement reproduire celle de l'espèce, au moins dans chacune de ses grandes phases successives ». Chacun devra donc reprendre, dans l'ordre hiérarchique, « l'étude des diverses branches essentielles de la philosophie naturelle ».

Dans ces conditions, l'apprentissage des mathématiques aura le premier rang ; il constituera « la base normale de toute saine éducation logique », puisque l'élève y trouvera « une immense accumulation de moyens logiques tout préparés pour les besoins ultérieurs de déduction et de coordination des divers cas scientifiques ». Et, en mathématiques, la géométrie conservera la préséance. N'a-t-elle pas constitué « le berceau de la positivité rationnelle » ? Mais, rappelle Comte, « un berceau ne saurait être un trône ». À faire du berceau un trône, à prendre le degré initial pour le degré final, on est arrivé à ce que « il n'y a pas d'enseignement scientifique aussi peu rationnel, d'ordinaire, que l'enseignement mathématique, d'après la faible importance qu'on y attache à l'esprit général de la science ».

Les mathématiques, remises à leur juste place, devront ensuite céder le pas à une « autre phase générale », celle des études astronomiques qui permettent l'« essor distinct et direct de l'esprit d'observation ». « C'est là que dans l'avenir comme dans le passé la raison humaine doit constamment trouver le premier sentiment philosophique des lois naturelles », mais aussi celui de « la théorie générale des hypothèses vraiment scientifiques ». Aucune autre science ne pouvait, selon Comte, « manifester avec une aussi familière évidence, cette *prévision rationnelle* qui, rappelle-t-il, constitue, à tous égards, le principal caractère permanent de nos théories positives ».

À cette seconde phase, succèdera la phase physico-chimique, qui doit trouver dans la précédente à la fois « son type logique et sa base scientifique, afin de compléter l'étude abstraite du monde extérieur ». Avec les études physico-chimiques, on découvrira « un nouveau mode essentiel de l'art d'observer », en passant de l'observation proprement dite à l'expérimentation. C'est en physique que la « saine philosophie » placera le règne essentiel de la méthode expérimentale.

En passant de la nature inerte à la nature vivante, la nature du sujet exige que l'on renverse la démarche antérieure : d'analytique, elle devra se faire synthétique. La méthode d'observation sera ici *comparative*.

Mais l'ensemble de ce cursus, il ne faut jamais l'oublier, se trouve finalisé par « l'étude de l'humanité » envers laquelle toutes les autres apparaissent comme d'« indispensables préambules ». Un autre procédé fondamental s'y révèle : le « mode historique » constituant l'investigation non par simple comparaison, mais par filiation

graduelle. Avec l'avènement de la sociologie, l'esprit positif parvient à son « état définitif » : tous les absolus auront été chassés de la pensée humaine. Dès lors, l'opposition entre philosophie naturelle et philosophie morale qui a marqué l'histoire de l'Occident depuis Platon et Aristote perd sa raison d'être. Placé sous la « présidence » de la sociologie, l'éducation scientifique contribue à l'établissement de la solidarité entre les hommes, elle assure parmi eux la « prépondérance normale de la morale ».

Ce système comportait comme sa promesse l'élaboration non seulement d'une politique positive mais d'une religion positive — annoncée dans la 46^e leçon du *Cours* comme la première « religion démontrée ». La fondation en 1849 de l'Église Universelle de la Religion de l'Humanité, le ralliement d'Auguste Comte au Second Empire puis la publication en septembre 1852 du *Catéchisme positiviste*, suivi en 1855 de l'*Appel aux Conservateurs* provoquent une scission parmi ses disciples. Il meurt en 1857.

Dès 1852, le philosophe Émile Littré prend ses distances, lui qui s'était fait le propagandiste de la philosophie positive et qui en 1849 dans *Le National* avait pris le risque au lendemain de la révolution de caractériser le positivisme comme « le socialisme explicite, déterminé, systématique ». En 1863, dans un livre intitulé *Auguste Comte et la philosophie positive*, Littré périodise la carrière intellectuelle du fondateur pour n'en retenir que la partie du système qui correspond aux renouvellements apportés en philosophie et histoire des sciences. S'il en retient également la philosophie de l'histoire et « les découvertes sociologiques », il les coupe elles-mêmes de leur finalité politique, et propose de les compléter par une économie politique et une psychologie positive, ce qui eût horrifié Auguste Comte.

La III^e République a hérité de ce positivisme-là. Un positivisme amputé qui s'affirme politiquement républicain et anti-clérical, et retient de Comte l'idée que la réforme sociale doit s'appuyer sur une réforme intellectuelle organisée autour de la *méthode* des sciences, laquelle récuse tout dogme théologique ou métaphysique.

Plus précisément, en philosophie des sciences, on ne se lassera pas de commenter les propositions majeures des 2 premières leçons du *Cours* : il faut renoncer à chercher les causes des phénomènes, soumettre l'imagination à l'observation pour formuler des *lois* qui traduisent les relations régulières de similitude ou de succession entre les *faits*, de façon à prévoir ce qui sera en fonction de ce qui est. Toute hypothèse scientifique, afin d'être réellement valable doit exclusivement porter sur ces lois qui apparaissent comme des « faits généraux », et jamais sur leur mode de production.

Même si ni Henri Poincaré, ni Pierre Duhem ne sont à proprement parler positivistes, ils ne s'en accordent pas moins entre eux et avec le positivisme pour réduire la théorie physique à son armature abstraite, en lui refusant toute portée ontologique.

Mais le positivisme aura connu alors, hors de France, un autre destin épistémologique avec l'« empiriocriticisme » de Ernst Mach qui, contre Kant, l'inscrit à sa façon dans la tradition empiriste-sensualiste anglaise où le maintient le Cercle de Vienne. Mais ceci est une autre histoire, bien qu'elle soit venue plus d'une fois croiser la nôtre.

Bibliographie

- Comte (A.), *Cours de philosophie positive*, Paris, 1830-1842 ; rééd. Paris, Hermann, 1975.
- Comte (A.), *Traité philosophique d'astronomie populaire*, Paris, 1844 ; rééd. Paris, Fayard, 1985.
- Comte (A.), *Discours sur l'esprit positif*, Paris, 1844 ; rééd. Paris, Vrin, 1995.
- Comte (A.), *Catéchisme positiviste*, Paris, 1852 ; rééd. Paris, Garnier-Flammarion, 1966.
- Littré (É.), *Auguste Comte et la philosophie positive*, Paris, Hachette, 1863.

La reine mathématique et sa petite sœur

Michel ATTEN

Nous nous proposons de mettre en lumière, à propos des mathématiques et de la physique, première des sciences baconiennes à être mathématisée, la conception que les savants français de la seconde moitié du XIX^e siècle ont de la science qu'ils pratiquent. Cette conception reste dominante au moins jusqu'au milieu du XX^e siècle, les scientifiques s'accordant encore aujourd'hui avec les historiens pour reconnaître la place privilégiée occupée par les mathématiques dans la recherche et l'enseignement des sciences physiques en France [De Gennes, Badoz, 1994, p. 235 et suivantes]. Encore faut-il que nous précisions ce que nous entendons par « les mathématiques » et par « la physique », car la signification de ces termes a varié selon les époques. Au XIX^e siècle, les sciences mathématiques désignent les spécialités classiques (géométrie, algèbre, arithmétique, analyse...), ainsi que les savoirs empiriques mathématisés comme la mécanique rationnelle, la mécanique céleste et la physique mathématique ; les sciences physiques désignent les sciences expérimentales ou baconiennes (physique, chimie, sciences naturelles) [Kuhn, 1990, pp. 69-110].

Pour de nombreux historiens, l'apparition en France d'une nouvelle pratique, baptisée après-coup physique mathématique, dans les deux premières décennies du XIX^e siècle en France, marque la naissance de la physique moderne. De plus, il est admis en général que la physique mathématique, incontestablement née en France (il suffit de rappeler la liste classique des grands noms : Laplace, Fourier, S. Carnot, Lagrange, Poisson, Ampère, Fresnel...), voit son développement s'essouffler dans ce pays avant de resurgir en Allemagne et en Grande-Bretagne. L'interruption, en France, de la série des « grands hommes » qui ont fait la physique du XIX^e siècle a conduit à la thèse fortement controversée du « déclin de la science française » [Herivel, 1966 ; Fox and Weisz, 1980 ; Paul, 1986].

Plutôt que de reprendre à notre compte des appréciations anachroniques, nous voudrions ici examiner comment, dans le contexte d'époque, les rapports entre mathématiques et physique s'articulent avec les conceptions et les pratiques des acteurs (physiciens-mathématiciens et physiciens expérimentateurs). Dans le mouvement de

longue durée de mathématisation de la physique, nous nous arrêterons sur la période 1850-1870, qui nous semble un moment décisif. C'est alors que se forme le consensus entre les principaux mathématiciens et les physiciens français sur le rôle respectif des deux disciplines. Cette période a de plus l'avantage de se situer chronologiquement en plein milieu du soi-disant déclin de la science française (encore que les tenants de cette thèse ne s'accordent guère pour en dater le début et la fin).

DE LA CONSTITUTION D'UNE SCIENCE

Qu'est-ce qu'une « science » pour les acteurs de la physique de la période considérée (1850-1870) ? Certains manuels l'explicitent d'une façon qui nous paraît exemplaire. Prenons par exemple le *Cours de physique de l'École polytechnique* [Jamin, 1858-59], ouvrage majeur compte tenu du poids de cette école et du fait qu'il est la somme des enseignements de deux physiciens importants de la période, J. Jamin et E. Verdet. Réédité à quatre reprises jusqu'à la fin du siècle, il est alors une référence obligée. On y lit que les mathématiques tiennent une place prépondérante, décisive dans les sciences physiques à cause de la mathématisation croissante des sciences expérimentales. Mais elles sont davantage. Si les phénomènes et les lois physiques de la nature sont mis en évidence par les physiciens expérimentateurs, c'est en effet aux mathématiciens qu'il revient d'en justifier la forme mathématisée, de les coordonner et de construire les théories.

Comme l'assure J. Jamin, professeur de physique à l'École polytechnique (1852-1880) et à la Sorbonne (1863-1885), « l'expérimentation permet d'établir les lois physiques [...] et, quand elles sont connues, il n'y a plus qu'à demander aux mathématiques le développement rationnel de toutes leurs conséquences » [Jamin, 1858-1859, tome 1, p. 6]. Dans un domaine donné de la physique, poursuit J. Jamin, « si toutes les lois étaient connues, on pourrait abandonner la marche expérimentale qui a servi à les découvrir et, en changeant de méthode, il n'y aurait plus qu'à descendre des principes à leur conséquences. Nous sommes loin [pour une science quelconque] d'en être arrivé là ; mais c'est un but qu'il est raisonnable de se proposer [...] et auquel on est arrivé déjà pour une science au moins, qui est la Mécanique rationnelle ». Enfin, « on peut dire que le degré d'avancement d'une science se mesure à l'emploi qu'elle fait des Mathématiques » [*ibid.*, p. 7]. On trouve les mêmes principes au début du cours autographié dispensé dans la même école par A. Cornu à partir de 1867 [Cornu, 1881-1883]. Une telle conception implique une série de conséquences qu'il convient d'analyser.

Elle entraîne d'abord une division très tranchée du travail entre physiciens (sous-entendu expérimentateurs) et mathématiciens. A. Cornu explicite cette division en découpant le travail en quatre étapes : dans les trois premières, on voit les physiciens occupés d'abord « à l'observation pure et simple, sans idées préconçues sur les causes et les lois » ; puis à l'étude systématique par l'observation et la *mesure*, à l'aide

d'instruments ; enfin, à la recherche des *lois empiriques* auxquelles le phénomène obéit, « traductions mathématiques d'un phénomène physique assez simple mais qui ne comportent aucune idée sur la nature du phénomène », c'est-à-dire à l'élaboration de formules. Telle est la tâche du physicien et là s'arrête son savoir-faire. Commence alors le travail du mathématicien, en général spécialiste de physique mathématique, en charge de la quatrième période, « la synthèse mathématique et mécanique » [Cornu, 1881-82, p. 2, termes soulignés dans son cours].

Nul doute pour J. Bertrand, professeur de physique générale et mathématique au Collège de France (1862-1900), qu'une théorie physique doit être un texte mathématique décliné sous forme de théorèmes qui s'enchaînent. C'est ainsi qu'il expose dans le *Journal de physique* de 1874 sa version rationalisée de l'établissement de la loi électrodynamique d'Ampère [Bertrand, 1874]. Mais c'est également la pratique de C. Briot, professeur de physique mathématique à la Sorbonne et de H. Résal, professeur de mécanique à l'École polytechnique. Après avoir exposé quelques résultats expérimentaux sous la forme de faits établis, celui-ci décline les théories d'Ampère ou de Weber sous la forme d'un texte mathématique [Résal, 1882]. De même, la notion d'expérimentation ne semble pas être problématique dans la définition donnée par J. Jamin ou A. Cornu. Les physiciens savent ce qu'est une expérimentation. Ils sont les seuls détenteurs d'un savoir-faire qui est donné comme transparent.

Cette séparation entre l'établissement des phénomènes et des lois et le développement des « théories » repose sur un inductivisme radical étroitement lié à une temporalité linéaire, la science passant par les diverses étapes d'un processus considéré comme fondamental tant pour la recherche que pour l'enseignement. L'exemple canonique choisi par A. Cornu est celui des progrès de l'astronomie, depuis l'Antiquité, qu'il divise en quatre périodes, la quatrième (celle de la synthèse mathématique et mécanique) s'ouvrant avec Newton et se déployant avec Laplace. Autre exemple : une des critiques essentielles que A. Cornu, un des artisans de la traduction en français du *Traité d'électricité et de magnétisme* de Maxwell, adresse à cette oeuvre concerne la méthode historique. Cela est explicite pour le chapitre sur la force électromagnétique, « l'un des plus intéressants de l'Ouvrage [...] [quoique] l'enchaînement des propositions y soit très difficile à suivre [...] Les difficultés proviennent de ce que l'auteur ne suit pas l'ordre des découvertes et n'accorde pas à la loi de Laplace l'importance fondamentale qu'elle mérite [...] » [Cornu, 1887].

Les conceptions et les pratiques de ces physiciens s'appuient systématiquement sur deux modèles de sciences, la mécanique rationnelle et la mécanique céleste (ou astronomie). Reprenons le propos de J. Jamin : la mécanique rationnelle est, au départ, une science d'observation « car on ne peut deviner *a priori* les lois de l'action des forces sur un corps [...], mais à cause de leur simplicité et de leur petit nombre, les lois élémentaires de cette science ont été bientôt découvertes et, depuis qu'on les connaît, la Mécanique est devenue science rationnelle, elle est exclusivement mathématique et

se passe de l'expérience » [Jamin, 1858, p. 4]. C'est une fois qu'un corps de savoir acquiert ces caractéristiques qu'il devient une science, renchérit Cornu : « quand une branche de la "philosophie naturelle", suivant l'expression de Newton, a passé par les quatre périodes, elle se détache pour former une branche » [Cornu, 1887]. La mathématisation d'un domaine de savoir lui confère le statut de science. Notons au passage le glissement sémantique faisant passer de « sciences physiques » à « science » tout court qui permet de généraliser (de façon implicite) l'exemple de la mécanique et de l'astronomie à toutes les sciences baconiennes.

L'astronomie et la mécanique rationnelle ont atteint au milieu du XIX^e siècle un tel développement qu'elles sont devenues des disciplines mathématiques autonomes à l'École polytechnique, mais également à la Sorbonne ou au Collège de France où des chaires spécifiques leur sont consacrées. Elles fournissent en même temps un principe d'organisation au cours de physique dispensé à l'École polytechnique : A. Cornu, par exemple, commence par le plus empirique, chaleur et électricité, en première année, et finit en seconde année par les domaines les plus proches de la rationalité que sont l'acoustique et l'optique : « cette année [la deuxième de l'école], nous allons étudier deux autres ordres de phénomènes dont la connaissance est beaucoup plus complète et dont l'ensemble est tout près de constituer une science rationnelle : le *son* et la *lumière* » [Cornu, 1881-1883, p. 2]. Les mathématiques ne sont donc pas seulement un instrument organisant le savoir empirique. Elles deviennent le critère de légitimation du savoir scientifique. Ce sont les mathématiciens qui « décident » si un champ empirique a accédé au statut de science et s'il mérite une chaire spécifique.

La dernière caractéristique qu'impliquent de telles conceptions et de telles pratiques n'est pas la moins importante. La constitution d'une science comme résultat d'un processus temporel assigne aux deux groupes d'acteurs des places déterminées : les physiciens, chargés de mettre en évidence des phénomènes, doivent nécessairement se situer sur le « front avancé », sur le terrain des phénomènes nouveaux. Par contre, les mathématiciens doivent attendre que les phénomènes soient bien stabilisés, que leur lois soient connues et bien établies avant de s'atteler au travail de théorisation. Ainsi trouve-t-on davantage de mathématiciens français impliqués dans des développements en optique (A. Cauchy, C. Briot, J. Boussinesq, E. Mathieu, E. Sarrau...) qu'en électricité. Ceci est la conséquence directe d'une conception accumulative des sciences largement partagée.

DE LA CRISTALLISATION SOCIALE DE CES CONCEPTIONS

Cette conception, ces pratiques qui organisent le savoir par étapes successives de l'empirique vers la science sont indissociables de leur cristallisation sociale. Qu'il s'agisse des chaires, des collèges invisibles, des journaux et revues, des sociétés savantes, tout concourt à renforcer cette acception de la physique dans la deuxième moitié du XIX^e siècle.

La physique — la césure avec la chimie est ici radicale — est enseignée dans deux types de chaires : les chaires de physique expérimentale et les chaires spécialisées relevant des mathématiques (physique-mathématique, mécanique, astronomie). Les principaux établissements parisiens (Collège de France, École polytechnique, Sorbonne, École normale supérieure...) et les facultés de province les plus développées (Nancy, par exemple qui possède une chaire de physique mathématique confiée à E. Mathieu) respectent cette division. Chaque type relève de deux groupes d'acteurs bien séparés, les mathématiciens et les physiciens, comme le montre l'élection de H. Poincaré à la chaire de physique mathématique de la Sorbonne en 1886, malgré l'opposition de certains physiciens, grâce à un vote groupé des professeurs de mathématiques. La seule exception à cette règle que nous ayons trouvée dans la seconde moitié du XIX^e siècle est celle du physicien G. Lippmann, élu pour un an sur cette même chaire de la Sorbonne ... dans l'attente de la libération d'une chaire de physique dans la même faculté [Atten, 1988].

Cette division s'institutionnalise également à travers les journaux scientifiques. Certains mélangent les genres, comme les *Comptes rendus* de l'Académie des sciences, mais les articles des mathématiciens y paraissent sous la rubrique *Physique mathématique* et ceux des physiciens sous celle de *Physique*. Si l'on excepte le cas particulier des *Annales scientifiques de l'École normale supérieure* (revue promotionnelle de cette école lancée par L. Pasteur et qui ne publie que les travaux de professeurs ou d'anciens élèves), le seul organe français à publier des articles proposant ou discutant des théories physiques, dans les années 1850-1870, est le *Journal de mathématiques pures et appliquées* dit Journal de Liouville. Les physiciens s'expriment dans les *Annales de chimie et de physique* et, après 1872, dans le *Journal de physique théorique et appliquée* qui ne publie guère de travaux théoriques. Il en est de même pour les manuels. Les traités de physique mathématique exposent les développements mathématiques après un bref rappel des résultats expérimentaux (résumés des faits admis sous forme de propositions fondamentales) et des hypothèses ; les traités de physique décrivent dispositifs expérimentaux, appareils de mesures et résultats, avec parfois une première partie plus théorique concernant les parties acquises de la science. Lorsque sont constituées la Société mathématique de France et la Société française de physique, chacun rejoint sa société à l'exception de quelques-uns qui s'inscrivent à l'une et à l'autre (surtout des physiciens-mathématiciens).

Presque tous les acteurs français de cette période intervenant dans le champ des théories physiques (J. Bertrand, C. Briot, E. Mathieu, J. Boussinesq, E. Sarrau, H. Résal...) sont des mathématiciens de formation et de pratique. Ces théoriciens qui continuent à publier des articles de pures mathématiques parallèlement à leurs travaux de physique mathématique, ne touchent jamais un appareil de mesure, un dispositif concret. En revanche, ils développent, au-delà du domaine habituel de l'arithmétique, de l'algèbre, de la géométrie, de l'analyse..., les nouveaux champs conquis par les mathématiques : mécanique rationnelle, mécanique céleste, hydrodynamique, théories

optiques de plus en plus mathématisées à la suite de Fresnel... Les physiciens, qui peuvent être de brillants expérimentateurs reconnus bien au-delà des frontières, comme E. Verdet, E. Becquerel, J. Jamin, A. Cornu, P. Desains, V. Regnault... ne s'aventurent qu'avec de grandes précautions dans le champ des théories.

Bien évidemment, une telle description mériterait quelques nuances. Elle s'applique aux principaux acteurs de la physique française qui travaillent et enseignent dans les grandes institutions parisiennes : Collège de France, Sorbonne, École polytechnique, Muséum, École normale supérieure... Nous avons montré ailleurs l'existence de quelques exceptions, dont la plus notable est celle du groupe des ingénieurs télégraphistes qui, proches de certains milieux saints-simoniens et impliqués dans une pratique d'ingénierie, font leur étendard de la formule « on ne peut séparer la théorie de la pratique ; sans la première, on marche en aveugle, sans la seconde, on ne marche pas ». Mais ces hommes sont institutionnellement marginaux ; ils ont une aire d'influence sans commune mesure avec celle des noms cités [Atten, 1992, p.109].

UNE HYPOTHÈSE DE TRAVAIL

Ce tableau révèle, pensons-nous, la mise en place d'un type d'organisation de la physique spécifique à la France. Ce que l'on appelle physique ne recouvre ni les mêmes questions, ni les mêmes pratiques en France, en Allemagne ou en Grande-Bretagne par exemple, et les découpages y sont différents. Que certains utilisent le terme de physique mathématique et d'autres celui de philosophie naturelle ne se réduit pas à de simples usages linguistiques qui recouvriraient des réalités quasi-identiques.

L'émergence en France à la fin du XVIII^e et au début du XIX^e siècle d'une nouvelle pratique, la mathématisation de la physique, semble portée au départ par des hommes férus de mathématiques savantes mais impliqués également dans d'autres pratiques. Enseignant les mathématiques, la physique ou les deux disciplines selon les époques, impliqués dans une pratique d'ingénieurs de l'État, poursuivant des recherches de pures mathématiques mais réalisant également des expériences d'électricité, d'optique... ces acteurs ne sont, semble-t-il, en rien des spécialistes. C'est évident pour Coulomb, Ampère, Fresnel, mais également pour Laplace, très lié à Lavoisier puis à Berthollet. Notre hypothèse tient donc à distinguer l'apparition au début du XIX^e siècle d'une nouvelle pratique, marquée par l'utilisation croissante de mathématiques complexes dans des problèmes de physique, de sa cristallisation au milieu du siècle en une discipline à part entière, la physique mathématique. Cette cristallisation est le terme d'un processus long, complexe, traversé de courants, de controverses. Elle débouche sur la mainmise intellectuelle et institutionnelle des mathématiciens sur cette discipline et sur certains secteurs de la physique.

En France, au milieu du XIX^e siècle, les mathématiques sont placées au sommet de la hiérarchie des sciences. Les mathématiciens de la deuxième moitié du siècle, s'adossant à la tradition glorieuse de leur aînés, réalisent une opération de réévaluation-

réécriture de cet héritage qui gomme les différences d'approches, de conceptions, de pratiques et d'écoles, pour le fondre sous l'appellation commune de physique mathématique. Processus redoublé par les physiciens qui, abandonnant les théories aux mathématiciens, deviennent les spécialistes uniques de l'établissement et de la mise en forme des phénomènes.

L'analyse de ce processus de différenciation et de spécialisation en deux types de profils scientifiques nécessiterait des recherches plus poussées. Nous en devinons certains éléments, notamment à travers l'histoire de l'enseignement scientifique supérieur en France. Longtemps son développement est passé non par les facultés des sciences, mis à part la Sorbonne [Prost, 1968, pp. 223-243], mais par les classes préparatoires des lycées et des institutions spécialisées, l'École polytechnique et ses écoles d'application (Mines, Ponts et chaussées, Artillerie et Génie...) [Belhoste, 1989 ; Gispert, 1989]. Or, le poids des mathématiques est écrasant pour le concours d'entrée à Polytechnique au moins jusqu'au milieu du XIX^e siècle [Belhoste et al., 1994] et détermine le programme des classes préparatoires et des concours des écoles alternatives ou concurrentes (École centrale des arts et manufactures, École normale supérieure). Cette hégémonie vaut également pour la recherche, la vitalité de l'école mathématique française au XIX^e siècle semblant acquise, à des nuances près [Gispert, 1991]. La fameuse hiérarchie comtienne des sciences ne fait que théoriser un point de vue largement partagé par les savants français dès le milieu du XIX^e siècle, notamment pour les mathématiques et les sciences physiques.

La suprématie des mathématiques se fait au détriment de la physique expérimentale. Pour l'École polytechnique, la faiblesse chronique de la physique au XIX^e siècle a été montrée, non seulement au concours d'entrée, mais également au sein de l'École : la place accordée à la physique passe de 21 % des cours en 1800 à 12 % en 1810, puis 14 et 16 % en 1825 et 1842 [Atten, 1994]. Des disciplines comme la mécanique (très mathématisée et séparée de la mécanique des machines jusqu'en 1850 [Chatzis, 1994]) ou l'astronomie sont enseignées par des mathématiciens. Cette prépondérance s'institutionnalise également par la mise en place des chaires de physique mathématique dans les universités et l'éclatement de la physique en plusieurs disciplines [Hulin, 1994 ; Grattan-Guinness, 1993].

Ces quelques éléments sont insuffisants pour rendre compte de l'ensemble du phénomène. Pourquoi les physiciens semblent-ils se réfugier dans une compétence strictement expérimentale ? Est-ce une réponse au poids grandissant des mathématiciens qui envahissent quelque peu leur domaine ? Il nous paraît très significatif que les partisans les plus affichés de la division du travail à l'intérieur de la physique soient deux physiciens expérimentateurs, professeurs de physique de l'École polytechnique. D'une façon plus globale, quelles relations cette structuration entretient-elle avec l'essor de la révolution industrielle ? Quelle est la répartition des compétences entre

ingénieurs, praticiens, mathématiciens et physiciens de la première moitié du XIX^e siècle français et quelles définitions des disciplines et des pratiques en découlent ?

La constitution de deux groupes d'acteurs caractérisés par deux types d'approches, deux pratiques bien distinctes et séparées nous paraît devoir être mise en relation avec la spécificité de la science française remarquée par de nombreux historiens. Notre hypothèse permet, pensons-nous, de souligner ce que les analyses en terme de déclin présupposent. Reprendre implicitement le discours des physiciens et des mathématiciens de la deuxième moitié du XIX^e siècle en assimilant ce qui émerge en France au cours des deux premières décennies du siècle à la naissance de la physique moderne reviendrait à considérer que la physique mathématique et la physique expérimentale ont une identité stable et qu'elles se complètent de façon naturelle. Ce serait oublier les acteurs, les institutions, les processus sociaux localisés dans lesquels les hommes pensent, inventent, enseignent.

DEUX REMARQUES EN GUISE DE CONCLUSION

L'organisation du domaine et les pratiques mises en évidence pour les décennies 1850-1870 semblent connaître une longévité remarquable. Il ne faut pas croire pour autant que toutes les caractéristiques relevées se maintiennent sans changement. Le discours de J. Jamin et de A. Cornu est remanié et certaines pratiques évoluent, notamment avec une nouvelle génération d'acteurs dans les années 1880. H. Poincaré, par exemple, se moque de la méthode historique, rompt avec ce que nous avons appelé la pratique des fronts avancés et domaines stabilisés en traitant à chaud les toute récentes expériences de Hertz et développe un profond scepticisme quant aux explications mécaniques. Par contre, certaines caractéristiques, tout en étant redéfinies, semblent conservées : l'approche de Poincaré reste celle d'un mathématicien et, pour lui, une théorie physique relève de la mathématique. De même, si certains physiciens (M. Brillouin, E. Mascart, par exemple) s'aventurent dans le champ des théories, la pratique des physiciens français, telle qu'elle apparaît par exemple dans les comptes rendus des séances de la Société française de physique des années 1872-1900, reste dominée par des conceptions proches de celles explicitées par J. Jamin et A. Cornu : démonstrations expérimentales de dispositifs, présentations de nouveaux appareils de mesure, absence de débats concernant les théories. Les deux traits que sont la division du travail qui scinde la physique et la suprématie des mathématiques dans l'enseignement scientifique semblent perdurer dans la première moitié du XX^e siècle français, comme le montre la difficile émergence de la physique théorique [Pestre, 1984]. Peut-être est-ce avec la constitution d'une autre pratique, le modèle entrepreneurial, autour de la Seconde Guerre mondiale, que la façon de faire de la physique en France rompt avec celle du XIX^e siècle ? Par contre, la domination des mathématiques, notamment sur l'enseignement secondaire, semble être toujours au centre des débats actuels.

Bibliographie

- Atten (M.), « La nomination d'H. Poincaré sur la chaire de physique mathématique de la Sorbonne », *Cahier du séminaire d'histoire des mathématiques*, Paris, 1988, pp. 221-229.
- Atten (M.), « Les théories électriques en France. 1870-1900. La contribution des mathématiciens, des physiciens et des ingénieurs à la construction de la théorie de Maxwell », Thèse de doctorat EHESS, Paris, 1992.
- Atten (M.), « La physique en souffrance. 1850-1914. » in B. Belhoste, A. Dahan Dalmedico, A. Picon (éds), *La Formation polytechnicienne. 1794-1994*, Paris, Dunod, 1994, pp. 217-244.
- Belhoste (B.), « Les caractères généraux de l'enseignement secondaire scientifique de la fin de l'Ancien Régime à la Première Guerre mondiale », *Histoire de l'éducation*, n° 41, janvier 1989, pp. 3-46.
- Bertrand (J.), « Démonstration des théorèmes relatifs aux actions électrodynamiques », *Journal de physique*, t. 3, 1874, pp. 297-306 et pp. 335-343.
- Brillouin (M.), « Les débuts de la Société française de physique », *Bulletin de la société française de physique*, 1923, pp. 5-18.
- Chatzis (K.), « Mécanique rationnelle et mécanique des machines », in B. Belhoste, A. Dahan Dalmedico, A. Picon (éds), *La Formation polytechnicienne. 1794-1994*, Paris, Dunod, 1994, pp. 95-108.
- Cornu (A.), *Cours de physique* rédigé par les élèves de l'École polytechnique, autographié, 1881-1883.
- Cornu (A.), « Note » à l'édition française du *Traité d'Electricité et de Magnétisme* de J.-C. Maxwell, tome II, Paris, Seligmann-Lui, 1887, pp. 147-148.
- De Gennes (P.-G.) et Badoz (J.), *Les Objets fragiles*, Paris, Plon, 1994.
- Fox (R.) et Weisz (G.) (éds), *The Organisation of Science and Technology in France, 1808-1914*. Cambridge, Cambridge University Press, 1980.
- Gispert (H.), « L'enseignement scientifique supérieur et ses enseignants, 1860-1900 : les mathématiques », *Histoire de l'éducation*, n° 41, janvier 1989, pp. 47-78.
- Gispert (H.), « La France mathématique : la société mathématique de France, 1872-1914. » *Cahier d'histoire et de philosophie des sciences*, n° 34, 1991, pp. 5-229.
- Grattan-Guinness (I.), « The *ingénieur savant*, 1800-1830. A neglected Figure in the History of French Mathematics and Science », *Science in Context*, n° 6-2, 1993, pp. 405-433.
- Grelon (A.) (sous la direction de), *Les Ingénieurs de la crise. Titres et professions entre les deux guerres*, Paris, Éditions de l'École des hautes études en sciences sociales, 1986.
- Herivel (J.W.), « Aspects of French Theoretical Physics in the XIXth Century », *British Journal for the History of Science*, vol. 3, n° 10, 1966, p. 109.
- Hulin (N.), « Enseignement scientifique et lignes de partage disciplinaire. La place de la physique dans la première moitié du XIX^e siècle », *Revue de synthèse*, 4^e s., t. 1-2, 1994, pp. 121-134.
- Jamin (J.), *Cours de physique de l'École polytechnique*, Gauthier-Villars, 2 vol., 1858-1859.
- Kuhn (T.), *La Tension essentielle*, trad. française, Paris, Gallimard, 1990.
- Paul (H.W.), *From Knowledge to Power, the Rise of the Science Empire in France, 1860-1939*, Cambridge-London-New York, Cambridge University Press, 1986.

- Pestre (D.), *Physique et physiciens en France, 1918-1940*, Paris, Éditions des archives contemporaines, 1984.
- Prost (A.), *Histoire de l'enseignement en France, 1800-1967*, Paris, A. Colin, 1968.
- Résal (H.), *Traité de physique mathématique*, Paris, Gauthier-Villars, 1884.
- Shinn (T.), « The French Science Faculty System, 1808-1914 : Institutional Change and Research Potential in Mathematics and Physical Sciences », *Historical Studies in the Physical Sciences*, t. 10, 1979, pp. 271-332.

Constitution de la physique moderne et nouvelle conception de l'enseignement de la discipline

Nicole HULIN

À la fin du XIX^e siècle la physique est « en pleine époque de progrès » et elle est caractérisée par « une tendance de plus en plus grande à l'union continuelle des méthodes expérimentales et mathématiques », ainsi que le souligne le physicien Paul Janet [1887, p. 33]. Cependant, comme le dénonce Émile Picard [1910, pp. 12-13], les théories physiques développées en Allemagne et en Angleterre sont reçues avec réticences par une majorité de physiciens français, principalement expérimentateurs [Hulin N., 1990]. Ainsi l'inspecteur général de sciences physiques Lucien Poincaré peut-il noter [1908, pp. 101-102] que la théorie cinétique des gaz constituait pour eux « des spéculations qui, malgré un appareil mathématique imposant, leur semblaient par trop hypothétiques ». Ce type d'état d'esprit est reflété par les propos du physicien E. Mathias [1899, p. 60] sur les Anglais quand il explique leur propension à « perdre très volontiers de vue les réalités pour se lancer dans des théories aussi mathématiques qu'incertaines » qui « donnent l'illusion de savoir quelque chose de plus dans l'étude des propriétés de la matière inanimée ».

En fait le positivisme de Comte, explique É. Picard [1914, pp. 12-13], « a représenté assez exactement pendant la seconde moitié du [XIX^e] siècle, l'opinion de la majorité des savants, particulièrement de ceux qui, surtout expérimentateurs, se méfiaient des théories ». Ainsi que l'explique Alfred Kastler [1980, p. 4], pour ces physiciens positivistes, il convenait « d'éliminer de la science tout *modèle* sous-jacent à la réalité observable », d'assigner « à la science comme seul but d'établir des relations entre nos sensations, en extirpant de la pensée scientifique tout ce qui n'était pas *observable* ». C'est exactement la position du chimiste Wilhem Ostwald [1895, pp. 956-957] quand il écrit, en s'opposant à l'atomisme :

« Établir les rapports entre des réalités, c'est-à-dire des grandeurs tangibles, mesurables, de telle sorte que, les unes étant données, les autres s'en déduisent, voilà la tâche de la science ; et la science ne l'a pas remplie quand elle se paie d'une image plus ou moins hypothétique. »

Au début du XX^e siècle la physique subit des bouleversements profonds et entre dans une ère nouvelle. Le choc est d'autant plus grand, remarque Maurice Caullery [1942, p. 21], que « plus d'un physicien éminent, vers 1880, considérait la physique comme une science achevée. Certains l'ont dit ingénument ».

Le premier bouleversement vient de la théorie de la relativité dont la diffusion en France [Biezunski, 1991] rencontre quelques difficultés. En présentant la théorie, certains, tels le mathématicien É. Picard [1914, pp. 181-182], parlent de « spéculations hardies », de « la frénésie révolutionnaire qui caractérise [...] de nombreux savants » et affirment :

« [...] quand des expériences *positives* auront montré la nécessité de changer nos idées traditionnelles sur l'espace et le temps, il n'y aura qu'à s'incliner. »

Quant au physicien Henri Bouasse [1923, pp. 8, 9, 15, 17], il qualifie la théorie d'Einstein d'« hypothèse métaphysique » et affirme avec vigueur :

« [...] en définitive nous, physiciens de laboratoire, aurons le dernier mot [...]. »

« [...], nous physiciens de laboratoire et professeurs, nous nous soucions de ces merveilles comme d'un petit copeau [...]. »

« Grâce à Dieu, je ne suis pas mathématicien camouflé. »

Ces propos reflètent une permanence de la coupure de la physique entre une physique expérimentale et une physique mathématique, entraînant que la théorie de la relativité ne trouve pas place à l'Université dans le cours de physique générale, comme le souligne H. Ollivier [1932, p. 750] quand il explique :

« Puis vinrent les théories relativistes, que nous n'avons pas à exposer dans ce cours de physique générale. Elles sont abordées dans le cours de physique mathématique. »

Cependant la relativité d'Albert Einstein qui remet en cause le caractère absolu de la simultanéité de deux événements et qui amène à considérer que matière et énergie sont de même essence, les quanta de Max Planck et la mécanique ondulatoire de Louis de Broglie vont changer radicalement notre conception sur le monde physique. Ainsi A. Einstein pourra dire [1952, p. 87] :

« Il n'y a pas de méthode inductive qui puisse conduire aux concepts fondamentaux de la physique. Faute de comprendre ce fait, bien des chercheurs du XIX^e siècle ont été victimes d'une erreur philosophique fondamentale. »

Désormais va se développer une physique théorique ayant une forte base mathématique ; tel est le cas de la théorie des particules élémentaires où l'analyse des groupes de symétrie permet de prédire l'existence de particules nouvelles. Tout à fait significative du nouvel état d'esprit est l'affirmation d'A. Einstein, lorsqu'il présente « la valeur heuristique » de la théorie de la relativité restreinte [Einstein, 1916, p. 48] :

« [...] les lois générales de la nature sont invariantes relativement à la transformation de Lorentz.

Ceci est une condition mathématique précise que la théorie de la relativité dicte à une loi de la nature, par là elle devient un auxiliaire précieux dans la recherche des lois générales de la nature. »

L'importance du recours au formalisme et un centrage préférentiel sur le domaine microscopique caractérisent cette physique moderne qui, grâce à la mécanique quantique, se développe dans divers secteurs : physique atomique, physique des solides, physique nucléaire, physique des particules.

LES CHANGEMENTS DE LA PHYSIQUE. LES ÉTAPES DE L'ÉVOLUTION

Au cours des premières décennies du XX^e siècle deux grandes théories, la théorie de la relativité et la théorie quantique, « ébranlèrent la physique » [Gamow, 1965]. Ces deux « révolutions » modifièrent profondément la physique. La physique classique ne constitue en effet qu'une approximation dans la quête d'une explication de l'univers, dont il convient de préciser les limites d'application.

La théorie de Maxwell, qui a marqué la deuxième moitié du XIX^e siècle, a été immédiatement suivi d'une « catastrophe », le constat de l'incompatibilité entre la mécanique classique et l'électromagnétisme. C'est la théorie de la relativité restreinte d'Einstein qui réconcilie mécanique et électromagnétisme en 1905. Apparaît ainsi une première limitation de la mécanique classique ; elle n'est valable que pour des mobiles dont la vitesse est faible devant la vitesse de la lumière dans le vide, c (300 000 km/s), qui constitue l'une des constantes fondamentales de la physique moderne.

Une autre limite de la mécanique classique est à prendre en considération : performante pour les mobiles *macroscopiques* (astres, véhicules, billes...), elle est insuffisante au niveau *microscopique* pour décrire le mouvement des électrons dans les atomes. Ainsi, dans les années 1925-1935, une pléiade de savants (voir encadré page suivante) fonde la mécanique quantique qui régit le domaine microscopique et fait apparaître une autre constante fondamentale de la physique moderne, h , la constante de Planck.

L'introduction des quanta a pour origine l'échec de la mécanique statistique classique (jointe à l'électromagnétisme de Maxwell) dans le traitement du problème du rayonnement du corps noir. En 1900, M. Planck propose une hypothèse de calcul *ad hoc*, qui sort du cadre de la physique classique et suppose la répartition de l'énergie en paquets discrets [*Benchmark papers*, pp. 190-195]. Dans un article publié en 1905, peu avant celui concernant la relativité, A. Einstein propose d'adopter « un point de vue heuristique » [*Benchmark papers*, pp. 196-209] : l'énergie totale d'un rayonnement lumineux monochromatique est constituée de quanta d'énergie *et* la lumière se comporte comme des particules dotées de ces quanta d'énergie — à ces corpuscules de lumière, on donnera le nom de « photons » dans les années 1920. Cette hypothèse permet à A. Einstein d'interpréter l'effet photoélectrique (découvert par Heinrich Hertz en 1887).

Quelques prix Nobel de physique marquant les étapes de l'évolution

- prix 1918 **M. Planck**, « en hommage à ses mérites qui ont contribué au développement de la physique grâce à sa découverte des quanta ».
- prix 1921 **A. Einstein**, « pour ses mérites dans le domaine de la physique théorique, et spécialement pour sa découverte de la loi de l'effet photoélectrique ».
- prix 1922 **N. Bohr**, « pour ses études de la structure des atomes et de leur radiation ».
- prix 1927 **A.H. Compton**, « pour sa découverte de l'effet qui porte son nom ».
- prix 1929 **L. de Broglie**, « pour sa découverte de la nature ondulatoire de l'électron ».
- prix 1932 **W. Heisenberg**, « pour sa création de la mécanique des quanta ».
- prix 1933 **E. Schrödinger et P.A.M. Dirac**, « pour la découverte des nouvelles formes de la théorie atomique ».
- prix 1936 **C.D. Anderson**, « pour sa découverte du positron ».
- prix 1937 **C.J. Davisson et G.P. Thomson**, « pour leur découverte expérimentale de la diffraction des électrons par des cristaux ».
- prix 1945 **W. Pauli**, « pour sa découverte du principe d'exclusion, dit aussi principe de Pauli ».
- prix 1954 **M. Born**, « pour ses travaux fondamentaux dans le domaine de la mécanique quantique, spécialement son interprétation statistique de la fonction d'ondes ».
- prix 1959 **E. Segré et O. Chamberlain**, « pour leur découverte de l'antiproton ».



Premier congrès Solvay, réuni à Bruxelles du 29 octobre au 3 novembre 1911. De gauche à droite, debout : R.B. Goldschmidt, M. Planck, H. Rubens, A. Sommerfeld, F. Lindemann, M. de Broglie, M. Knudsen, Hasenohrl, Hostelet, Herzen, J.H. Jeans, E. Rutherford, H. Kamerlingh Onnes, A. Einstein, P. Langevin ; assis : W. Nernst, M. Brillouin, E. Solvay, H.A. Lorentz, O.H. Warburg, J. Perrin, W. Wien, M. Curie, H. Poincaré. (collection Roger Viollet)

Alors que M. Planck se borne à des arguments statistiques, A. Einstein souligne « audacieusement » comment des phénomènes physiques « peuvent dépendre d'effets quantiques individuels ».

« Dans les années mêmes où, développant sa théorie de la relativité, Einstein posait de nouvelles fondations de la physique, il explora avec l'esprit le plus hardi, les nouveaux aspects atomiques qui débordaient du cadre de la physique classique. » [Bohr, 1949, p. 49]

En 1907, A. Einstein applique les idées quantiques à l'étude de la chaleur spécifique des solides. L'existence des quanta lumineux est confirmée en 1923 grâce à l'expérience de diffusion des rayons X par les électrons libres, qui est réalisée et interprétée comme une collision élastique photon-électron par A.H. Compton [*Benchmark papers*, pp. 210-229].

En 1913 la notion de quantification de l'énergie est étendue à l'énergie des électrons dans les atomes par Niels Bohr ; il adjoint au modèle planétaire de l'atome (établi par Ernest Rutherford) des règles de quantification qui lui permettent d'interpréter les raies spectrales de l'hydrogène et de certains atomes ionisés. Mais, malgré ces succès, le modèle de l'atome de Bohr se révèle insuffisant dans le cas des systèmes complexes, en particulier pour rendre compte des raies spectrales groupées en « multiplets ». Des modifications sont apportées à ce modèle, en particulier par Arnold Sommerfeld qui y intègre, en 1916, des corrections relativistes. Cependant la théorie de Bohr présentait un manque de cohérence interne pour le traitement des mouvements atomiques. Comment comprendre, d'après les idées classiques, pourquoi, parmi l'infinité de mouvements qu'un électron devrait pouvoir prendre dans l'atome, certains seulement sont possibles ? Aussi cette théorie ne tarde pas à être remplacée par la mécanique ondulatoire.

En 1924, L. de Broglie introduit la notion d'onde pilote associée au mouvement d'un électron le long d'une orbite quantique de Bohr. Cette hypothèse de l'association d'une onde à la particule est vérifiée grâce aux expériences effectuées par C.J. Davisson en collaboration avec L.H. Germer (1926) et par G.P. Thomson (1927), mettant en évidence la diffraction des électrons par les cristaux. Les idées de L. de Broglie sont développées, en 1926, par Erwin Schrödinger qui construit une théorie mathématique des propriétés des atomes, la mécanique ondulatoire. La fonction d'ondes, à laquelle Max Born donnera une interprétation statistique, y joue un rôle central. En même temps que l'article de Schrödinger, paraît un article de Werner Heisenberg qui traite les problèmes quantiques par l'algèbre matricielle. Les deux articles développent, en fait, sous des formes mathématiques différentes des théories physiquement semblables, comme le montrera E. Schrödinger.

Enfin, en 1929, P.A.M. Dirac unifie la théorie de la relativité et la théorie quantique, établissant l'équation ondulatoire relativiste qui lui permet de prévoir l'existence d'antiparticules. Un an après la publication du mémoire de Dirac, C.D. An-

person met en évidence les positrons (les antiélectrons) dans le rayonnement cosmique. C'est seulement en 1955 que sont produits des antiprotons lorsque les expérimentateurs disposent d'accélérateurs suffisamment puissants.

Ainsi, pour interpréter certains faits expérimentaux, des idées nouvelles sont introduites « brisant les cadres trop étroits de la physique classique » [de Broglie, 1945, p. 157] et inspirant d'autres expériences qui viennent en confirmer le bien-fondé.

NOUVELLE STRUCTURATION DE LA PHYSIQUE

L'histoire de la physique du début du XX^e siècle est donc marqué d'abord par « le drame de la relativité » [Langevin, 1927, p. ix] — la révélation de la nécessité de repenser les notions d'espace et de temps — qui amène au premier plan la considération de l'invariance des lois physiques. L'autre trait saillant est le développement d'une « physique du discontinu » [Langevin, 1913, p. 189] où « certaines abstractions mathématiques hautement développées » ont fourni « les outils adéquats pour formuler la théorie » [Bohr, 1954, p. 131]. Ainsi N. Bohr [1938, p. 35] explique :

« ce développement de la physique nous a obligé de changer radicalement notre attitude en face de la description de la nature. »

Ce changement est d'ailleurs souligné par Gaston Bachelard [1949, p. 54] quand il affirme avec force que désormais l'esprit scientifique « est tout entier présent dans son effort mathématique » expliquant que « c'est l'effort mathématique qui forme l'axe de la découverte, [que] c'est l'expression mathématique qui, seule, permet de penser le phénomène ». Puis, pour illustrer son propos, il cite la phrase de Paul Langevin sur « le calcul tensoriel [qui] sait mieux la physique que le physicien lui-même ».

Emmy Noether avait montré qu'il existe un lien étroit entre les lois de conservation fondamentales de la mécanique, valables pour un système isolé, et les propriétés de l'espace et du temps d'un univers idéal caractérisé par l'homogénéité du temps ainsi que par l'homogénéité et l'isotropie de l'espace : d'où les trois lois de conservation, de l'énergie, de la quantité de mouvement, du moment cinétique. Ce lien entre les symétries dynamiques du système physique et les lois de conservation valables dans toute l'analyse physique, ce recours à l'exploitation des symétries, a pris une importance accrue avec le développement de la mécanique quantique.

« Dans un système quantique, les obstacles algorithmiques sont omniprésents, immédiats, insurmontables, et il faut, à tout prix, accroître la panoplie ; l'explication immédiate fait défaut, il faut donc que le physicien aille chercher — et en particulier au niveau du repérage des symétries — le maximum de renseignements. Cela a joué très certainement un rôle extrêmement important dans une modification de ses réactions. » [Hulin M., 1988b, p. 109]

Ainsi à côté des lois physiques concernant les phénomènes, sont désormais omniprésentes les « superlois » (invariance, conservation, symétrie), liées aux traitements mathématiques et qui structurent la discipline. Cette importance est fort bien

illustrée par l'histoire de l'invention du neutrino au début des années 1920. Le neutron, hors du noyau, est instable et donne proton et électron ; mais il y a alors violation de la loi de la conservation de l'énergie ! Pour rétablir l'équilibre du bilan, Wolfgang Pauli fait « sortir comme un diable de sa boîte une particule que personne n'avait vu et qui avait pour seule fonction de permettre la pérénisation [...] des règles de conservation » [Hulin M., 1988c]. Il introduit, comme l'écrit Gaston Bachelard [1965, p. 120], un « corpuscule nécessaire rationnellement et cependant fantomal dans l'une et l'autre réalité de la masse et de la charge électrique », cette particule hypothétique, sans charge et sans masse, qu'est le neutrino. Un changement apparaît donc dans l'appréciation des priorités.

« La structure de la discipline s'est, en quelque sorte, décalée ; ce n'est plus l'objet particule qui devient prioritaire, ce sont les règles de pensée et d'action sur lesquelles on va fonder une analyse. Il y a là un saut conceptuel, intellectuel, épistémologique phénoménal. Ce qui est devenu prioritaire pour le physicien, ce sont les règles de structuration de la matière plus que les apparences de la matière. » [Hulin M., 1988c]

Le principe de conservation de l'énergie acquiert alors un statut nouveau qui lui confère une importance accrue. Dès la fin des années 1920 — début des années 1930, des auteurs de manuels français pour l'enseignement secondaire soulignent que « le principe de conservation de l'énergie domine toutes les sciences physiques » [Touren et Billard, 1929, p. 163] ou qu'il « joue un très grand rôle dans la physique moderne » [Faivre-Dupaigre et al., 1934, p. 157], certains explicitant cette primauté acquise par rapport à l'expérience [Olmer, 1929, p. 153] :

« Ce principe est à la base de toute la physique moderne ; il est tellement bien admis maintenant que si l'on rencontre par hasard une expérience qui paraît le contredire, on incrimine, non le principe, mais l'interprétation de l'expérience ; on admet qu'il y a dans la transformation étudiée une variation d'énergie insoupçonnée, variation, de grandeur telle qu'elle satisfait au principe de conservation de l'énergie. »

LES PHYSICIENS ET L'ENSEIGNEMENT DE LEUR DISCIPLINE

Dans la première moitié du XX^e siècle la physique connaît donc un développement explosif et subit de profonds réaménagements. Ceci induit la nécessité de restructurer l'enseignement de la discipline. Cette évolution de la physique est intensément perçue par les physiciens qui mènent une réflexion de fond sur leur discipline, qui sentent « leur activité porteuse d'une charge culturelle, d'un potentiel, au niveau de la formation générale » [Hulin M., 1987, p. 164] et qui souhaitent faire entrer un public, aussi large que possible, dans le jeu conceptuel de la discipline. Les années 1950-1960 sont marquées par la parution d'ouvrages aux titres significatifs : *Introduction to Concepts and Theories in Physical Science* [Holton, 1952] ; *The Character of Physical*

Law [Feynman, 1965] ; *Physical science, its Structure and Development* [Kemble, 1966] ; *An Introduction to the Meaning and Structure of Physics* [Cooper, 1968] ; *Concepts in Physics* [Adair, 1969] ; etc.

Des physiciens de premier plan s'investissent dans l'élaboration de nouveaux cours universitaires. Ainsi dans les années 1960 paraissent des ouvrages tels que les *Lectures on Physics* de Richard Feynman ou le *Berkeley Physics Course*. Les préfaces soulignent les objectifs désormais poursuivis pour l'enseignement par des physiciens qui souhaitent faire *comprendre* la physique. L'intention est de montrer, autant que possible, la physique telle qu'elle est pratiquée par les physiciens qui sont à la pointe de la recherche ; le souci du respect de l'authenticité est manifeste. Ainsi l'objectif est d'insister sur les fondements de la physique, sur les concepts de base, et d'introduire des éléments de physique moderne (relativité, mécanique quantique, physique statistique). Les physiciens veulent montrer les « prodigieux bouleversements que, depuis un siècle, la physique a apporté à notre vision du monde » [Hulin M., 1973b, p. 69]. Pour ce faire, l'approche retenue met l'accent sur les questions fondamentales de conservation, d'invariance, de symétrie, et fait largement place à la description microscopique.

Ces options de présentation permettent de « souligner l'unité de l'ossature conceptuelle des sciences physiques » [Hulin M., 1971, p. 57]. Ceci constitue un changement profond car, jusque-là, la physique était exposée en un ensemble de chapitres disjoints (chaleur, électricité, mécanique, acoustique, optique). On peut dire [Hulin M., 1984, p. 130] que

« ces ouvrages proposaient des vues très synthétiques, allant souvent assez au fond de la structure fondamentale des théories, et c'est ainsi, par exemple, que le cours de Berkeley liait directement l'exposé de l'électromagnétisme à celui de la relativité. Pour la première fois dans un enseignement au niveau tertiaire, on pouvait ainsi donner une vue d'ensemble solide — pour ne prendre que cet exemple — du phénomène d'induction électromagnétique. Toutefois, cette option n'allait pas sans dangers : abus possible du formalisme, d'une part ; d'autre part, élimination peut-être trop poussée de la phénoménologie, et accent exagéré sur les éléments *synthétiques*, au détriment de la spécificité et de la diversité des situations concrètes. »

RÉFORMER L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE DE LA PHYSIQUE

L'intérêt des physiciens se porte aussi sur l'enseignement secondaire. Nommé au milieu de la seconde guerre mondiale, un comité réuni à Harvard présente, en 1945, un rapport (*General education in a free society*), qui est cité par des auteurs d'ouvrages [Holton, 1952 ; Kemble, 1966]. Ce rapport souligne la nécessité de faire les ajustements rendus nécessaires par les avancées de la science et la rapidité des changements technologiques. Au lieu de ces cours qui font une présentation cumulative de faits et théories hérités du passé, le rapport préconise d'étudier les concepts de base, la nature

du travail scientifique, le développement historique du sujet. Il recommande l'introduction de l'histoire et de la philosophie des sciences, qui doivent éclairer le contenu du cours dans lequel elles sont intégrées, que ce cours s'adresse ou non à de futurs spécialistes. C'est dans cette perspective qu'est préparé, à partir de 1963, le *Project Physics Course* [UNESCO, 1968, pp. 133-136 ; Holton, 1976], pris en charge par James Rutherford, Fletcher G. Watson et Gerald Holton.

Un autre projet est lancé, en 1956, par le Physical Science Study Committee (PSSC) [UNESCO, 1968, pp. 122-133] dans lequel se sont impliqués des physiciens du Massachusetts Institute of Technology (MIT). Le cours publié [PSSC, 1960] tient compte du résultat de trois années d'expérimentation. Son objectif est de faire prendre conscience de l'unité de la physique, de montrer que la physique est une science en évolution grâce aux travaux des savants.

Les méthodes préconisées par le PSSC ont été adaptées dans un certain nombre de pays, par exemple le Canada, la Colombie, l'Italie, la Suède, la Yougoslavie [UNESCO, 1968, pp. 123-125]. Encouragement et soutien ont été apportés par l'OCDE qui souligne que « les programmes traditionnels ne sont pas en mesure d'assurer l'équilibre entre disciplines littéraires et scientifiques, face aux exigences d'une société dans laquelle la science joue un rôle chaque jour plus important » [OCDE, 1969, p. 5]. Son action pour la rénovation de l'enseignement de la physique débute par la constitution d'un groupe de physiciens, qui présente en 1960 un mémoire intitulé « Une conception moderne de l'enseignement de la physique » ; cette action se poursuit par l'organisation d'une série de conférences, tendant à sensibiliser les pays membres à la nécessité de réformer les programmes en orientant l'enseignement vers les aspects récents de la discipline et en introduisant de nouvelles approches.

Ainsi l'élargissement des domaines de la physique, l'importance prise par les applications pratiques, « un décalage croissant entre la physique enseignée et la physique pratiquée quotidiennement et telle qu'elle se manifeste en permanence *via* ses applications technologiques » [Hulin M., 1970, p. 45] conduisent différents pays [UNESCO, 1968 ; OCDE, 1969] à reconsidérer les programmes d'enseignement de la physique au niveau secondaire. Les réformes tentées aux USA, le projet de la Fondation Nuffield (démarré en 1962 au Royaume-Uni et publié en 1966) avaient des buts semblables :

« faire passer dans l'enseignement de début les grandes structures conceptuelles et méthodologiques qui charpentent la physique contemporaine. » [Hulin M., 1985, p. 135]

C'est dans cette même ligne que s'inscrit la réforme préparée pour les lycées en France [Hulin M., 1973a, p. 67] au début des années 1970 par la Commission Lagarrigue.

Le bouleversement qui se produit dans la conception de l'enseignement de la physique en France peut être illustré par l'exemple du premier principe de la thermodynamique. L'équivalence mécanique du travail et de la chaleur est introduite dans les

programmes du secondaire en 1874, le principe de conservation de l'énergie dans ceux de 1891. Les manuels de la fin du XIX^e siècle décrivent l'expérience de Joule qui est mentionnée explicitement dans les programmes de 1902. Dans la première moitié du XX^e siècle, les auteurs de manuels introduisent la notion d'énergie interne après avoir présenté l'expérience et énoncé le principe de l'équivalence. La présentation est radicalement modifiée avec les programmes expérimentaux élaborés en 1973 par la Commission Lagarrigue, la notion d'énergie interne étant introduite en s'ancrant dans la description du modèle du gaz parfait monoatomique. Les programmes définitifs de 1979 confirment cette orientation et prennent pour point de départ l'idée de l'existence de l'énergie interne pour un système et celle qu'« un transfert de chaleur est un mode de transfert d'énergie » reliant ces notions à celle d'agitation moléculaire. Le thème énergie, jugé essentiel dans notre civilisation, s'appuyant sur un ensemble de concepts fondamentaux, met au premier plan un grand principe de conservation.

L'objectif était alors de « présenter, avec le maximum d'authenticité, les méthodes fondamentales de la discipline — recours à de « grands principes », reconnaissance de phases de modélisation, formalisation, expérimentation » [Hulin M., 1987, p. 164]. Et,

« Ce désir prioritaire répondait [...] à l'idée que c'est à ce niveau qu'apparaît la richesse culturelle de la physique ; ce serait donc en introduisant les étudiants au maniement de ces concepts et à l'apprentissage de ces règles d'analyse qu'on tirera le meilleur profit de l'enseignement de la discipline non seulement pour elle-même, mais comme composante essentielle d'une formation générale dûment modernisée. » [*ibid.*]

Mais, en fait, il y aura un constat d'échec. Les travaux des didacticiens de la physique permettent d'en comprendre certaines raisons qui tiennent essentiellement à ce que la démarche « heurte profondément les habitudes de pensée et d'action des élèves, et que les enseignants, à tous les niveaux, sont le plus souvent impuissants à les amener sur le terrain de l'analyse scientifique des concepts, des relations, des phénomènes » [Hulin M., 1988a, p. 328.].

Bibliographie

- Adair (R.K.), *Concepts in physics*, New-York, Academic Press, 1969.
- Bachelard (G.), *Le nouvel esprit scientifique*, Paris, PUF, 1949.
- Bachelard (G.), *L'activité rationaliste de la physique contemporaine*, Paris, PUF, 1965.
- Benchmark papers on energy*, vol.7, *Early concepts of energy in atomic physics*, R. Lindsay éditeur, Stroudsburg, Dowden, Hutchinson & Ross, 1979.
- Berkeley physics course*, 5 volumes, New-York, McGraw-Hill : vol. I (1962) — *Mechanics* (Kittel, Knight, Ruderman), vol. II (1963) — *Electricity and magnetism* (Purcell), vol. III (1965) — *Waves* (Crawford), vol. IV (1967) — *Quantum physics* (Wichman), vol. V (1964) — *Statistical Physics* (Reif).
- Biezunski (M.), *Einstein à Paris*, Paris, Presses universitaires de Vincennes, 1991.

- Bohr (N.), « Le problème de la connaissance en physique et les cultures humaines » (1938) dans *Physique atomique et connaissance humaine*, Paris, Gauthier-Villars, 1972, pp. 33-46.
- Bohr (N.), « Discussion avec Einstein sur les problèmes épistémologiques de la physique » (1949), *ibid.*, pp. 47-99.
- Bohr (N.), « Unité de la connaissance » (1954), *ibid.*, pp. 101-124.
- Bouasse (H.), *La question préalable contre la théorie d'Einstein*, Paris, Blanchard, 1923.
- Brogie (L. de), *Ondes, corpuscules, mécanique ondulatoire*, Paris, Albin Michel, 1945.
- Cauillery (M.), « Souvenirs » (1942) dans *Maurice Cauillery (1868-1958), un biologiste au quotidien*, Lyon, Presses universitaires de Lyon, 1993.
- Cooper (L.N.), *An introduction to the meaning and structure of physics*, New-York, Harper & Row, 1968.
- Einstein (A.), *La théorie de la relativité restreinte et générale* (1916), Paris, Gauthier-Villars, rééd. 1971.
- Einstein (A.), *Conceptions scientifiques, morales et sociales*, Paris, Flammarion, 1952.
- Faivre-Dupaigre (J.), Lamirand (J.), Barrée (M.), *Nouveau cours de physique (classe de mathématiques)*, Paris, Masson, 1934.
- Feynman (R.), *Lectures on physics*, 3 vol., Addison Wesley, 1963-1965.
- Feynman (R.), 1965 : *The character of physical law* (1965) ; édition française, *La nature des lois physiques*, Paris, Robert Laffont, 1970.
- Gamow (G.), *Thirty Years that shook Physics* (1965) ; édition française, *Trente années qui ébranlèrent la physique*, Paris, Dunod, 1968.
- General Education in a Free Society*, « Rapport », Harvard University Press, 1945.
- Holton (G.), *Introduction to concepts and theories in physical science* (1952) ; 2^e édition revue et complétée par S.G. Brush, Addison Wesley, 1979.
- Holton (G.), « The project physics course. Notes on its educational philosophy », *Physics Education*, juillet 1976, pp. 330-335.
- Hulin (M.), « La nécessaire réforme de l'enseignement des sciences physiques dans le second degré » (1970), dans *Le Mirage et la nécessité*, Paris, Presses de l'École normale supérieure et Palais de la Découverte, 1992, pp. 39-50.
- Hulin (M.), Rapport d'orientation pour les travaux de la Commission Lagarrigue (1971), *ibid.*, pp. 51-61.
- Hulin (M.), « *Teaching physics in French secondary schools* » (1973a), *ibid.*, pp. 63-68.
- Hulin (M.), « Quelques suggestions relatives aux programmes de physique des terminales scientifiques (extraits) » (1973b), *ibid.*, pp. 69-70.
- Hulin (M.), « Quelques observations sur le programme de physique en classes préparatoires » (1984), *ibid.*, pp. 129-130.
- Hulin (M.) : « Bilan de la réforme Lagarrigue » (1985), *ibid.*, pp. 135-136.
- Hulin (M.), « La physique ou l'enseignement impossible » (1987), *ibid.*, pp. 147- 176.
- Hulin (M.), « Constatations et thèses sur l'enseignement scientifique » (1988a), *ibid.*, pp. 327-331.

- Hulin (M.), « De l'activité scientifique au paradigme de l'enseignement » (1988b), *Revue du Palais de la Découverte*, n° spécial 40, mai 1991, pp. 101-113.
- Hulin (M.), « Quelques réflexions sur la culture scientifique » (interview de Diane Saunier), 1988c, non publié.
- Hulin (N.), « Les doctorats dans les disciplines scientifiques au XIX^e siècle », *Revue d'histoire des sciences*, 1990, XLIII/4, 1990, pp. 401-426.
- Janet (P.), « La physique mathématique et la physique expérimentale », *Revue scientifique*, janv.-juin 1887, 3^e série, n° 13, pp. 33-38.
- Kastler (A.), Préface de l'ouvrage d'André Guinier, *La structure de la matière*, Paris, Hachette, 1980.
- Kemble (E.C.), *Physical science, its structure and development*, MIT Press, 1966.
- Langevin (P.), « La physique du discontinu » (1913), dans *La physique depuis vingt ans*, Paris, Doin, 1923, pp. 189-264.
- Langevin (P.), Préface de l'ouvrage de M. Courtines, *Où en est la physique?*, Paris, Gauthier-Villars, 1927.
- Mathias (E.), *L'enseignement supérieur de la physique en Angleterre*, Toulouse, Chauvin, 1899.
- OCDE, *Enseignement actuel de la physique*, OCDE, 1969.
- Ollivier (H.), *Cours de physique générale*, Paris, Hermann, t. 3, 3e édition, 1932.
- Olmer (L.J.), *Physique (classe de mathématiques)*, Paris, J. de Gigord, 1929.
- Ostwald (W.), « La déroute de l'atomisme contemporain », *Revue générale des sciences pures et appliquées*, 1895, pp. 953-958.
- Picard (É.), « De la science », dans *De la méthode dans les sciences*, Paris, Alcan, 1910, pp. 1-30.
- Picard (É.), *La science moderne et son état actuel*, Paris, Flammarion, 1914.
- Poincaré (L.), *La physique moderne, son évolution*, Paris, Flammarion, 1908.
- PSSC, *Physics*, Boston, D.C. Heath & company, 1960.
- Touren (Ch.) et Billard (M.), *Précis de physique (classe de mathématiques)*, Paris, Hatier, 1929.
- UNESCO, *Tendances actuelles de l'enseignement de la physique (1965-1966)*, UNESCO, 1968.

Bibliographie complémentaire

- Abro (A. d'), *The rise of the new physics*, vol. 2, New-York, Dover publication, 1951.
- Biezunski (M.), *Histoire de la physique moderne*, Paris, La Découverte, 1993.
- Bohr (N.), *Les spectres et la structure de l'atome*, Paris, Hermann, 1923.
- Borel (É.), *L'imaginaire et le réel en mathématiques et en physique*, Paris, Albin Michel, 1952.
- Brogie (L. de), *Ondes et corpuscules*, Paris, Hermann, 1930.
- Brogie (L. de), *Un itinéraire scientifique*, Paris, La Découverte, 1987.
- Brush (S.G.), *Teacher's guide : history of modern science*, University of Maryland, 1984 (polycopié).
- Darrigol (O.), « Einstein et la discontinuité quantique », *La Recherche*, n° 220, avril 1990, pp. 446-452.

- Einstein (A.), « L'état actuel du problème des chaleurs spécifiques », dans *La théorie du rayonnement et les quanta* (Conseil Solvay 1911), Paris, Gauthier-Villars, 1912, pp. 407-435.
- Holton (G.), *L'imagination scientifique*, Paris, Gallimard, 1981.
- Hulin (M.), « Quelques points d'histoire relatifs à la physique du solide », *La Vie des Sciences*, t. 6, n° 1, janvier-février 1989, pp. 1-21.
- Langevin (P.), *La notion de corpuscules et d'atomes*, Paris, Hermann, 1934.
- Pauli (W.), *Writings on physics and philosophy*, Berne, Springer-Verlag, 1994.
- Planck (M.), « La loi du rayonnement du corps noir et l'hypothèse des quanta élémentaires d'action », dans *La théorie du rayonnement et les quanta* (Conseil Solvay 1911), Paris, Gauthier-Villars, 1912, pp. 93-132.
- Toraldo di Francia (G.), *The investigation of the physical world*, Cambridge University Press, 1981.
- Van der Waerden (B.L.), *Sources of quantum mechanics*, Amsterdam, North-Holland, 1967.
- Von Laue (M.), *Histoire de la physique*, Paris, Lamarre, 1953.

La prise de conscience bourbakiste, 1930-1960

André REVUZ

Le projet bourbakiste est né il y a une soixantaine d'années, mais du groupe fondateur ne subsistent plus que les deux plus anciens : A. Weil et H. Cartan actuellement nonagénaires, ce qui explique qu'il revienne à un jeune octogénaire de témoigner sur cette époque.

LES LACUNES DE L'ENSEIGNEMENT UNIVERSITAIRE FRANÇAIS DES MATHÉMATIQUES DANS LES ANNÉES 1930

Le mouvement bourbakiste est certainement né d'une insatisfaction profonde de l'enseignement des mathématiques dans les facultés des sciences dans les années 1930. Le projet initial d'A. Weil et H. Cartan, alors jeunes professeurs à l'université de Strasbourg, était d'écrire un traité « moderne » de calcul différentiel et intégral (C.D.I.), mais ce premier objectif a été rapidement dépassé et a donné place à une entreprise beaucoup plus vaste.

Pour comprendre ce qui s'est passé, il faut rappeler ce qu'était à cette époque l'enseignement des mathématiques dans les facultés des sciences. Le noyau central était le certificat de C.D.I., pot-pourri de matières qui étaient loin d'être inintéressantes, mais étaient séparées les unes des autres, et pour lesquelles jamais rien n'était poussé très loin. Il était assorti d'un certificat de physique générale qui était un monstre d'étendue et de superficialité et d'un certificat de mécanique rationnelle qui lui, au contraire était fort étriqué. Le rôle essentiel du certificat de C.D.I. était de donner le programme de l'épreuve d'analyse de l'agrégation. L'écrit de l'agrégation comportait quatre épreuves : une de mathématiques élémentaires, correspondant à ce qui était enseigné dans les lycées, une de géométrie analytique correspondant aux classes de spéciales, une d'analyse et une de mécanique. Le bon élève qui, ayant suivi toute la filière, devenait agrégé était alors ramené à ses débuts pour enseigner exactement ce qu'il avait d'abord appris. C'est un bon exemple de ces circuits fermés qu'organise trop souvent l'enseignement, se créant un domaine douillet dont il ne veut pas sortir. Dans ces conditions, il n'est pas fortuit que Bourbaki ait été amené à dépasser son projet initial : le certificat

de C.D.I. faisait partie d'un tout qu'il était prématuré d'attaquer et le réformer seul aurait été à la fois très difficile et de peu de profit.

Mais ce n'est pas tout, car au-delà du certificat de C.D.I. on trouvait des enseignements plus avancés, dont le principal défaut était de laisser tomber des pans entiers des mathématiques. Chacun traitait ce qui l'intéressait, aucun plan collectif ne tentait d'organiser une diffusion raisonnable du savoir acquis. En outre, une incontestable germanophobie latente faisait ignorer les apports de la science allemande de la fin du XIX^e siècle et du début du XX^e. À ce propos, la parution en 1930 de l'ouvrage de Van der Waerden *Moderne Algebra* a certainement été une des causes du sursaut bourbakiste. La première réaction de J. Dieudonné et H. Cartan fut : « Je n'y comprends rien ; je ne sais pas faire les exercices ! » Bien sûr, cela n'a pas duré longtemps, mais il est intéressant de noter que deux esprits aussi brillants ont pu être déconcertés par des notions qui n'étaient pas compliquées, mais auxquelles ils n'étaient pas habitués. On peut aussi poser la question : quelle note auraient-ils obtenue si on les avait soumis, comme on le fait à nos potaches actuels, à un « contrôle » dans les huit jours suivant leur prise de contact.

Mais si les mathématiques allemandes étaient ignorées, les mathématiques françaises n'étaient pas mieux loties. H. Lebesgue était professeur au Collège de France, mais aucun enseignement n'était donné où que ce soit sur l'intégrale qui porte son nom. Dans la patrie de E. Galois et de C. Jordan l'algèbre était oubliée ; elle dut revenir d'Allemagne pour être étudiée. Quant à H. Poincaré, on ne pouvait trouver dans l'enseignement la moindre trace de son immense œuvre pionnière.

À l'exception de deux points singuliers : E. Cartan qui exposait ses travaux récents dans ses cours, mais travaillait dans une solitude quasi absolue, et le séminaire de J. Hadamard qui n'était pas directement relié à la faculté des sciences de Paris, une règle implicite voulait que rien de récent ne soit enseigné.

L'ambiance dans laquelle ronronnait l'enseignement était caractérisée par un provincialisme satisfait de lui-même, et un individualisme exacerbé, assorti d'un amateurisme distingué. L'idée régnait que l'enseignement doit suivre plus ou moins fidèlement l'ordre historique. En moyenne, ce qu'on enseignait dans les facultés des sciences avait un siècle de retard sur la recherche. Des préjugés épistémologiques écartaient comme « irréelles » certaines notions modernes, en particulier la théorie des ensembles et provoquaient ce que J. Leray, qui ne fut pas bourbakiste, appela l'agoraphobie des mathématiciens.

LA RÉNOVATION BOURBAKISTE

Alors, qu'a fait Bourbaki ? Il a pris rigoureusement le contrepied de cette attitude. À l'individualisme, il a opposé un travail d'équipe, à la vanité personnelle, l'anonymat, à l'amateurisme, le professionnalisme, au provincialisme, l'ouverture sur le monde



Groupe Bourbaki, réunion à Besse-en-Chandesse, juillet 1935,
debout : H. Cartan, R. de Possel, J. Dieudonné, A. Weil ; assis : S. Mandelbrojt, C. Chevalley ;
et quelques autres.... (collection Jean-Loup Charmet)



Congrès Bourbaki (Pelvoux-le-Poët, 1951). De droite à gauche :
A. Weil, H. Cartan, J.-P. Serre, J. L. Koszul, J. Dieudonné, etc...

extérieur. Quant à l'ordre historique, il l'a pris rigoureusement à l'envers et s'est placé vraiment au terme (forcément provisoire !).

En lui-même (je ne parle pas du travail individuel de ses membres), Bourbaki n'est pas un chercheur. Son mérite c'est d'avoir diffusé une synthèse mûrement réfléchie de résultats qui n'étaient pas les siens et d'être un vulgarisateur sans concession au niveau le plus élevé. Ce qu'il vulgarisa, ce ne furent pas seulement des théories qui avaient été négligées en France, mais aussi une conception dynamique des mathématiques, en dépit de l'apparence rigide de sa rédaction. Il insista sur le fait que les mathématiques n'étudiaient pas des objets, mais des relations entre objets ; l'important, finalement, était l'agencement de ces relations, d'où les fameuses structures, et au-delà des structures les morphismes, qui sont les applications qui vont d'un ensemble muni d'une structure à un ensemble muni d'une structure de même espèce et qui sont compatibles avec ces structures. Ce faisant il a substitué à une classification selon les objets une classification selon les méthodes, même s'il peut demeurer une superposition des deux classifications. Il a ainsi mis l'accent sur les idées simples et fécondes, qui ne sont pas toujours faciles à dégager, mais qui sont indispensables pour organiser l'acquis et poser correctement les problèmes. Tous les progrès des mathématiques naissent de la mise en œuvre de puissantes idées simples au moyen de techniques souvent complexes. Les idées ou les techniques, seules, sont impuissantes ; c'est leur symbiose qui est féconde. Mais c'est une dégénérescence fréquente de l'enseignement de mettre uniquement l'accent sur les techniques — trop commodes matières à examen — et d'oublier les idées.

Enfin Bourbaki a donné à l'axiomatique la place qui lui revient dans la construction des mathématiques. C'était au minimum une nécessité technique pour définir les structures, mais la portée en est beaucoup plus grande. Les mentalités étaient réticentes, sinon hostiles à l'axiomatique. Il est certain, quoique Bourbaki n'y ait jamais fait allusion, que l'exemple de la physique moderne avec la naissance de la relativité et des théories quantiques a beaucoup fait pour ouvrir les yeux et faire comprendre que des cadres qui paraissaient immuables ne pouvaient être maintenus. S'agissant en mathématiques de théories déductives, il est clair qu'elles reposent entièrement sur leurs axiomes, et que la mise en évidence de ceux-ci répond en premier lieu à un souci de clarté et d'honnêteté. Mais c'est aussi un gage d'efficacité : si une théorie déductive cohérente ne répond pas à son objet, il n'y a qu'une solution, en changer les axiomes. Les grands fabricateurs de modèles que sont les mathématiciens appliqués créent des structures qui doivent permettre d'étudier certaines réalités, et savent bien, qu'en cas d'écart trop grand, c'est sur l'axiomatique de leurs modèles qu'ils doivent agir.

L'axiomatique est une source de liberté, et corrélativement, de responsabilité. Il faut user de sa liberté (et de son imagination) pour trouver les bons axiomes, qui permettront de bâtir les théories fécondes, mais il ne faut pas en user pour faire n'importe quoi et à cet égard il faut rappeler la férocité de Bourbaki envers les

axiomatiques gratuites et les contemplations de nombril. Aux gens de ma génération, Bourbaki a apporté un grand souffle d'air pur, parfois rude à respirer, mais profondément libérateur. À ce propos, je crois qu'il faut faire une remarque générale. La liberté, tout le monde la réclame, on la chante beaucoup, mais pratiquement, est-elle si choyée que cela ? D'abord, la liberté des autres, ça peut être gênant, ça peut même être dangereux ; quant à sa liberté propre, elle donne souvent le vertige. Aussi peut-il être plus agréable de la reléguer au magasin des accessoires et de l'oublier : cela peut expliquer bien des résistances au développement scientifique et aux mutations de l'enseignement.

PERSONNE N'EST PARFAIT

Bourbaki a revivifié l'enseignement universitaire des mathématiques en France et a donné à la recherche une impulsion décisive : sans lui, la France n'aurait pas obtenu dans la recherche mathématique mondiale la place éminente qui lui est officiellement reconnue. Mais l'esquisse de la contribution de Bourbaki ne serait pas complète si je n'en indiquais pas aussi les limites.

Il y a une curieuse opposition entre la chaleur de ses idées et la froideur de son style, entre la multiplicité des rédactions préparatoires de chaque fascicule et l'aspect dogmatique du produit fini. Bourbaki ne montre pas ses sentiments, son exposé s'entient à l'agencement logique des notions et des raisonnements. Ce n'est pas dans le cœur du traité, mais entre autres dans les notices historiques, qu'on trouvera les motivations, les finalités et l'évolution des idées. Ce parti pris de pureté logique confère au texte une beauté austère, mais en rend l'abord plus difficile. Si tous ses ouvrages peuvent servir de référence, peu peuvent être utilisés pour une première prise de contact. Et leur aspect dogmatique peut être d'un mauvais exemple, pour qui l'imiterait sans avoir toute la rigueur de Bourbaki, car, s'il est austère, il est honnête, et qui le travaille avec assez de persévérance n'y trouvera ni obscurité ni lacune. Au demeurant, il faut rappeler qu'un ouvrage de mathématiques ne se lit jamais facilement : à l'instar d'une partition musicale, il se déchiffre (la plume à la main).

Il y a un dogmatisme plus profond de Bourbaki. Quelles qu'aient été les discussions qui ont présidé à l'élaboration du traité, il ne présente toujours qu'un point de vue. Même si ce point de vue a toujours de très bonnes justifications, s'il a très souvent — mais peut-être pas toujours — été « le bon », le lecteur n'est jamais invité à partager les doutes et les hésitations de l'auteur.

Bourbaki est incontestablement élitiste et il l'est consciemment. Il a fait son travail avec un professionnalisme auquel j'ai rendu hommage, mais son attitude est : « Ça vous plaît ? — Tant mieux. » ; « Ça ne vous plaît pas ? — Je n'ai pas de temps à perdre avec vous ». Cela n'ôte rien à sa valeur mathématique, mais cela peut être fâcheux du point de vue des relations publiques...

Il ne s'est jamais soucié des retombées de son travail sur des niveaux inférieurs à celui où il s'est placé, y compris même au niveau de la licence. C'est G. Choquet, qui n'a jamais été bourbakiste, qui a fait la révolution dans le certificat de C.D.I. en 1954 et a réalisé le projet initial de 1934 de Bourbaki. Il n'aurait pas pu le faire si Bourbaki n'avait préalablement déblayé le terrain, mais finalement Bourbaki ne s'en est pas préoccupé, de même qu'il ne s'est intéressé que de très loin à l'enseignement du second degré.

Bourbaki a montré l'importance de domaines des mathématiques qui étaient négligés avant lui. A-t-il couvert la totalité du champ mathématique ? La réponse est évidemment : non. Faut-il le lui reprocher ? Il ne pouvait pas tout faire mais son prestige a été tel que la proposition vraie : « Il ne s'intéresse qu'à des choses importantes » a été transformée, peut-être parfois avec sa complicité, en la proposition fautive : « Ce à quoi il ne s'intéresse pas est sans importance ». Bourbaki continue, la relève s'assurant régulièrement parmi les mathématiciens français, mais à la vitesse à laquelle les mathématiques se développent, il risque de courir après sans pouvoir les rattraper.

Bourbaki ne s'est en particulier jamais soucié des liens entre mathématiques pures et mathématiques appliquées ou entre mathématiques et physique. Mais rappelons que le pape des mathématiques appliquées, J.-L. Lions qui est un fils de Bourbaki, a déclaré publiquement : « Avant j'étais considéré comme un mathématicien pur, maintenant comme un mathématicien appliqué, mais personnellement je n'ai pas vu la différence ». Il ne faut pas que des considérations d'origine corporative obscurcissent la réalité des relations scientifiques. Et cela est valable aussi pour les liens entre mathématiques et physique, dont les enseignements s'ignorent — pour employer un euphémisme — pour le plus grand dommage des deux disciplines.

Un super-Bourbaki encore plus polycéphale que le premier pourra-t-il un jour réaliser ce que le premier n'a pas voulu ou n'a pas pu résoudre ?

Que Bourbaki ait pris conscience des insuffisances de l'enseignement universitaire français des mathématiques et ait résolument attaqué le problème est un phénomène d'une importance capitale pour le développement des mathématiques, et pas seulement françaises. Les problèmes ne sont plus les mêmes, mais il est clair qu'il y en a. Qui est prêt à les attaquer avec la même résolution ?

Il semble que parmi les plus jeunes générations, certains aient été plus sensibles aux défauts de Bourbaki qu'à ses qualités. On ne gagnera cependant rien à vouloir éviter sa rude discipline. Il ne faut pas renier Bourbaki, il faut le prolonger et le dépasser.

Bibliographie

- Bourbaki (N.), *Éléments de Mathématiques*, 1^{ère} édition, 33 fascicules, Paris, Hermann, 1939-1967.
- Choquet (G.), « Algèbre des ensembles et algèbre », premier fascicule du *Cours de calcul différentiel et intégral*, Paris, CDU, 1955.
- Choquet (G.), *Cours de topologie*, Paris, Masson, 1964.
- Van der Waerden (B.L.), *Moderne Algebra*, t. 1, Springer, 1930.
- Weil (A.), *Souvenirs d'apprentissage*, Bâle, Birkhäuser, 1991.

Mathématiques « modernes » et sciences humaines

Michel ARMATTE

LES JUSTIFICATIONS DE LA RÉFORME

La réforme de l'enseignement des mathématiques impulsée par la commission Lichnerowicz dans les années soixante a été justifiée par ses promoteurs puis ses zéloteurs grâce à un petit nombre d'arguments que l'on peut ramener aux quatre suivants :

— La mathématique joue déjà — et devra jouer — *un rôle moteur dans le développement des sciences et des techniques*, que ce soit les sciences de l'ingénieur ou les sciences sociales. Il importe donc que ceux qui prolongeront leurs études et contribueront à leur développement dominant cette base universelle et unifiée de toutes les sciences qu'est la mathématique moderne.

— La nouvelle mathématique joue un rôle fondamental — par le biais des sciences et des techniques — dans la vie quotidienne de tout citoyen. Dans *un souci démocratique*, pour permettre à tous les citoyens de comprendre le fonctionnement de la société, s'y insérer et contribuer à son développement, il faut former dès le primaire et le secondaire tous les enfants à cette mathématique.

— La mathématique comme langage formel et *jeu de l'esprit*, indépendamment de toute utilité directe, est le seul domaine d'exercice et de test qui puisse désormais remplacer la rhétorique et le latin pour la formation spirituelle de tout lycéen.

— La *sélection des élites* ne peut plus se faire sur la base des humanités et d'une culture toujours historiquement et socialement située, ni sur celle d'une mosaïque de techniques mathématiques éclatées en fonction des domaines d'application, mais sur celle d'une culture scientifique générale, dont le noyau dur est l'espéranto des mathématiques modernes.

Comme le montre très bien Marie-Ange Schiltz dans une analyse de la controverse sur cette réforme [Schiltz, 1984], l'utilité sociale des mathématiques, invoquée

comme justificatif de la réforme, sous-entend des « utilités » directes et indirectes fort différentes, voire contradictoires, les mêmes qui furent parfois invoquées en d'autres temps au nom de la promotion d'autres disciplines scientifiques ou non scientifiques. L'utilité des mathématiques modernes invoquée par les réformateurs est niée par les partisans des mathématiques traditionnelles au nom d'une autre utilité que défend par exemple l'Union des professeurs et utilisateurs de mathématiques ; elle est niée aussi par les sociologues de la reproduction qui mettent en avant son rôle uniquement sélectif. Mais surtout, cette utilité a servi, tant aux zéloteurs qu'aux détracteurs des mathématiques modernes, de référent incantatoire sans que soient explicités les relais par lesquels la mathématique était liée aux savoirs et aux possibilités d'action collective sur les structures sociales. Trop souvent l'argumentation, positive ou négative, s'est établie sous la forme d'un court-circuit entre les « besoins » de la société en cadres et citoyens qualifiés, et la « nécessité » d'une mathématique structurée et unifiée par la démarche bourbakiste. Comme le dit par exemple Bernard Charlot : « La réforme des mathématiques modernes excède la question scientifique et pédagogique qu'elle est censée traiter. C'est même, sans doute, le seul point sur lequel ses promoteurs et ses détracteurs soient d'accord : de cette question dépend l'avenir de la nation » [Charlot, 1986].

À l'exception pourtant de quelques tentatives isolées, les relais entre la mathématique et le devenir national ne furent pas explicités. L'effet magique de ce court-circuit avait bien sûr une fonction dans la propagande pour ou contre la réforme, mais il avait aussi une cause qui nous semble être le scientisme : il allait de soit pour les élites nationales que la majorité des problèmes techniques économiques et sociaux n'étaient solubles que par le progrès des sciences et des techniques, et que celui-ci résultait nécessairement d'une unification méthodologique induite par la mathématique nouvelle. Deux hypothèses que nous voulons ici éprouver rétrospectivement, en sortant du contexte scolaire et des questionnements pédagogiques sur la mathématique, et en cherchant du côté de l'histoire des sciences sociales des années soixante ce qui pouvait servir de relais à cette argumentation. Car si l'on faisait état d'une telle efficacité des mathématiques dans la gestion scientifique des sociétés modernes, n'était-ce point parce qu'on accordait soudain un rôle important aux mathématiques dans les cénacles mêmes où s'élaborait la science de ces sociétés ?

La vie quotidienne, les nouvelles structures économiques et sociales, effectivement modifiées par les sciences et les techniques avaient bon dos, pour justifier la réforme. Elles réclamaient sans doute, pour que chacun s'y insère sans trop de difficultés, toujours plus de mathématiques classiques mais pas forcément de *nouvelles* mathématiques. Il faut, comme toujours et sous peine de céder à l'arbitraire de tout fonctionnalisme, chercher derrière les soi-disant besoins des sociétés, derrière les fonctions soi-disant indispensables qu'y joue tel ou tel dispositif, le groupe des acteurs qui construisent ces besoins, ces fonctions, et cette problématisation. En l'occurrence, c'est bien plutôt d'une convergence entre le structuralisme des mathématiciens et celui des anthropologues et linguistes, c'est-à-dire au niveau des besoins d'un petit groupe

de chercheurs, qu'est née l'idée d'une unité structurelle des modes de pensée des sociétés et de leurs langues, que la mathématique pouvait exprimer et dominer. C'est cette thèse que nous allons argumenter.

LES ACTEURS DE LA RÉFORME : UNE COMMISSION BOURBAKISTE

De par les modalités mêmes de sa mise en place, la réforme de l'enseignement des mathématiques n'est pas à proprement parler une réforme pédagogique, car elle n'est ni motivée par des arguments pédagogiques, ni menée par les instances habituelles en ce domaine. En décidant de cette réforme en octobre 1966, Christian Fouchet cède à la pression de la Société mathématique de France et de l'Association des professeurs de mathématiques de l'enseignement public, qui ont dénoncé à travers plusieurs colloques ce qui a toujours existé, à savoir un décalage entre l'état actuel de la recherche en mathématiques et celui de leur enseignement, mais qui ont rajouté dans leur argumentaire un lien nouveau avec le développement : « Si vous ne faites pas la Réforme avant dix ans, la France sera un pays sous-développé » aurait dit au ministre le Président de l'A.P.M.E.P. La réforme annoncée n'est pas la réponse à une carence constatée dans l'enseignement par ceux qui ont la charge de le faire, à savoir le corps des Inspecteurs généraux. Elle n'est pas conduite non plus par eux comme c'est normalement leur rôle.

Délibérément le ministre dessaisit ces représentants d'une élite pédagogique, agrégés spécialistes de leur discipline, âgés et expérimentés, habitués aux compromis nécessaires entre les innovations rendues possibles par le progrès de la recherche et les dures réalités du terrain (fonctionnement des établissements, formation des enseignants, qualités des auditoires, contraintes de l'édition scolaire). En choisissant plutôt de saisir une commission d'experts, à la manière des commissions du Plan, dont seul le président sera nommé par lui, le ministre privilégie un mode de nomination par cooptation dans un ensemble plus large de responsables, acquis d'avance à la nécessité de la réforme, pour des raisons qui transcendent le simple rapport pédagogique.

André Lichnerowicz est lui-même enseignant à la Faculté des sciences de Paris et au Collège de France, mais surtout il préside la Société mathématique de France et participe à plusieurs instances du CNRS, et au Conseil de perfectionnement de l'École polytechnique. C'est donc un représentant de la Recherche et de l'Enseignement supérieur qui mène une réforme du secondaire. Il reconnaît lui-même avoir choisi pour la commission des personnalités favorables *a priori* au projet : « L'inspection générale était partagée. Je voulais avoir affaire avec deux d'entre eux qui étaient tout à fait favorables » (Entretien avec A. Lichnerowicz, cité par M.-A. Schiltz). Les autres membres sont des experts provenant de divers secteurs où la mathématique est un outil et un enjeu, et qui sont également *a priori* en accord avec le projet. Quand le désaccord se fait jour, il conduit d'ailleurs à la démission d'une partie de la Commission (1971).

Ce qui caractérise la réforme est essentiellement un accord minimal, réalisé au travers de la commission ministérielle, sur l'unité reconstruite de LA mathématique :

« Un autre caractère essentiel de la mathématique d'aujourd'hui est son unité. Par l'élaboration d'un langage commun et le dégagement de structures communes, elle a brisé les vieux cadres historiques qui auraient tendu, en se remplissant, à la fragmenter en des disciplines distinctes évoluant d'une manière divergente » [Lichnerowicz, 1972].

Cette unité n'est rien d'autre bien sûr que celle des « mathématiques bourbachiennes » [Dieudonné, 1982], c'est-à-dire de celles qui s'inventent dans le séminaire Bourbaki créé en 1948, et dont les rudiments sont exposés dans le traité du même nom publié à partir de 1939 par un groupe de normaliens formé de H. Cartan, C. Chevalley, J. Delsarte, J. Dieudonné et A. Weill. C'est en prolongement des travaux de Hilbert sur l'axiomatique et le fondement logique des mathématiques, que ce groupe propose une synthèse unifiée des mathématiques dans laquelle les notions de logique formelle, de théorie des ensembles et de structures algébriques jouent un rôle clé. Cette reconstruction est suffisamment achevée au début des années soixante pour que les mathématiciens cherchent à la vulgariser [Bourbaki, 1962], à l'enseigner et à évaluer son efficacité dans de nouvelles applications.

MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES ET RÉFORMES DES ENSEIGNEMENTS SUPÉRIEURS

La refonte des enseignements supérieurs a accompagné et le plus souvent précédé l'introduction des mathématiques modernes dans le primaire et le secondaire. A. Lichnerowicz, A. Revuz, C. Chevalley, G. Choquet enseignent dans le supérieur et n'ont pas attendu 1968 pour modifier en profondeur les anciens programmes des Facultés des sciences. À l'École polytechnique, où on sait le rôle et la place que tiennent les mathématiques — en 1956, elles représentent 125 leçons sur 319, et 301 points de coefficients sur un total de 735 —, la coupure avec la mathématique « taupinale » et l'introduction de la mathématique moderne sont le fait de J. Favard dans son cours de 1954. Cette rénovation se heurte à la conception plus traditionnelle d'un enseignement de mathématiques utiles à l'ingénieur, comme le rapporte Amy Dahan dans son histoire récente de l'École [Dahan-Dalmedico, 1994].

Charles Gillispie s'interroge dans le même ouvrage [Gillispie, 1994] sur les raisons de cette hégémonie : « la justification d'un cours d'analyse ne se trouve pas dans son utilité sociale », mais il se pourrait, suggère-t-il, que le pouvoir des mathématiques vienne de leur caractéristique de « science dure », au double sens de science difficile et de science exacte, caractéristique qui serait conférée aux domaines qu'elles fécondent. Dès 1960, a lieu dans l'enceinte de l'École un débat entre deux conceptions de l'utilité des mathématiques que l'on retrouvera comme débat de société près de dix années plus tard. Entre les « petits chapitres très variés » de l'analyse et de la géométrie « accessibles à tous » et « proches des applications » de l'enseignement classique, et

« les grandes théories généralisatrices fort abstraites, accessibles aux meilleurs, éloignées des applications, et très philosophiques », mais « formatrices de l'esprit de synthèse » que réclame la réforme, le choix n'est pas évident ; Raymond Cheradame exprime en 1966 une légitime inquiétude sur l'intérêt d'une refonte totale des enseignements.

Quoi qu'il en soit, c'est Laurent Schwartz, nommé en 1959, mais écarté de l'École au temps de son engagement politique pendant la guerre d'Algérie, qui, avec l'aide de ses collègues G. Choquet et J.-L. Lions, fait basculer l'enseignement du côté bourbachique dès 1965, dans un nouveau cours, remarquable de clarté, « qui met l'accent sur les faits d'existence, les structures et les grandes relations ». En même temps L. Schwartz pèse de tout son poids dans le sens d'une cure d'allègement des programmes par l'introduction du principe des options, et dans le sens d'un rapprochement avec l'enseignement universitaire et la recherche.

On notera que le directeur des études de Polytechnique juge cette mathématique moderne plus éloignée des applications que l'ancienne, alors que les promoteurs de la réforme affirment au contraire son utilité pour les sciences et techniques et craignent, pour une société qui s'en priverait, la « décadence » [Revuz, 1967, cité par Schiltz] et le « sous-développement ». « Veut-on que dans peu d'années nos ingénieurs apparaissent comme sous-développés sur le marché international ? » déclare A. Lichnerowicz [communication à l'Académie des sciences du 10 janvier 1972]. Ceux qui ont fait des études d'ingénieur dans les années soixante ne peuvent que confirmer le faible désir de réforme : dans la plupart des écoles, la mathématique moderne, peu ou mal enseignée, n'apparaissait pas comme nécessaire à la formation technique et comme substitut avantageux à la mathématique classique en usage dans les calculs des pièces mécaniques et des ouvrages d'art. La géométrie et le calcul différentiel et intégral suffisaient pour résoudre la majorité des problèmes de l'ingénieur. Avançons donc l'hypothèse que ce n'est pas dans les sciences de l'ingénieur mais principalement dans les sciences sociales que le gain du changement parut substantiel.

En effet dans ce domaine, en dehors de quelques îlots dans lesquels la mathématisation avait déjà fait oeuvre utile depuis longtemps — par exemple l'économie mathématique depuis A. Cournot et L. Walras — l'usage des mathématiques se réduisait aux questions de classement, de mesure ou de quantification, et à l'expression analytique de certains invariants pour lesquelles les mathématiques de Descartes, et la statistique de Quetelet, avaient suffi jusqu'aux années trente. Les applications de la statistique fishérienne dans les disciplines expérimentales comme la psychologie connaissent un développement considérable dans les années cinquante. Les techniques simples mais délicates du traitement des enquêtes par questionnaires, développées aux États-Unis par P. Lazarsfeld, sont réimportées en Europe par le biais des traductions [Boudon et Lazarsfeld, 1965 et 1966] et travaux propres [Boudon, 1967] du sociologue Raymond Boudon : la construction d'indicateurs, la recherche de relations statistiques qui sont au centre de la méthodologie statistique se doublent déjà de techniques de

recherches de structures causales ou factorielles qui dénotent un intérêt récent pour la notion de structure que le même Boudon exprime au travers d'un essai fort exigeant sur cette notion [Boudon, 1968]. La communauté scientifique n'en finit pas de digérer le développement fulgurant des mathématiques appliquées qu'ont suscité, aux États-Unis d'abord, puis en Europe, les besoins militaires de la Seconde Guerre mondiale. La classification même des publications mathématiques est bouleversée par l'essor de nouvelles branches comme en témoignent les variations taxinomiques des *Mathematical Reviews* [Feldman, 1986]. Beaucoup de ces développements prolongent la révolution probabiliste et statistique des années trente (contrôle de fabrication, sondages, processus aléatoires, recherche opérationnelle, théorie de la décision) mais d'autres explorent de nouvelles régions des mathématiques, comme les théories du choix social (Arrow, 1951), de la communication (Shannon, 1949), des jeux (Von Neuman et Morgenstern, 1947), ou des systèmes (Ashby, 1958, et Forrester, 1968), qui s'avèrent fructueuses pour la modélisation des actions humaines et forment le terreau de la révolution structuraliste.

LE STRUCTURALISME SUSCITE D'AUTRES MATHÉMATIQUES

Le structuralisme dans les sciences humaines découle directement d'un point de vue formaliste que Saussure a introduit en linguistique au début du siècle, et qui consiste à isoler les faits de langue des faits de parole, c'est-à-dire à évacuer tout souci de leur contexte et de la personnalité du locuteur, pour mettre l'accent sur la permanence des structures. Les succès de la grammaire générative développée entre autres par N. Chomsky, prolongés par les informaticiens, autorisent alors l'espoir assez fou de rendre compte de certains langages par un système hypothético-déductif d'éléments et de règles de dérivation. Peut-être la collusion entre mathématique moderne et linguistique structurale, qui prolonge la vieille idée du Cercle de Vienne d'une science entièrement ramenée à un langage, est-elle à la base de cette idée politique d'une mathématique moderne qui serait langue universelle. Claude Lévi-Strauss prend explicitement modèle sur la linguistique et utilise effectivement les structures algébriques — celle de groupe, essentiellement, qu'il reconnaît dans les systèmes de parenté — pour construire son *Anthropologie structurale* [Lévi-Strauss, 1958]. Avec les travaux de J. Piaget, auteur du *Que sais-je?* sur le structuralisme (1968), c'est la psychologie qui connaît un nouveau paradigme, mais aussi l'épistémologie par le biais de son « épistémologie génétique ». La sociologie, bien que moins touchée par la vague de fond, voit tout de même émerger des écoles françaises fortement influencées par le paradigme structuraliste, ne serait-ce que sous la forme d'un systémisme : R. Boudon s'intéresse aux structures causales, J. Baudrillard au « système des objets » ; P. Bourdieu, décrivant les mécanismes de reproduction de la structuration sociale en classes, « essaie d'élaborer un structuralisme génétique » selon ses propres mots.

La nouveauté n'est pas seulement dans l'adhésion au structuralisme de la plupart des phares de la recherche en sciences sociales, mais bien dans cet engouement rapide des chercheurs des sciences humaines pour la nouvelle mathématique, qu'ils pensent enfin capable de faire faire à leur discipline un pas décisif vers une plus grande scientificité. La similitude entre structures sociales (et mentales) et structures mathématiques est l'objet d'un colloque de 1952 qui marque la rencontre des recherches de J. Dieudonné et J. Piaget. C. Lévi-Strauss est le plus enthousiaste des propagandistes d'une mathématique humaine, au point d'y voir le seul salut pour ces sciences mineures que sont les sciences humaines :

« On peut dès aujourd'hui être certain que les jeunes spécialistes des sciences sociales devront désormais posséder une solide et moderne formation mathématique, sans quoi ils seront balayés de la scène scientifique » [Lévi-Strauss, 1954].

Mais ce qu'il importe au plus au point de noter ici, c'est que cette mathématique nécessaire est tout autre que celle des ingénieurs. Un bénéfice de la mathématique semblable à celui qu'elle a procuré à la physique est maintenant possible dans ces disciplines où règnent des « doctrines informes », sans en passer par « le formidable appareil classique du calcul différentiel et intégral ». Sans non plus donner suite à la quantophrénie statistique et à la révolution probabiliste qui se sont emparées de plusieurs branches disciplinaires sous la forme de « métries » nées pour la plupart dans les années trente : *biométrie, économétrie, sociométrie, psychométrie...* :

« Ces mathématiques humaines [...] veulent résolument échapper au désespoir des grands nombres — ce radeau où agonisaient les sciences sociales perdues dans un océan de chiffres » dit Lévi-Strauss dans le texte déjà cité. En fait les disciplines lassées par cette quantification découvraient un autre usage, « modélisateur », des mathématiques, tandis que les disciplines comme l'histoire, la géographie ou l'archéologie, en même temps qu'elles subissaient plus ou moins l'influence du structuralisme, s'ouvraient par contagion à cette quantification et profitaient de tout nouveaux moyens statistiques et informatiques. On peut noter d'ailleurs un mariage sur le terrain des démarches quantificatrices et classificatrices ou structurantes, dont un bon exemple est l'analyse des données à la française, telle que J.-P. Benzecri l'a développée et diffusée au rythme de bataillons de jeunes chercheurs envoyés conquérir les espaces vierges des sciences d'observations les plus diverses, car la mise à jour de structures simples (échelles de Guttman) ou plus complexes n'est pas le moindre des objectifs de l'analyse des données.

Ces mathématiques des sciences humaines, plutôt algébriques qu'analytiques, plutôt discrètes que continues, sont l'objet de sollicitations fortes qui s'institutionnalisent dans des traités et des enseignements de mathématiques *pour* les sciences humaines. Cette destination n'est parfois qu'un simple prétexte de segmentation du marché de l'édition, mais elle est plus souvent le support d'une réflexion, ou d'un cours original, qui ne sacrifie pas la rigueur au nouveau principe d'organiser les outils les plus simples autour des quelques idées fournies par les notions d'ensemble, d'application et de

structure algébrique. C'est le cas des deux volumes de Marc Barbut [Barbut, 1967-1968] qui accompagnent l'introduction d'un cours de mathématiques et statistiques rendu obligatoire dans les licences de sociologie et psychologie par la réforme Fouchet du DUEL (1966), et préparé par de nombreux colloques et stages organisés par le Centre de mathématique sociale de la VI^e section de l'EPHE (École pratique des hautes études). Mais cet essai fait école, et c'est plus de 20 ouvrages de mathématiques et sciences humaines que publie Gauthier-Villars entre 1965 et 1974. Une liste importante mais non exhaustive de quelques-uns de ces livres phares des années soixante figure dans l'article collectif de *la Vie des Sciences* [Les Messages, 1989], parmi lesquels [Kemeny et alii, 1960 ; Guilbaud, 1963 ; Maître, 1972 ; Flament, 1965 ; Rosenstiehl et Mothes, 1965 ; Roy, 1969 ; Guillaume, 1971]. Des filières nouvelles comme les MASS (Mathématiques appliquées aux sciences sociales), créées en 1973, voient le jour dans ce contexte, ainsi qu'une pléiade de colloques CNRS, témoignant de l'enthousiasme, « un immense élan » dira Lévi-Strauss, pour les perspectives ouvertes par la mathématique moderne dans le secteur des sciences humaines. Même si finalement les résultats sont assez minces dans l'immédiat et se confondent parfois avec ceux de l'informatique, ce qui est une autre histoire mais qui entre en conjonction, en résonance, avec la mode structuraliste, l'euphorie dure une bonne dizaine d'années. Et c'est elle qui soutient à notre avis, plus que les besoins immédiats d'une société en techniciens, la conviction profonde des réformateurs de l'enseignement général que la mathématique moderne peut servir à mieux comprendre et gérer les sociétés.

LA CRITIQUE POST-SOIXANTE-HUITARDE DES MATHÉMATIQUES

La critique politique de 1968 n'a pas épargné l'institution scientifique. On peut même dire qu'elle a mis fin au consensus qui va de la droite à la gauche sur la nécessaire adéquation entre science et progrès et sur le scientisme latent à tous les discours réformateurs et réactionnaires des Trente glorieuses. Citons une belle phrase de P. Juquin du 12 mars 1975 : « J'accuse l'obscurantisme scientiste d'être le meilleur terreau de l'obscurantisme antiscientifique », interprétée par J.-M. Lévy-Leblond comme « un tournant dans la politique du PCF qui jusqu'ici ne se reconnaissait qu'un adversaire, l'obscurantisme antiscientifique, et ne répugnait pas au scientisme le plus vulgaire ». Un ouvrage comme *(Auto)critique de la science* [Lévy-Leblond et Jaubert, 1975] résume bien cette pensée gauchiste et alternative qui s'en prend à « la hiérarchie des labos » tout autant qu'à l'autoritarisme des contenus, et qu'incarnent alors l'éditeur et physicien J.-M. Lévy-Leblond, et plus encore le mathématicien A. Grothendieck, dont le pamphlet sur « la nouvelle église universelle » publié dans la petite revue *Survivre* [Grothendieck, 1971] est un morceau d'anthologie de la critique du scientisme, repris d'ailleurs dans un autre recueil [Jaulin, 1974] plus particulièrement consacré aux mathématiques. L'éditeur y regrette dans sa préface que ce recueil contienne davantage de textes critiques que de textes en accord avec le mouvement de mathématisation des

savoirs de l'école primaire au supérieur. René Thom y fustige la perte de sens opérée en contrepartie de l'absolue rigueur et de l'intégration de la mathématique moderne :

« Le vrai problème qu'a à affronter l'enseignement des mathématiques n'est pas le problème de la rigueur, mais le problème de la construction du sens, de la justification ontologique des objets mathématiques. [...] On n'a pas, je crois, tiré de l'axiomatique hilbertienne la vraie leçon qui s'en dégage ; c'est celle-ci : on n'accède à la rigueur absolue qu'en éliminant la signification ; l'absolue rigueur n'est possible que dans et par l'insignifiance. Mais s'il faut choisir entre rigueur et sens, je choisirai sans hésitation le sens ». [Thom, 1974]

Le débat sur les mathématiques modernes est devenu depuis 1972 un « débat de société » qui traverse toute la presse, du *Monde* qui se fait l'écho des dissensions entre mathématiciens, aux textes de Claude Ligny dans *Les Temps modernes* [Ligny, 1973] accusant, exemples à l'appui, la réforme de ne produire rien d'autre qu'un système de sélection culturelle des élites [Voir aussi Samuel, 1974], où ceux du mathématicien psychanalyste Daniel Sibony [1974] qui dénonce un peu partout l'éviction du sujet, du point de vue du désir et du plaisir, et leur refoulement de l'univers des mathématiques, au profit du principe d'autorité et de la soumission à un jeu arbitraire d'axiomes et de règles castratrices.

Un numéro spécial de la revue *Impatience*, organe d'un collectif soucieux de « questionner le sens de l'activité scientifique d'aujourd'hui » et d'ouvrir ses colonnes aux producteurs, transmetteurs et utilisateurs de la connaissance scientifique est consacré en 1976 aux mathématiques. Il est remarquable que la critique du rôle social des mathématiques porte essentiellement sur la fonction qu'elle joue à l'école — sélection, effets de langage, perte de sens, exclusion, castration... — mais très peu sur la fonction qu'elle joue dans la société. Le passage de la mathématique classique à la mathématique moderne n'est pas interrogé : la seconde n'est qu'une forme nouvelle, un aboutissement, particulièrement abscons comme le montrent certaines formulations « modernes » de notions (la droite par exemple) ou de problèmes, d'une discipline qui assume de plus en plus... un rôle disciplinaire. Un seul article évoque le sujet des « mathématiques et sciences humaines » pour dénoncer les faux effets de scientificité qu'y crée la mathématique, et les limites de la quantification tout autant que de la modélisation. Il marque en fait le début d'une réflexion sur l'épistémologie des sciences sociales qui ouvre une troisième période.

Après l'engouement pour la modélisation mathématique des années soixante, puis la critique gauchiste du rôle social des mathématiques développée dans les années soixante-dix, c'est sur une étude mieux armée des conditions et des effets de cette mathématisation que débouchent les travaux des épistémologues ou des historiens des sciences dans les années quatre-vingts. La seule dénonciation des effets pervers n'est plus relayée par des luttes sur le terrain, et finit par tourner en rond. Un signe : le numéro prévu d'*Impatience* sur les sciences sociales, malgré de nombreuses réunions, n'aboutit pas. On peut suggérer que la critique politique des sciences sociales découvre alors une

méthode d'analyse à la fois cognitive et sociale qui n'existait pas auparavant. L'analyse du rôle des mathématiques prend alors la forme universitaire d'études de cas bien documentées et s'inscrit dans le débat académique propre à la philosophie des sciences, même si elle y transporte encore ses habitudes irrespectueuses. On pense à l'épistémologie anarchiste de Feyerabend, aux premiers travaux de Bruno Latour en sociologie des sciences, aux écrits de Pierre Thuillier [1980], et dans le champ mathématique, aux pamphlets de Stella Baruk [1973], de Jacques Dreyfus [1975], de Didier Nordon [1981]. Les rapports entre science et société deviennent un sujet académique que le CNRS encourage au travers du programme STS (Sciences Techniques et Société).

La mathématique moderne n'est plus alors le noyau d'un programme de révolution culturelle visant à inculquer à tous un langage commun. Après les critiques gauchistes, les critiques institutionnelles, y compris à l'intérieur même du groupe des réformateurs, ont eu raison de la seconde phase de la réforme. La mise en sommeil de la réforme pédagogique et de sa commission a correspondu à la fin de l'ère de l'enthousiasme pour la mathématique des structures dans les sciences de l'homme. Non pas que les programmes de recherches en ce domaine aient été abandonnés, mais plus simplement ils ont été banalisés, et l'ordinateur leur donne une plus grande puissance, sans toutefois faire jouer à la mathématique le rôle, qui n'est pas le sien, de structurer principalement le champ des disciplines à la place de leurs propres systèmes conceptuels. Les résultats obtenus ont été finalement plus modestes que ceux qui avaient été annoncés. Et le plus souvent ils ont été captés par les mathématiciens, devenant prétextes à de subtils raffinements sans retombée significative sur le champ d'application les ayant « motivés ».

Il reste que la prétention des réformateurs à doter tous les citoyens de ce langage commun de la mathématique moderne a été certainement causée, consciemment ou inconsciemment, par cet enthousiasme passager qu'ont suscité les mathématiques des sciences humaines. Lorsque A. Lichnerowicz nous dit en 1972 : « la mathématique utilise comme langue naturelle le langage ensembliste et celui-ci gagne peu à peu d'autres activités humaines ; on le rencontre de manière inattendue aussi bien dans certaines parties du code de la route que dans l'énoncé des règles de rugby », nous voyons bien que seul un certain structuralisme a permis une telle identification entre le code de la route et une structure mathématique, et nous ne pouvons aujourd'hui que sourire et nous étonner que l'on ait pu confondre ainsi des objets sociaux avec leurs modèles mathématiques possibles, que l'on ait pu penser indispensable à la compréhension d'un match de rugby le modèle mathématique de ses règles, et que l'on ait pu rêver d'imposer les représentations mentales d'une poignée de mathématiciens à tout un peuple.

Bibliographie

Barbut (M.), *Mathématiques et sciences humaines*, Paris, PUF, t. 1, 1967 ; t. 2, 1968.

- Baruk (S.), *Échecs et Maths*, Paris, Le Seuil, 1973.
- Boudon (R.), *L'Analyse mathématique des faits sociaux*, Paris, Plon, 1967.
- Boudon (R.), *À quoi sert la notion de structure*, Paris, Gallimard, 1968.
- Boudon (R.), *Les Méthodes en Sociologie*, Paris, PUF, *Que sais-je ?*, 1969.
- Boudon (R.) et Lazarsfeld (P.), *Le Vocabulaire des sciences sociales*, Publ. CNRS/EHESS, Paris, Mouton & Co, 1965.
- Boudon (R.) et Lazarsfeld (P.), *L'Analyse empirique de la causalité*, Publ. CNRS/EHESS, Paris, Mouton & Co, 1966.
- Bourbaki (N.), « L'architecture des mathématiques : la mathématique ou les mathématiques », in F. Le Lionnais, *Les Grands courants de la pensée mathématique*, Paris, A. Blanchard, 2^e éd., 1962, pp. 35-47.
- Charlot (B.), « Histoire de la réforme des " maths modernes " , idées directrices et contexte institutionnel et socio-économique », *Bulletin APMEP*, n° 352, 1986, pp. 15-31.
- Dahan Dalmedico (A.), « Rénover sans se renier. L'École polytechnique de 1945 à nos jours », in B. Belhoste, A. Dahan Dalmedico, A. Picon (éds), *La Formation polytechnicienne 1794-1994*, Dunod, 1994, pp. 299-332.
- Dieudonné (J.), « Mathématiques vides et mathématiques significatives », in R. Apéry et al., *Penser les mathématiques, Séminaire de philosophie et mathématiques de l'ENS*, Paris, Le Seuil, 1982, pp. 15-38.
- Dreyfus (J.), « Implication ou neutralité des méthodes statistiques appliquées aux sciences humaines ; l'analyse des correspondances », *CREDOC*, 1975.
- Feldman (J.), « Les mathématiques appliquées aux sciences non physiques ». Éléments pour une étude : évolutions récentes à travers les *Mathematical Reviews*, Paris, GEMA/IDHA, Document n° 10, 1986.
- Flament (C.), *Théorie des graphes et structures sociales*, Paris, Mouton, 1965.
- Gillispie (C.), « Un enseignement hégémonique : les mathématiques », in B. Belhoste, A. Dahan Dalmedico, A. Picon (éds), *La Formation polytechnicienne 1794-1994*, Dunod, 1994, pp. 31-43.
- Grothendieck (A.), « La nouvelle Église universelle », *Survivre*, n° 9, août-sept. 1971; repris dans J.M. Lévy Leblond et A. Jaubert (éds), *(Auto)critique de la science*, Paris, Le Seuil, 1975 ; et dans R. Jaulin (éd.), *Pourquoi la mathématique*, Paris, Union Générale d'Éditions, 10/18, 1974.
- Guilbaud (G.-T.), *Mathématiques*, Paris, PUF, 1963.
- Guillaume (M.), *Modèles économiques*, Paris, PUF, 1971.
- Jaulin R.(éd.), *Pourquoi la mathématique*, Paris, Union Générale d'Éditions, 10/18, 1974.
- Kemeny (J.-G.), Snell (J.-L.), Thompson (G.-L.), *Algèbre moderne et activités humaines*, Paris, Dunod, 1960.
- Les Messaches (M. Armatte, J. Feldman, B. Leclerc, B. Monjardet, M.-A. Schiltz, M. Seltz-Laurière), « Mathématiques et sciences humaines : des années soixante aux années quatre-vingts », *La Vie des Sciences*, C.R.A.S., 1989, tome 6, n° 1, pp.56-76 ; n° 2, pp.139-165.
- Lévi-Strauss (C.), « Les mathématiques de l'homme », *Bulletin international des sciences sociales*, n° 6, UNESCO, 1954, pp. 643-653.

- Lévi-Strauss (C.), *Anthropologie structurale*, Paris, Plon, 1958.
- Lévy-Leblond (J.-M.) et Jaubert (A.) (éds), *(Auto)critique de la science*, Paris, Le Seuil, 1975.
- Lichnerowicz (A.), « Bilan d'une réforme », *Sciences et Avenir*, Numéro spécial « La crise des mathématiques », 1972.
- Ligny (C.), « Mathématiques innocentes », *Les Temps modernes*, octobre 1973.
- Maître (J.), *Sociologie religieuse et méthodes mathématiques*, Paris, PUF, Le sociologue, 1972.
- Nordon (D.), *Les Mathématiques pures n'existent pas*, Actes Sud, 1981.
- Rosenstiehl (P.) et Mothes (J.), *Les Mathématiques de l'action*, Paris, Dunod, 1965.
- Roy (B.), *Algèbre moderne et théorie des graphes orientées vers les sciences économiques et sociales*, Paris, Dunod, 1969.
- Samuel (P.), « Mathématiques, latin et sélection des élites », in R. Jaulin (éd.), *Pourquoi la mathématique*, Paris, Union Générale d'Éditions, 10/18, 1974, pp. 147-171.
- Schiltz (M.-A.), « La réforme des mathématiques des années soixante », in M. Armatte et alii (éds), *Le sujet et l'objet : confrontations*, Paris, CNRS, Centre Meudon-Bellevue, 1984.
- Sibony (D.), « À propos des mathématiques modernes », in R. Jaulin (éd.), *Pourquoi la mathématique*, Paris, Union Générale d'Éditions, 10/18, 1974, pp. 100-130.
- Thom (R.), « Mathématiques modernes et mathématiques de toujours », in R. Jaulin (éd.), *Pourquoi la mathématique*, Paris, Union Générale d'Éditions, 10/18, 1974, pp. 39-56.
- Thuillier (P.), *Le Petit savant illustré*, Paris, Le Seuil, 1980.

Les mathématiques, hier et demain

Jean-Pierre KAHANE

Je dois me livrer ici à un exercice de rétrospective et de prospective sur le mouvement des mathématiques. Les mathématiciens d'aujourd'hui sont d'ordinaire très prudents en ces matières, et il faut les comprendre. Quand nous relisons ce qu'ont écrit naguère les mathématiciens les plus profonds et les plus avertis (je pense à André Weil dans *Les grands courants de la pensée mathématique* [Le Lionnais, 1948] ou à Jean Dieudonné dans ses ouvrages récents [Dieudonné, 1987, par ex.]), nous voyons que leur pensée s'est enlisée dans un culte exclusif des mathématiques comme « honneur de l'esprit humain ». Si des mathématiciens de ce calibre se sont fourvoyés, ne vaut-il pas mieux pour chacun d'entre nous borner notre ambition à cultiver le mieux possible notre petit coin de jardin ?

Il s'agit donc d'être imprudent, et je le serai. Il est bien entendu que ma vue des mathématiques d'hier est partielle, et celle des mathématiques de demain plus qu'hasardeuse. Mais je tirerai avantage de mes souvenirs et d'expériences auxquelles j'ai été mêlé ; je pense en particulier aux études de la CIEM (Commission internationale de l'enseignement mathématique) depuis 1984, et au rapport de conjoncture du CNRS de 1989. Comme j'écris ce texte peu de temps après le Congrès international des mathématiciens, qui s'est tenu à Zurich en août 1994, il influencera aussi mon propos [*Proceedings*, 1995].

LES ANNÉES 1950-1960

Si on veut comprendre quelque chose au mouvement contemporain des mathématiques, il faut d'abord apprécier le changement d'échelle qu'a connu ma génération.

La décennie 1950

Au début des années 1950, quand j'étais attaché de recherche au CNRS, il paraissait dans le monde, recensés par les *Mathematical Reviews*, 3000 articles de mathématiques par an. Le *Bulletin signalétique* du CNRS recevait les plus importants, et la vingtaine de chercheurs en mathématiques que comptait alors le CNRS, concentrés

presque tous à Paris, avaient pour tâche de les parcourir et de les recenser. Chaque semaine, nous passions ainsi une après-midi autour d'une grande table, à picorer la pâture que nous avait préparée André Régnier, responsable de la partie mathématique du *Bulletin*, et à rédiger nos fiches de lecture. C'était l'occasion de nous rencontrer et cela facilitait beaucoup la tâche du trésorier syndical que j'étais alors. Aujourd'hui, le nombre d'articles recensés annuellement dans les *Mathematical Reviews* dépasse largement 100 000, et la partie mathématique du *Bulletin signalétique* a disparu à la fin des années 1960. Les effectifs de mathématiciens au CNRS n'ont pas crû dans la même proportion, parce que le CNRS apparaissait alors — et c'est encore le cas maintenant — comme un tremplin pour l'enseignement supérieur. Ainsi, au tableau de classement des chercheurs au 1^{er} janvier 1954, les mathématiciens se répartissaient de la manière suivante : directeurs de recherches, 0 sur 15 ; maîtres de recherches, 2 sur 92 ; chargés de recherches, 4 sur 216 ; attachés, 23 sur 580 ; stagiaires, 1 sur 240. Il faut y ajouter un nombre égal de mathématiciens classés en « théories physiques ».

Au cours des années 1950, la réputation mondiale des mathématiciens français était au plus haut : Jacques Hadamard, président d'honneur du congrès international des mathématiciens à Cambridge (USA) en 1950, Laurent Schwartz, médaille Fields en 1950, Jean-Pierre Serre en 1954, René Thom en 1958, soit trois Français dans les six premières médailles Fields.

Mais l'enseignement supérieur des mathématiques était en retard sur tous les plans. En 1949 on pouvait être licencié, diplômé et agrégé de mathématiques, sans savoir ce qu'est une matrice, ou une transformée de Fourier. Le *Valiron*, lourd et riche, nous paraissait ringard, et la *Topologie générale* de Bourbaki nous apparaissait le *nec plus ultra* de l'exposition mathématique. La Sorbonne, débordée, avait transféré les mathématiques à l'Institut Henri Poincaré, que le doyen Châtelet allait surélever d'un étage pour agrandir la bibliothèque. Des centres mathématiques se développaient en province. Mais la province était loin d'être ce qu'elle est devenue. Montpellier, lorsque j'y ai été nommé en 1954, était une des facultés les mieux pourvues : trois professeurs, deux maîtres de conférences, aucun autre poste d'enseignement. La première explosion s'est produite entre 1955 et 1960. C'était l'époque du MNDS, le Mouvement national pour le développement scientifique, animé par des mathématiciens (A. Lichnerowicz, M. Zamansky, etc.), et la réforme des études supérieures qui eut lieu à l'époque fut essentiellement l'œuvre des mathématiciens. Je n'insiste pas sur la nécessité de cette réforme : le texte d'André Revuz, publié dans cet ouvrage, nous replonge dans l'époque.

Les années 1960

La seconde explosion universitaire fut celle des années 1960, et elle fut mondiale. À la suite du lancement du premier Spoutnik en 1957, le président Eisenhower avait nommé une commission chargée d'examiner les moyens de rattraper le retard américain. Cette commission, loin de se limiter au domaine de la compétition spatiale, fit un

rapport sur l'ensemble du développement scientifique ; l'une des premières conclusions, si je me rappelle bien, fut que soient doublés les salaires des professeurs de sciences des universités américaines. Cela eut lieu, avec un effet d'entraînement dans tous les pays, auquel contribua, pour la part revendicative qui était la sienne, le jeune syndicalisme universitaire français. Nommé à la faculté d'Orsay en 1961, et secrétaire général du SNE Sup l'année suivante, j'ai vécu pleinement cette époque passionnante.

Les mathématiciens étaient relativement peu nombreux parmi les scientifiques, mais ils formaient un groupe assez homogène et très actif. C'était le cas en France, et aussi au plan mondial. Séminaires, colloques, visites, congrès, commençaient à structurer la vie scientifique. Les charges étaient lourdes, mais les carrières étaient rapides, créant chez les jeunes l'illusion qu'il en serait de même pour eux. Du moins avaient-ils, en France, situation unique au monde, je crois, la garantie de l'emploi bien avant la thèse ; et cela, au total, a produit d'excellents résultats.

On sait la part prise par le structuralisme dans la pensée dominante des années 1960. C'était les structures des langues, les structures mentales, les structures de la matière, les structures des sociétés. L'ambition de toutes les sciences était la simplicité totalisante, la découverte des structures fondamentales. Quelle était, par excellence, la science des structures ? Bien évidemment, la mathématique, la mathématique magistralement exposée par Bourbaki dans ses *Éléments de mathématiques*, dont la première partie, seule publiée, portait en grand sous-titre « les structures fondamentales de l'analyse ». Sur le roc de la théorie des ensembles l'arbre mathématique déployait ses branches maîtresses (algèbre, topologie, fonctions d'une variable réelle) et ses rameaux. À l'exception de la théorie des ensembles, tout était axiomatisé, rigoureusement enchaîné et exposé ; les structures (groupes, anneaux, corps, espaces topologiques, espaces métriques, espaces compacts, etc.) étaient parfaitement dégagées. Bourbaki visait (le titre des *Éléments* le montre) à être l'Euclide des temps modernes, et il l'est bien devenu. Son oeuvre est un acquis monumental, une référence de base, et il me semblerait tout aussi injuste de crier maintenant « À bas Bourbaki ! » qu'en un autre temps « À bas Euclide ! ».

L'opinion publique partageait et amplifiait les engouements scientifiques. La mathématique et ses structures apparaissaient dans leur simplicité trompeuse, comme le trousseau de clés universel capable d'ouvrir toutes les portes du savoir. Dans les drugstores américains, les mathématiques pour Papa faisaient fureur. Les ingénieurs, ignorant l'algèbre linéaire, s'y mettaient avec passion. De prétendues « mathématiques modernes » faisaient irruption dans l'enseignement, bien avant les réformes de programme, sous la forme de livres incorrects et prétentieux. Les enseignants des lycées, jeunes et vieux, découvraient la simplicité et la beauté des grandes structures. La notion de groupe, si simple, si puissante, si générale, ne devait-elle pas s'introduire précocement, d'autant qu'elle rejoignait les notions d'invariants et de relations d'équivalence, dont les psychologues montraient la pertinence chez l'enfant ? Ainsi, Piaget rejoignait

Bourbaki. Tout, le mouvement de la science à l'époque, les besoins des industries et des états, les tendances de l'opinion publique, tendait à placer au début des apprentis-sages ce qui était l'aboutissement d'une longue histoire, les structures de base des mathématiques.

LES MATHÉMATIQUES ACTUELLES

Leur caractère

Aujourd'hui, les structures mathématiques demeurent, mais la vision de leur rôle a changé. D'abord, nous voyons mieux comment elles se sont développées et cristallisées au cours du demi-siècle 1900-1950. Dans mon domaine, analyse et probabilités, elles sont liées à la recherche des fondements pour la théorie des fonctions d'une variable réelle (G. Peano), à la théorie de la mesure (É. Borel, H. Lebesgue), aux équations intégrales (V. Volterra, D. Hilbert), aux séries orthogonales (F. Riesz, E. Fischer), aux fonctions analytiques (P. Montel), à l'analyse de Fourier (N. Wiener), à la construction des processus stochastiques (A.N. Kolmogorov), et surtout à l'œuvre de Banach qui a structuré l'analyse linéaire. Bourbaki vient après, pour une ultime mise en forme. Ensuite, nous voyons qu'au sein même des mathématiques pures, ou, disons, endogènes, la recherche des structures n'a jamais été la préoccupation majeure ; résoudre des problèmes, prouver des théorèmes, poser de nouvelles questions, entretenir « l'herbier » mathématique — la formule est de R. Salem [Kahane et Salem, 1963] n'a jamais été tenu pour une activité mineure. Enfin, les mathématiques n'ont jamais cessé d'être alimentées de l'extérieur. La théorie des espaces de Hilbert est inséparable de la mécanique quantique (J. Von Neumann), l'analyse de Fourier des télécommunications (N. Wiener), la géométrie différentielle de la relativité générale (É. Cartan).

Nous ne voyons plus l'unité des mathématiques comme leur réduction ultime à la théorie des ensembles. Au contraire, la théorie des ensembles est devenue une théorie axiomatique comme les autres, susceptible de plusieurs versions qu'on peut choisir selon le contexte ; elle est bien plus intéressante et utile que lorsqu'elle apparaissait comme un fondement intangible. L'unité des mathématiques, pour nous, est faite de l'entrelacement des rameaux, de la rencontre parfois imprévue de méthodes très diverses pour attaquer un même problème. L'image de l'arbre est d'ailleurs trompeuse. Chaque mathématicien se trouve en un centre, qu'on appelle aussi un sommet, d'un réseau immense, très compliqué et en constante restructuration, comme un neurone dans un cerveau dont les synapses se construisent et se défont continuellement.

L'image des neurones n'est pas fortuite. La biologie impose ses modèles à la physique, à l'informatique, et il est naturel que les mathématiciens s'en emparent. Les systèmes de neurones, issus de la biologie, transformés par les physiciens et les informaticiens, convertis en systèmes mathématiques faisant l'objet d'études propres, vont se réinvestir en analyse numérique, dans l'utilisation de l'informatique parallèle pour d'énormes calculs statistiques, dans la vision artificielle et dans Dieu sait quoi.

Les mathématiques progressent en s'emparant d'objets de pensée qui leur viennent, déjà abstraits, d'autres pratiques ou d'autres sciences, en les malaxant et en les triturant jusqu'à ce qu'ils deviennent simples, généraux et puissants, à la disposition éventuelle d'autres utilisateurs. C'est, très schématiquement, l'explication que je vois à ce que E. Wigner appelle « l'efficacité déraisonnable des mathématiques dans les sciences de la nature ».

Les liens avec les autres sciences

Les mathématiques n'apparaissent plus aujourd'hui comme une clé universelle, mais elles sont bien plus liées qu'il y a trente ans aux autres sciences et aux applications [ICMI, 1988]. Je ne parle pas seulement de ce qui est classé administrativement en France comme « mathématiques appliquées », à savoir statistique et analyse numérique mais vraiment de l'ensemble des mathématiques (le CNRS, il y a quelque temps, avait bien créé une RCP (Recherche coopérative sur programme), intitulée « applications des mathématiques pures »). L'essor actuel des systèmes dynamiques a été précédé par leur utilisation massive en biologie (R. May) et en physique (M.J. Feigenbaum). Les ondes-lettes sont nées avec la physique théorique (A. Grossmann) et la prospection pétrolière (J. Morlet). La géométrie algébrique et la théorie des nombres sont essentiels dans les tests de primalité qui sont la clé du codage militaire (au cours des années 1980, le Pentagone avait décidé de classer, donc d'interdire de communiquer, tous les travaux relatifs à la divisibilité des nombres entiers, et il a fallu une action vigoureuse de la Société américaine de mathématiques pour le faire reculer). Les mathématiques financières, s'emparant du mouvement brownien, donnent les outils et les concepts mêmes (la « volatilité ») aux opérations, « calls » et « bids », constitutives de la fameuse bulle financière.

On sait bien qu'il n'y a pas de prix Nobel en mathématiques, mais il y a des prix Nobel mathématiciens : en économie (G. Debreu, L.-V. Kantorovitch, M. Allais, J. Nash), en chimie (H.A. Hauptman et J. Karle). Il y a maintenant des physiciens, ou des mathématiciens-physiciens, titulaires de la médaille Fields. Ludwig Faddeiev, physicien et mathématicien, présidait le comité des médailles Fields il y a cinq ans, et s'est vu plaisamment accuser (c'est lui qui le raconte) d'avoir transformé les « Fields medals » en « Quantum Fields medals » (la théorie des champs quantiques est une partie active de la physique théorique). Les récentes médailles Fields remises à Zurich (J. Bourgain, P.-L. Lions, J.-C. Yoccoz, E. Zelmanov) reviennent à des analystes et à un algébriste, avec une motivation d'application très sensible chez Pierre-Louis Lions. Le prix Nevanlinna, lui, va à l'interface mathématique-informatique, et il a été attribué à A. Wigderson pour ses travaux de complexité computationnelle.

Inutile d'insister : l'alimentation exogène des mathématiques est maintenant pleinement reconnue, par les non-mathématiciens comme par les mathématiciens.

LES RAPPORTS DE CONJONCTURE DE 1989 ET DE 1992

Ces rapports ont été réalisés par le comité national de la recherche scientifique suivant un schéma interdisciplinaire. Par exemple, physique des hautes énergies, physique nucléaire et astrophysique coopéraient sur le thème « univers, noyaux, particules » ; toutes les sciences sociales étaient impliquées dans « transformation des sociétés ».

Deux impressions se dégagent de ces rapports [CNRS, 1990 et 1993]. D'abord, il n'y est plus question de structures ; les mots clés sont « interactions » et « modèles ». Le rapport sur « transformation des sociétés » précise : les sciences sociales n'ont plus les ambitions de naguère, elles se satisfont de « séquences prédictives courtes ». Les modèles sont partout, et la simulation sur modèle remplace presque partout l'expérimentation. Ensuite, les mathématiques sont seules identifiées comme discipline : « interactions des mathématiques » (entre elles, et avec l'extérieur) dit le rapport 1989, « les mathématiques et leurs interactions », dit le rapport 1992.

De même qu'à l'époque des structures la mathématique se présentait comme la science même des structures, tout se passe comme si, à l'heure des interactions et des modèles, la mathématique, bonne fille, se présentait comme lieu privilégié des interactions et sciences de la modélisation. Et cela contient une bonne part de vérité : les mathématiques, malgré leur permanence et leur rigueur, sont extrêmement plastiques dans leur mouvement.

Est-ce que cela est pleinement reconnu dans l'enseignement ? Oui et non. Oui si l'on pense aux progrès de l'expérimentation sur les nombres et les figures dans l'apprentissage des mathématiques, sur les essais pour mobiliser des situations réelles, pour lier le calcul aux données réelles, pour développer ce qu'on appelle l'information chiffrée, et aussi, dans le choix même des démarches hypothético-déductives, sur l'importance donnée aux algorithmes dans les démonstrations (que l'on compare simplement la présentation de la théorie du PGCD à différentes époques). Non si l'on songe aux cris que fait encore pousser l'expression « mathématiques comme discipline de service », malgré les études internationales (voir entre autres [ICMI, 1988]) qui ont établi leur importance factuelle, potentielle, intellectuelle dans les enseignements universitaires.

STRUCTURES HIER, INTERACTIONS ET MODÈLES AUJOURD'HUI. DE QUOI DEMAIN SERA-T-IL FAIT ?

J'évoquerai seulement deux points : les mathématiques et l'informatique, les mathématiques et la vulgarisation. J'y rattacherai quelques considérations personnelles sur la communication et sur l'enseignement.

Les mathématiques et l'informatique

Les mathématiques sont inséparables des moyens d'écriture et de calcul. C'était déjà vrai dans l'antiquité sumérienne. Dans l'époque moderne, numération décimale, tabulation des fonctions usuelles, introduction et usage des logarithmes sont totalement liées à l'imprimerie. Quand les équations différentielles sont apparues, leurs solutions n'étaient recherchées que sous la forme de superpositions de fonctions connues, tabulées, et le champ de l'analyse s'élargissait sans cesse avec la tabulation de nouvelles fonctions. Ce n'est plus le cas aujourd'hui, et il faudrait en tirer les conclusions dans les programmes d'enseignement. Les ordinateurs ont d'abord rendu effectives les méthodes d'approximation utilisées dans les théorèmes d'existence. Aujourd'hui, avec le calcul formel, ils permettent de revenir aux formules closes, en termes de fonctions connues. Dans tous les cas, ils réhabilitent la notion d'algorithme, et la tendance est maintenant bien lancée : aux preuves très élégantes et non constructives de naguère, on préfère aujourd'hui les preuves constructives fondées sur des algorithmes. Une nouvelle algèbre s'est développée : celle des langages et des automates. Les mathématiques discrètes et leur composante logique ont une place reconnue, et une nouvelle analyse se crée : celle des échelles de complexité calculatoire. L'écriture des programmes est en train de changer la valeur des signes, et on doit s'attendre dans le long terme à une profonde influence de l'informatique sur tous les concepts mathématiques. Le thème n'est pas neuf : il a fait l'objet, en 1985, d'une étude internationale de la CIEM [ICMI, 1986] et il est de plus en plus familier à tous les mathématiciens.

Encore plus familière est l'utilisation des ordinateurs pour l'expérimentation numérique, ou l'exploration visuelle. Le métier de mathématicien change en conséquence ; à côté du papier et du tableau, l'écran fait partie du paysage.

La communication

J'insisterai sur un autre aspect qui n'est pas spécifique aux mathématiques. La recherche scientifique est faite de questions, de découvertes et de communication. Le mode de communication est essentiel dans la vie scientifique. Les ordinateurs, le courrier électronique, l'impression à distance changent la donne. Déjà les publications imprimées accusent un retard sérieux par rapport aux pré-publications, et on voit bien que le rythme d'accroissement des journaux imprimés destinés à la communication internationale ne peut pas se poursuivre indéfiniment. La communication électronique va devenir un enjeu de société, où les mathématiciens ont une cause spécifique à défendre : celle d'un réseau assez ramifié pour que les mathématiciens du monde entier, où qu'ils se trouvent, puissent communiquer avec ceux qui travaillent sur les mêmes questions.

En principe, l'informatique permet également le stockage de l'information et l'accès à l'information stockée. Mais il y a là, partiellement, un leurre. Le contenu réel des mathématiques n'est pas fait de mots-clés, mais plutôt d'articulations que la

première lecture ne fait pas forcément découvrir. On sait bien le profit que nous avons à lire les textes vieux d'un siècle. Comment déterrer les informations et les idées pertinentes demain dans un fatras répertorié sous la forme de bases de données ? Il y faudra des guides de lecture, un atlas des mathématiques sans cesse entretenu et revisité, et le rôle des grands novateurs sera tout autant de participer à l'établissement des cartes locales (grands exposés de congrès, grands articles d'exposition et de synthèse) que de faire des percées dans des domaines inexplorés.

La vulgarisation des mathématiques

Le premier niveau de la vulgarisation des mathématiques, la vulgarisation dans le milieu des mathématiciens eux-mêmes, c'est le rôle, de mieux en mieux assumé, des congrès internationaux, et en particulier de ces congrès pléniers quadriannuels organisés sous l'égide de l'Union mathématique internationale. C'est le rôle, déjà, de certains journaux de grande réputation, et de beaucoup de monographies. La vulgarisation, à ce niveau, c'est la participation des mathématiciens à la culture mathématique du milieu mathématique.

Mais la participation des mathématiques à la culture générale va bien au delà [ICMI, 1990]. En principe, elle est assurée par l'enseignement, à tous les niveaux, et de façon très différenciée dans l'enseignement supérieur selon l'orientation des étudiants. En fait, l'enseignement ne répond pas à tous les manques et ne tire pas parti de toutes les possibilités, même chez les jeunes. La floraison des initiatives récentes auprès des jeunes le montre, et ces initiatives exigent souvent la participation de chercheurs actifs. L'ouverture de portes d'entrée multiples vers les mathématiques s'impose pour toutes les couches de la population, car s'il est vrai que la spécificité des mathématiques est la généralité de leurs concepts et leur puissance, actuelle ou virtuelle, dans des domaines de connaissance et des pratiques très variées, il est nécessaire de favoriser leur accès au plus grand nombre. Est-ce possible ? Quand on constate la rapidité d'assimilation de beaucoup de concepts mathématiques modernes par certains physiciens, on pressent que la vulgarisation peut prendre des chemins inédits. Elle peut aussi anticiper des progrès à venir de l'enseignement ; et comme, parmi les progrès à venir, il y a la réhabilitation en bonne place et, me semble-t-il, pour tous les élèves, de la notion de démonstration mathématique, pourquoi ne pas en faire un thème de large vulgarisation, y compris à la télévision comme l'a fait Christopher Zeeman à la BBC ?

Quelques considérations sur l'enseignement

L'influence de l'informatique et la vulgarisation ont fait l'objet de deux études de la Commission internationale de l'enseignement mathématique [ICMI 1986 et 1990], et elles éclairent de grands pans de l'enseignement à venir.

Cet enseignement sera de plus en plus nécessaire, pour des élèves et des étudiants de plus en plus nombreux. La première difficulté sera de le faire reconnaître aux élèves,

aux parents, à l'opinion publique, aux pouvoirs politiques ; et peut-être, d'abord, aux enseignants eux-mêmes.

Une seconde difficulté sera le choix des matières. Nous avons pris un petit retard, assez facile à rattraper sur la géométrie. Nous avons un retard de deux siècles pour les probabilités. Malgré l'intrusion de l'informatique presse-bouton, nous commençons à prendre du retard dans la combinatoire et la logique inhérentes à l'informatique théorique. Que choisir comme sujets fondamentaux, constitutifs de la culture commune ? Que choisir en fonction des orientations des élèves, à tous les niveaux où elles se prennent ?

Une troisième difficulté tiendra à l'étendue des sujets. Pour nous en tenir au nombre, il est clair qu'on ne peut se restreindre au point de vue de L. Carnot : les nombres négatifs ne sont pas des nombres pour l'enseignement. On doit enseigner et faire pratiquer une foule de notions de nombres qui ne se complètent qu'après s'être contredites, et avoir heurté les systèmes de repère et les images mentales acquises au cours des apprentissages antérieurs (les fameux « obstacles épistémologiques »). Cela crée déjà des épreuves très dures pour les élèves, parce que les enseignants n'ont ni le temps ni la formation pour porter à chacun l'attention clinique nécessaire au moment où l'obstacle se fait douloureux. La reconnaissance d'une part personnalisée dans l'enseignement est urgente.

Une difficulté de fond, la quatrième peut-être, est que nous avons quelque chose d'essentiel à garder dans la tradition, et beaucoup de choses à bousculer et à changer. L'essentiel à conserver selon moi est le trait distinctif de la preuve mathématique : l'enchaînement rigoureux, totalement convaincant, qui va des hypothèses aux conclusions. C'est, secondairement, qu'un concept général (un cercle, un groupe) n'est jamais compris totalement, parce qu'il est riche de développements infinis ; il faut que l'enseignement soit poussé assez loin pour qu'une partie de cette richesse apparaisse. C'est, enfin, que l'exercice mathématique qu'est la recherche d'un problème est l'une des activités scolaires les plus proches de la recherche scientifique. Ce que nous avons à bousculer et à changer, c'est sans doute le fait de nous en tenir là. On peut saisir le contenu de propositions mathématiques sans en connaître les démonstrations, à l'aide d'exemples et de contre-exemples. On peut prendre connaissance de concepts sans chercher à les maîtriser. On peut varier les exercices (et leur mode de contrôle) de façon que les esprits les plus divers puissent les pratiquer et y prendre du plaisir.

Il y aura bien d'autres difficultés, donc un champ passionnant à labourer.

Quels courants souterrains ?

Les mathématiques apparaissaient hier comme science des structures, aujourd'hui comme science d'interactions et science des modèles. Elles étaient hier plus existentielles, aujourd'hui et demain sans doute, informatique aidant, plus constructives. Mais

les grandes tendances, nous l'avons vu, dissimulent des courants souterrains. Où sont, dans quels métiers, dans quelles pratiques, les courants souterrains d'aujourd'hui ?

Les mathématiciens, surtout les plus jeunes, vivent une pratique atomisée et à perspective courte. Mais le raccourcissement de la perspective crée son contraire, le désir d'élargir son champ de communication et d'intérêt, dans les mathématiques elles-mêmes, dans l'ensemble des sciences, dans l'ensemble de la société. Le thème « mathématiques et société » s'introduit dans le programme des congrès internationaux. Synthèse, histoire, philosophie deviennent des besoins professionnels. Ce n'est plus tout à fait un courant souterrain, mais ne faut-il pas aider à le mettre en lumière ?

Revisiter le passé, comprendre le présent, élargir les voies du possible dans l'avenir, voilà des besoins permanents et très actuels de toute l'humanité. Les mathématiques ne sont-elles pas, de façon originale et précieuse, partie prenante de programmes allant dans ce sens ?

Bibliographie

- CNRS, *Rapport de conjoncture*, 1989, Paris, CNRS, 1990.
- CNRS, *Rapport de conjoncture*, 1992, Paris, CNRS, 1993.
- Dieudonné (J.), *Pour l'honneur de l'esprit humain*, Paris, Hachette, 1987.
- ICMI, *The influence of computers and informatics on mathematics and its teaching*, ICMI Study, Cambridge University Press, 1986.
- ICMI, *Mathematics as a service subject*, ICMI Study, Cambridge University Press, 1988.
- ICMI, *The popularisation of mathematics*, ICMI Study, Cambridge University Press, 1990.
- Proceedings of the international congress of Mathematicians*, Zurich, 1994 ; Birkhäuser, 1995.
- Kahane (J.-P.) et Salem (R.), *Ensembles parfaits et séries trigonométriques*, Paris, Hermann, 1963.
- Le Lionnais (F.), *Les grands courants de la pensée mathématique*, Fontenay-aux-Roses, Cahiers du Sud, 1948.