

TROISIÈME PARTIE

**Regards sur l'enseignement
scientifique hors de France**

Introduction

La dimension internationale est un aspect essentiel des réformes qui affectent l'enseignement scientifique au XX^e siècle : les mouvements de réforme ne se limitent pas aux frontières françaises ; bien plus, elles semblent dans une certaine mesure se discuter, s'organiser, à l'échelle internationale. D'un autre côté, l'examen des réformes entreprises dans chaque pays révèle des réalités nationales très diverses, des spécificités historiques, institutionnelles et culturelles qui rendent singulières chacune des réformes dont il est question, comme le montrent les contributions de Gert Schubring, Christine Keitel et Werner Schneider pour l'Allemagne, celles de Fulvia Furinghetti pour l'Italie, de Guy Noël pour la Belgique, de Svetlana Petrova pour la Russie puis l'Union soviétique, ou encore celles de Jeremy Kilpatrick, Jon Ogborn et Anthony French pour le monde anglo-saxon. Au travers de ces particularités s'affirment cependant des problématiques communes qui nous permettent — et c'est un autre objectif de cette partie — d'élargir certains des questionnements posés à propos des réformes en France.

Ainsi, loin de former une annexe exotique présentant des éléments de connaissance sur des réformes d'ailleurs, les contributions de cette partie s'avèrent essentielles pour comprendre l'histoire et les enjeux des réformes de l'enseignement scientifique de ce siècle et approfondir un certain nombre des questions rencontrées précédemment dans le cadre de la France.

DIMENSION INTERNATIONALE ET SPÉCIFICITÉS NATIONALES

La première de ces contributions, due à Gert Schubring, met en scène les débuts de la CIEM (commission internationale de l'enseignement des mathématiques) et l'investissement remarquable de Félix Klein dans la dynamique des réformes de l'enseignement secondaire mathématique en Allemagne comme au plan international. Le bilan que dresse la CIEM au Congrès de Paris d'avril 1914 témoigne d'une activité impressionnante — en six ans plus de 10 000 pages de rapports ont été publiées par 16 sous-commissions nationales sur l'état de l'enseignement des mathématiques et les réformes faites ou à faire dans leurs pays ; mais il traduit également des engagements fort inégaux de ces pays : plus du tiers de cette production a été rédigé par la seule

sous-commission allemande. Quelle est donc la réalité de cette dynamique internationale qu'évoquent également dans leurs articles Jeremy Kilpatrick, Svetlana Petrova, Fulvia Furinghetti ? Quel est son impact ? Quelle est la situation dans les différents pays ?

Les projets de réformes se multiplient dans la première décennie du XX^e siècle dans nombre de pays. La nécessité de repenser l'enseignement des mathématiques s'inscrit alors, comme en France, dans le cadre de réformes globales et structurelles qui ont pour but d'adapter le système d'enseignement secondaire à la modernisation des sociétés. On retrouve ainsi, par exemple, sous des formes spécifiques, la question des deux cultures — culture scientifique et humanités — et des différentes filières de formation. Dans les contenus mathématiques mêmes, les différents projets affirment clairement des préoccupations communes. Bien plus, la CIEM a une influence majeure dans l'organisation d'une réflexion collective à l'échelle internationale (voir la contribution de Gert Schubring), même si les accents militants de certains discours du Congrès de Paris — des expressions telles que « notre mouvement réformiste », « les succès éclatants de notre propagande », « nos compagnons de lutte »¹ — expriment moins un sentiment général qu'une sensibilité spécifique à quelques pays dont l'Allemagne. Le sort de ces différents projets dépend par contre de particularités nationales. S'ils aboutissent en Allemagne — grâce à une stratégie spécifique initiée *d'en bas* —, ils se heurtent à différents facteurs d'ordre politique, culturel ou social en Russie, en Italie ou aux USA.

À la lecture de cette troisième partie, l'histoire de l'enseignement de la physique au début du siècle apparaît bien différente : le mouvement de réforme, étudié dans le seul cadre national français, n'a pas de dimension internationale affirmée et institutionnalisée. L'enseignement de la physique se caractérise avant tout par une grande diversité nationale que soulignent d'ailleurs plusieurs auteurs français ou étrangers² : aux États-Unis, par exemple, il se caractérise à la fois par la grande place accordée au travail de laboratoire exécuté par les élèves eux-mêmes et par une approche de la physique essentiellement descriptive et qualitative.

Dans les années 1950-1960, par contre, le caractère international des mouvements de rénovation de l'enseignement s'affirme tout autant en physique qu'en mathématiques. Il est porté par des organismes économiques internationaux comme l'OECE puis

(1) Ces expressions sont tirées d'un rapport de E. Becke au congrès de Paris sur l'introduction du calcul infinitésimal publié dans le tome 16 de la revue *L'Enseignement mathématique* qui rend compte de tous les travaux de la CIEM depuis sa création en 1908.

(2) Voir par exemple Smith (A.) et Hall (E.H.), *The Teaching of chemistry and physics in the secondary school*, London and Bombay, Longmans, Green, and Co, 1902, et des mêmes auteurs, le chapitre XIII « Physics teaching in other countries » (pp. 356-371) qui présente une comparaison entre les États-Unis, l'Allemagne, la Grande Bretagne et la France ; Mathias (E.) : *L'Enseignement supérieur de la physique en Angleterre*, Toulouse, Chauvin et fils, 1899 ; Efron (A.) : *The Teaching of physical sciences in the secondary schools of the United States, France and Soviet Russia*, New York City, Bureau of publications Teachers College, Columbia University, 1937 (en particulier les pages 257 à 279).

l'OCDE, par l'UNESCO et, dans le cas des mathématiques, par des organisations spécifiques telles la CIEM qui connaît alors une seconde jeunesse ou la CIEAEM (commission internationale pour l'étude et l'amélioration de l'enseignement des mathématiques) nouvellement créée¹. Le développement de ces mouvements n'est cependant pas le même pour les deux disciplines. Il y a, en physique, antériorité et influence déterminante d'un courant anglo-saxon ; en mathématiques les réflexions démarrent plus ou moins parallèlement aux USA et en Europe dès le début des années 1950, bien que certains pays, comme les États-Unis ou la Belgique (voir les contributions de Jeremy Kilpatrick et Guy Noël), prennent alors de l'avance dans la réalisation de projets expérimentaux.

Les particularités nationales jouent en effet un rôle déterminant dans la mise en œuvre, dans chacun des pays, de projets qui visent les mêmes types d'objectifs et apportent les mêmes types de réponses. Jon Ogborn, par exemple, s'interrogeant sur la spécificité anglo-saxonne en matière de réformes, met en avant plusieurs facteurs d'ordre institutionnel et d'ordre culturel et insiste, en particulier, sur la liberté d'expérimenter qu'offrent les pays à systèmes scolaires non centralisés dans lesquels les programmes sont arrêtés au niveau local ou régional et non au niveau national et où se développe ce qu'il appelle une logique évolutive ou de marché. Est-ce ou non un atout pour réformer l'enseignement ? Si, dans le cas des réformes de l'enseignement de la physique, la réponse de Jon Ogborn est positive — de même que celle de Gert Schubring à propos de la réforme de Félix Klein au début du siècle —, Jeremy Kilpatrick présente la décentralisation du système éducatif comme un des handicaps sérieux qui s'opposent à tout changement profond et durable dans l'enseignement des mathématiques aux États-Unis.

De la diversité des analyses et des réalités marquées au sceau des contextes nationaux se dégagent certaines lignes de force qui, pour l'essentiel, confirment celles dégagées dans les deux premières parties sur les enjeux et les principes des réformes. Deux questions sont particulièrement éclairées par l'ensemble de ces regards sur l'enseignement scientifique hors de France, celle du bilan des réformes — bilan plutôt désenchanté pour l'ensemble des auteurs — et celle du rôle et de la place des mathématiques.

PLACE ET RÔLE DES MATHÉMATIQUES DANS L'ENSEIGNEMENT : L'EXCEPTION FRANÇAISE

Il se dégage des études ici réunies une conclusion évidente : jamais en Allemagne, en Italie, aux États-Unis, les mathématiques n'ont eu la même valeur sociale et culturelle qu'en France. L'histoire des réformes de l'enseignement au XX^e siècle dans

(1) Une présentation des intérêts et des initiatives de la CIEAEM se trouve dans la préface de la première publication collective de la CIEAEM éditée par J. Piaget, E.W. Beth, J. Dieudonné, A. Lichnerowicz, G. Choquet et C. Gattegno : *L'enseignement des mathématiques*, Neuchâtel et Paris, Delachaux et Niestlé, 1955.

le monde, tant en mathématiques qu'en physique, souligne en effet l'exception française. Malgré la bataille de l'égalité scientifique des années 1920, qui marque un recul des « humanités scientifiques » par rapport à la réforme de 1902, les filières d'excellence se sont construites en France en s'appuyant en partie sur les mathématiques ; il n'en est pas de même ailleurs.

L'exemple de l'Italie que donne Fulvia Furinghetti montre la permanence, jusque dans les années 1960, d'une « perte de pouvoir des mathématiques dans la société ». Écartelé entre l'affirmation unique de son rôle formateur dans la filière classique et la prise en compte de son « utilité pratique » pour les filières techniques et professionnelles, l'enseignement des mathématiques ne s'est pas imposé comme une composante importante de la formation générale. Matière optionnelle — en concurrence avec le grec — dans la filière classique au début du siècle, les mathématiques comme les autres sciences sont victimes des conceptions néo-idéalistes de la réforme du ministre fasciste G. Gentile qui en fait des disciplines de second ordre auxquelles il refuse toute « signification humaniste » : elles sont alors laminées dans le lycée classique et disparaissent du haut enseignement technique dont la filière scientifique d'excellence est supprimée. Malgré les modifications structurelles de l'après-guerre, les programmes de l'enseignement secondaire, basés sur la réforme Gentile, ne furent pas remis en cause immédiatement.

Bien que le contexte soit radicalement différent aux États-Unis, Jeremy Kilpatrick note également, dans beaucoup d'états, un mouvement de remise en cause du rôle des mathématiques à l'école. C'est le fait, dans les premières décennies du siècle, de théoriciens de « l'efficacité sociale » pour qui les mathématiques sont inutiles pour la plupart des élèves de l'enseignement secondaire. Les enseignants réagirent en créant le *National Council of Teachers of Mathematics* (1920), mais les effets de ce mouvement sur l'enseignement primaire et secondaire furent de longue durée. Les États-Unis sont aujourd'hui le seul pays développé dans le monde où le calculus (le cours de calcul infinitésimal) n'est pas intégré à part entière dans le programme de l'enseignement secondaire, et où les cours d'algèbre et de géométrie sont enseignés, un an chacun, séparément.

L'analyse des réformes de l'enseignement de la physique aux États-Unis à partir des années 1950, les caractéristiques qu'en donne Jon Ogborn, permettent de préciser, par défaut, la place des mathématiques dans l'enseignement scientifique secondaire anglo-saxon. À la différence de la France, l'enseignement de la physique issu des réformes — les cours, les ressources (films, matériels, livres), les examens — y est principalement fondé sur une approche expérimentale, parfois empiriste, de première main lorsque c'est possible et sur une compréhension qualitative de la physique ; adapté aux nouvelles conceptions de la physique savante, l'enseignement s'inscrit toujours dans la tradition anglo-saxonne — plus qualitative que quantitative et *mathématisée* — des premières décennies du siècle.

À la différence de l'Italie et des États-Unis, l'Allemagne voit la réalisation des projets de réforme de l'enseignement des mathématiques du début du siècle ; F. Klein semble en effet avoir réussi à résoudre une question cruciale (voir la contribution de Gert Schubring) : celle de l'articulation du rôle — donc des contenus — des mathématiques dans les filières classiques d'une part, modernes et techniques d'autre part. Christine Keitel, reprenant cette histoire aux lendemains de la Seconde Guerre mondiale, fait état du retour à une « conception d'inspiration chrétienne-conservatrice de l'éducation » qui, ne reconnaissant qu'une valeur mineure aux sciences, diminue les horaires et les contenus mathématiques au *Gymnasium* (lycée). Avec l'instauration, au début des années 1970, de cours de mathématiques de différents niveaux au lycée — le cursus correspondant au cours de « mathématiques spécialisées » étant, de fait, dévalorisé dans la mesure où les résultats obtenus ne sont pas pris en compte pour l'examen final —, les mathématiques vont perdre toute valeur sélective dans le système secondaire allemand.

LE BILAN DES RÉFORMES : DES ACTEURS INCONTOURNABLES, LES ÉLÈVES ET LES ENSEIGNANTS

Enrichie par la diversité des contextes dans lesquels elle est menée, la réflexion sur le bilan des réformes est un des principaux thèmes de cette partie. L'appréciation, au début du siècle, des réformateurs américains sur les réformes des mathématiques en Europe pointe déjà des éléments clés de ces bilans au cours du siècle (J. Kilpatrick) : elles sont jugées irréalistes dans la mesure où la scolarisation de masse a commencé à gagner l'enseignement secondaire aux États-Unis et où le nombre d'enseignants convenablement qualifiés est insuffisant. Ainsi est posée d'emblée la question, décisive semble-t-il, de la nature des publics scolaires et de celle des enseignants.

Dans l'analyse qu'ils font des réformes de la « new math » ou du PSSC aux États-Unis, Jeremy Kilpatrick et Anthony P. French insistent à la fois sur le succès initial rencontré auprès de professeurs enthousiastes et d'élèves intéressés et sur les difficultés ou les échecs à « l'exportation » vers un public plus large. Comme le conclut A.P. French, élargissant le bilan à l'ensemble des réformes de la physique de ces années, « le problème d'atteindre l'élève moyen n'a pas été résolu » ; cela d'autant plus, ajouterons-nous, que le profil de cet élève moyen évoluait fortement à la suite des transformations structurelles de l'enseignement secondaire qui eurent lieu au cours des années 1960, tant dans les pays anglo-saxons (J. Ogborn et J. Kilpatrick), en Allemagne (C. Keitel et W. Schneider) ou en Italie (F. Furinghetti) qu'en Union soviétique où la réforme Kolmogorov subit « un dommage irréparable » du fait de la prolongation concomitante de la scolarité obligatoire au niveau secondaire (S. Petrova).

Ce constat pose en fait le problème des objectifs des réformes de l'enseignement scientifique. Christine Keitel, dans son analyse de la « réforme bureaucratique » des mathématiques en RFA, Andrée Tiberghien dans son introduction à l'article de A.P. French, explicitent les « philosophies » sous-jacentes à la plupart de ces réformes

dont la référence première fut le savoir académique structuré et présenté selon des finalités et des cohérences inhérentes à la discipline elle-même. Transposée à l'échelle d'un enseignement de masse, cette façon de voir apporta généralement plus de problèmes que de solutions, tant au niveau des élèves que de leurs enseignants.

Les enseignants sont en fait plus souvent considérés par les auteurs comme des freins que comme des éléments moteurs des différentes réformes. Une des leçons que tire A.P. French de l'expérience du PSSC est que le professeur type de l'enseignement secondaire, personnage crucial pour la réussite d'un projet, ne peut être considéré comme « un substitut de scientifique ». Or, cette remarque nous semble avoir une double portée décelable dans les différentes contributions : elle vise, d'une part le statut des connaissances disciplinaires requises, d'autre part le poids des contraintes spécifiques du système éducatif systématiquement sous-évaluées.

Réformer les programmes de mathématiques aux U.S.A. depuis 1900 : réalité et imaginaire

Jeremy KILPATRICK ¹

En mathématiques, il semble qu'une réforme de l'enseignement dure, au moins pour ce siècle, à peu près le temps d'une génération. De ce point de vue, deux périodes privilégiées paraissent se dégager au XX^e siècle, l'une au début, l'autre à partir du milieu des années 1950. La première vague de réforme visait à donner aux mathématiques scolaires un caractère scientifique, à renforcer la cohérence interne de la discipline et ses rapports avec les autres disciplines. La seconde visait à adapter l'enseignement aux mathématiques modernes, à utiliser les concepts des mathématiques abstraites comme bases pour la réforme. Dans chaque cas, l'impulsion pour lancer la réforme est venue largement des mathématiciens eux-mêmes [Wheeler, 1989 ; Wojciechowska, 1989] ; ceux-ci ont cherché à refaire les mathématiques scolaires à l'image de la science mathématique, telle qu'ils la voyaient à leur époque.

Un indice de la cohésion d'une communauté est la vitesse à laquelle des mouvements de réforme s'y diffusent. Au XX^e siècle, la communauté internationale que forment ceux qui sont concernés par l'enseignement des mathématiques, tout en grandissant, s'est de plus en plus structurée. Comme activité professionnelle et comme discipline académique, les mathématiques disposent d'organisations internationales, ce qui a aidé le domaine connexe de l'enseignement mathématique à affirmer son identité. Aujourd'hui, l'information sur les réformes de l'enseignement des mathématiques se propage dans le monde entier presque instantanément, si bien que n'importe quel pays peut imiter ou rejeter ce que d'autres pays font ou proposent de faire.

Les États-Unis offrent une intéressante étude de cas sur la manière dont les réformes de l'enseignement se développent dans la pratique. En effet, d'un côté, le dynamisme des États-Unis, leurs ressources et leur attitude pragmatique les rendent ouverts à l'expérimentation et, d'un autre côté, leur grande taille, la diversité de leur population, leur système scolaire décentralisé et leur conservatisme en matière d'édu-

(1) Traduit avec l'aide de P. Herbst et E. Rose.

cation s'opposent à tout changement profond et durable. C'est pourquoi un mouvement de réforme se développant sous une certaine forme dans des pays qui ont une forte tradition d'enseignement mathématique et un système scolaire centralisé, peut prendre une forme toute différente quand il se produit aux États-Unis.

Nous voudrions montrer que ces deux moments décisifs dans l'histoire des réformes de l'enseignement des mathématiques au cours de ce siècle, quelle que soit la forme qu'ils ont pris dans d'autres pays, sont restés aux États-Unis davantage au stade des intentions qu'à celui des réalisations effectives. Les effets qu'on en attendait ne se sont pas produits. Les effets qui se sont produits ne sont pas ceux que l'on attendait.

LA PÉDAGOGIE DES MATHÉMATIQUES COMME SPÉCIALITÉ PROFESSIONNELLE

Enseigner les mathématiques est une activité immémoriale, qui nous ramène au début de l'histoire, lorsque les hommes ont commencé à se transmettre des techniques de calcul en même temps qu'ils développaient un langage écrit [Hoyrup, 1980]. Comme spécialité professionnelle, cependant, l'enseignement mathématique est relativement récent. La formation de ceux qui se destinaient à enseigner les mathématiques était certainement l'une des fonctions de l'université médiévale [Ong, 1962, ch. 8]. Mais c'est seulement dans la dernière partie du XIX^e siècle, lorsque des systèmes scolaires nationaux se sont mis en place et que la formation des professeurs pour ces écoles a été transférée dans les universités, que des recherches sur la pédagogie des mathématiques ont commencé à être menées par des enseignants qui se considéraient eux-mêmes comme des *mathematics educators* [Kilpatrick, 1992].

Les mathématiciens aux États-Unis ont commencé à former une véritable communauté vers la fin du XIX^e siècle, en grande partie grâce aux efforts d'Eliakim Hastings Moore à l'Université de Chicago [Parshall, 1984]. E.H. Moore a été l'un des fondateurs de l'American Mathematical Society (AMS) en 1894. À cette époque, des mathématiciens américains, en particulier ceux des nouvelles universités du Middle West, considéraient les professeurs de mathématiques enseignant dans les écoles comme leurs collègues, et de grands efforts ont été accomplis pour les inclure dans les activités des associations de mathématiciens nouvellement créées [Birkhoff, 1977, pp. 44-45]. Quand Moore fut élu président de l'AMS en 1900, il « consacra tous ses efforts pendant sa présidence à développer la pédagogie des mathématiques en Amérique » [Parshall, p. 327]. Par la suite, utilisa son titre d'ancien président pour favoriser l'unification de toutes les branches des mathématiques dans les programmes scolaires [E.H. Moore, 1903/1967]. Il défendit l'approche expérimentale dans l'enseignement mathématique à tous les niveaux de l'enseignement secondaire et supérieur, et la développa dans le département de mathématiques à Chicago pendant les quarante années qu'il enseigna dans cette université.

Pour que la pédagogie des mathématiques soit reconnue comme une spécialité professionnelle, il fallait cependant davantage que des encouragements de la part des

mathématiciens. Il fallait une prise de conscience de ceux mêmes qui travaillaient à plein temps sur la pédagogie des mathématiques. Les deux principaux fondateurs de la pédagogie des mathématiques aux États-Unis, Jacob William Albert Young et David Eugene Smith [Jones et Coxford, 1970, p. 42] ont tous les deux été nommés autour de 1900 dans des institutions nouvelles consacrées à la formation des enseignants. J.W.A. Young a été nommé professeur assistant de pédagogie des mathématiques en 1897 à l'Université de Chicago fondée en 1892. D.E. Smith a été nommé professeur de mathématiques en 1901 au New-York College of Teachers [Swetz, 1987], créé en 1887 et rattaché à la Columbia University en 1890.

L'année 1900 est une année cruciale pour la pédagogie des mathématiques aux États-Unis. Elle voit la publication de l'ouvrage de D.E. Smith *The Teaching of Elementary Mathematics*, le premier manuel américain moderne sur les méthodes d'enseignement des mathématiques. Elle voit aussi la publication de l'ouvrage de J.W.A. Young *The Teaching of Mathematics in the Higher Schools of Prussia*, première tentative aux États-Unis d'évaluation de l'enseignement mathématique dans un autre pays.

Dans son livre *The Teaching of Mathematics in the Elementary and the Secondary School*, dont la première édition est de 1906, J.W.A. Young remarquait que l'Allemagne, la France et l'Angleterre avaient changé leurs programmes pendant la dernière décennie. Tournant son regard vers les États-Unis, il y voyait peu de progrès jusqu'à présent, même s'il croyait en un avenir prometteur. Au mieux, notait-il en examinant les programmes scolaires de mathématiques aux États-Unis, « on pourrait améliorer les programmes en Amérique en suivant la même direction générale que dans les pays européens précédemment cités » [Young, 1906/1925, p. 182].

UNIFIER L'ENSEIGNEMENT DES MATHÉMATIQUES

Une réforme du genre de celle que J.W.A. Young voyait se mettre en place en Europe aurait sans doute été possible, mais elle n'eut pas lieu. Felix Klein eut plus de succès en obtenant l'introduction en Allemagne de la géométrie analytique et du calcul infinitésimal dans le programme des écoles secondaires, et d'autres pays européens firent de même. Aux États-Unis, en revanche, une telle transformation avait paru irréaliste, semble-t-il, probablement parce qu'à la fin du siècle dernier, la scolarisation de masse avait commencé à gagner l'enseignement secondaire, et qu'en même temps le nombre de professeurs suffisamment qualifiés pour enseigner des cours de mathématiques supérieures avait diminué.

On se battit pour mettre en œuvre le projet de E.H. Moore [1903/1967] consistant à unifier l'enseignement des différentes branches des mathématiques. La *High School* de l'Université de Chicago se trouva au centre de cette entreprise d'unification connue sous le nom de mouvement de Chicago [Sigurdson, 1962, pp. 143-154]. En 1909, quelques membres de la *Central Association of Science and Mathematics Teachers*,

association basée à Chicago, tentèrent d'utiliser des « problèmes réellement appliqués » pour unifier les programmes [*ibid.*, pp. 217-238], mais cette tentative échoua rapidement. Une opposition conservatrice apparut sur l'East Coast — en particulier de la part de D.E. Smith —. Même J.W.A. Young [1906/1925, p. 102], qui pourtant était à Chicago, là où le mouvement était le plus fort, exprima des réserves sur l'idée d'un programme unifié.

La croissance de la population générale et l'augmentation considérable du nombre des élèves terminant leurs études secondaires entraînaient des transformations dans les écoles, contribuant ainsi au rejet des innovations dans les programmes de mathématiques. De plus, l'apparition de la *Junior High School* vers 1915 commença à modifier les termes du débat sur l'unification des programmes. « Les mathématiques générales » avaient été proposées comme un moyen de réorganiser les programmes des niveaux 7 à 9, mais elles devinrent finalement un enseignement pour ceux que l'on considérait comme incapables d'étudier l'algèbre. « Vers 1930, la plupart des projets sérieux pour unifier les programmes avaient été abandonnés » [Sigurdson, 1962, p. 538; voir aussi Stanic, 1986].

Paradoxalement, ni D.E. Smith, ni J.W.A. Young, les deux fondateurs de la pédagogie des mathématiques aux États-Unis, ne défendirent alors l'idée d'une réforme fondamentale des mathématiques scolaires. Autre paradoxe : au moment même où la pédagogie des mathématiques s'imposait comme une spécialité aux États-Unis, le rôle des mathématiques à l'école était mis en question. Les théoriciens dits de l'efficacité sociale (*social-efficiency*) contestaient l'existence d'un enseignement des mathématiques à l'école. Dans beaucoup d'États, on en arrivait à considérer les mathématiques comme inutiles à la plupart des élèves de l'enseignement secondaire ; on envisageait de limiter les cours de mathématiques dans les *High Schools* aux seuls élèves qui voudraient poursuivre des études [Betz, 1950 ; Stanic, 1986]. C'est pour réagir à ces attaques contre les mathématiques à l'école que le *National Council of Teachers of Mathematics* fut fondé en 1920 :

« L'enseignement des mathématiques a été attaqué de toutes parts. De prétendus pédagogues réformateurs ont bricolé avec les programmes, et, ne connaissant ni la discipline ni son intérêt, ils ont complètement supprimé les mathématiques ou bien les ont rendu totalement facultatives. » [Austin, 1921, pp. 12]

Au cours des années 1920, on commença à reporter des questions d'arithmétique scolaire élémentaire dans les classes supérieures à la suite des recherches menées sur la disponibilité (maturité scolaire), et quand l'« éducation nouvelle » (*progressive education*) commença à se développer dans les années 1930, l'étude conventionnelle de l'arithmétique disparut entièrement de certaines écoles. Les enfants y apprenaient les opérations sur les fractions en faisant de la couture ou en vendant des bonbons [Kilpatrick, 1992]. Faisant un retour en 1950 sur ce qu'il appelait « cinq décennies de réforme des mathématiques », William Betz soutenait que les dernières décennies

avaient vu une baisse des exigences et une tendance à prescrire des changements de programme comme remède à toute crise de l'école.

LE MOUVEMENT DES MATHÉMATIQUES MODERNES

La réforme des programmes appelée parfois la *New Math*, qui a commencé au milieu des années 1950 aux États-Unis, trouve en grande partie son origine dans les universités. Les mathématiciens universitaires à l'origine du mouvement des mathématiques modernes étaient spécialisés plutôt en mathématiques pures qu'en mathématiques appliquées. C'est pourquoi, mettant l'accent sur la théorie des ensembles et l'axiomatique, non seulement ils regrettaient l'absence de questions de mathématiques pures dans les programmes scolaires, mais encore ils considéraient que les mathématiques pures fournissaient le cadre pour refondre les programmes.

À l'origine, l'aménagement des programmes a été focalisé sur le type d'élève *college capable*, c'est-à-dire de l'élève susceptible d'entrer à l'université et d'y poursuivre des études scientifiques à la condition que l'enseignement des mathématiques y soit plus stimulant, plus intelligible et plus élégant. Au début des années 1960, plusieurs projets initialement consacrés à une révision des programmes scolaires au niveau secondaire, commencèrent également à s'attaquer à l'enseignement élémentaire. Quand le gouvernement fédéral lança son programme de lutte contre la pauvreté, les élèves dits défavorisés devinrent l'enjeu de la réforme de l'enseignement. Il s'agissait là d'un défi beaucoup plus difficile pour les réformateurs. Des idées qui semblaient bien marcher dans les *High Schools* des banlieues résidentielles voisines des universités avec des professeurs enthousiastes et des élèves intéressés, échouaient souvent quand elles étaient appliquées à des écoles moins favorisées. Les critiques commencèrent à monter, et un nombre grandissant de parents et d'éducateurs en arrivèrent à penser que la *New Math* avait échoué. La vague de réforme reflua et le « Retour aux savoirs fondamentaux » — *Back to Basics* — devint le slogan des manuels et des instructions officielles.

Le mouvement des mathématiques modernes a fait l'objet d'un débat aux États-Unis, mais c'est uniquement dans la mesure où l'on a utilisé la peur de l'Union soviétique pour obtenir l'appui de l'opinion publique et des subventions fédérales. Sinon, le mouvement est resté une affaire de spécialistes. L'origine de la réforme a été la crainte de manquer de diplômés en mathématiques. La réforme elle-même reposait sur des expériences d'enseignement des mathématiques menées au niveau du *college* (premier cycle universitaire) et sur des tentatives pour laisser les enfants découvrir eux-mêmes des concepts mathématiques. On mit en place des projets s'inspirant des programmes d'armement ou de lutte contre des maladies. On réunit des équipes d'experts et des moyens correspondants [voir Howson, Keitel, et Kilpatrick, 1981, pour des exemples de tels projets]. Mais, lors du lancement de ces projets et de la conception du matériel pédagogique, on ne prit guère en compte les programmes scolaires et les expériences d'enseignement réalisées dans d'autres pays.

Or la réflexion sur l'enseignement des mathématiques évoluait beaucoup hors des États-Unis. L'Organisation européenne de coopération économique (OECE) organisa plusieurs conférences à la fin des années 1950 et au début des années 1960 pour étudier les pratiques d'enseignement dans les pays membres [Howson, 1984]. La Commission internationale de l'enseignement mathématique (CIEM), qui avait été créée en 1908 à l'instigation de D.E. Smith, mais qui avait été mise en sommeil dans l'Entre-deux-guerres, fut réactivée en 1952. Dans les années 1960, la CIEM commença à travailler avec l'UNESCO, réalisant une série de colloques et de publications [Kahane, 1988]. En 1969, la CIEM inaugura à Lyon la série de ses congrès internationaux sur l'enseignement des mathématiques. Des Américains participèrent à ces réunions, autant pour s'informer sur les transformations de l'enseignement des mathématiques à l'étranger que pour présenter ce qui se faisait dans leur pays. Par des voyages, par la participation à des organisations et des conférences internationales, par des contacts avec des étudiants étrangers et par des visites de collègues d'autres pays, les enseignants américains de mathématiques jouèrent un rôle de plus en plus actif dans la communauté internationale qui s'était organisée depuis les années 1950.

CHANGEMENTS RÉELS ET IMAGINAIRES

Ni le mouvement d'unification des mathématiques au début du siècle, ni le mouvement de la *New Math* dans les années 1950 et 1960 n'eurent les effets attendus sur les programmes américains, mais l'un et l'autre entraînaient des transformations substantielles dans la communauté américaine des enseignants de mathématiques [Stanic et Kilpatrick, 1992]. Des transformations similaires se produisirent ailleurs, en particulier pendant les années 1970 et 1980, lorsque les tentatives pour moderniser l'enseignement ont été suivies dans beaucoup de pays par une augmentation rapide du nombre des *mathematics educators* et un formidable développement de leurs activités de recherche. Dans ces autres pays, cependant, la réforme de l'enseignement a été plus ciblée et semble avoir eu davantage de succès.

La circulation des idées par-dessus les frontières nationales a été intense, à tel point que l'on peut parler d'un « enseignement canonique » à l'échelle internationale [Howson et Wilson, 1986, p. 19], même si un examen attentif révélerait bien des différences nationales [Howson, 1991]. Depuis l'époque de la réforme des mathématiques modernes, beaucoup de pays ont revu leur enseignement de mathématiques pour y inclure davantage d'applications, pour y développer l'usage de l'informatique et pour favoriser les initiatives individuelles. On trouve des programmes de ce genre aux États-Unis, mais, dans la pratique, les transformations sont limitées et l'on est très loin des déclarations des chefs de file des *mathematics educators*.

Aujourd'hui, beaucoup d'Américains voudraient, semble-t-il, que soit adopté un programme national en mathématiques, comme dans d'autres disciplines, avec un système national d'évaluation pour l'imposer dans les faits [Chira, 1991]. Motivés par

ce qu'on a considéré comme une crise de l'école, ils sont passés du mythe de la décentralisation à celui des modèles nationaux. Les États-Unis sont le seul pays développé dans le monde à maintenir séparés les cours d'algèbre et de géométrie — qui durent chacun une année — et à considérer toujours le calcul infinitésimal comme un cours de type premier cycle universitaire, plutôt que de l'intégrer systématiquement dans le programme de l'enseignement secondaire, même s'il peut y être proposé. Faute d'une autorité nationale compétente pour changer les programmes, la structure de l'enseignement américain est sortie à peu près inchangée de chaque vague de réforme.

Le rapport de D.E. Smith, J.W.A. Young et W.F. Osgood, commissaires américains dans la première CIEM [1912] sur la situation aux États-Unis, contient un diagnostic intéressant sur l'application de la réforme. Reconnaisant que « les dernières décennies n'ont pas vu de modifications radicales de l'enseignement secondaire comparables à celles qui ont été entreprises dans plusieurs pays européens » [p. 26], ils concluent :

« Il est sans doute juste d'affirmer que la plupart des expériences réalisées aux États-Unis pour enseigner les mathématiques élémentaires ont été des tentatives limitées, et que celles qui ont été menées à bon escient et convenablement sont plus rares que dans n'importe quel autre grand pays dans le monde [...]. Alors qu'il est plus facile aux États-Unis de tester de nouvelles idées au petit bonheur dans des institutions et des endroits isolés, cette totale liberté y rend exceptionnellement difficile l'introduction systématique des améliorations souhaitables [...]. Considéré dans son ensemble, le pays est très conservateur en matière de changements. Il semblerait que les expériences foisonnent. Cependant une seule école, qui explore une voie nouvelle et supposée meilleure, retient davantage l'attention que des milliers d'autres qui suivent tranquillement les sentiers battus. Pour introduire un changement dans tout le pays, il faudrait non seulement plaider la même cause dans des milliers de forum indépendants, mais aussi l'emporter dans chacun d'entre eux sur l'esprit de conservatisme. » [pp. 12-13]

En vérité, le goût de l'expérimentation aux États-Unis est un vernis qui cache un profond conservatisme en matière de pédagogie. Ce conservatisme a contribué à geler pendant de longues années les vellétés de réforme des programmes. Le prestigieux *National Advisory Committee on Mathematical Education* (Comité consultatif national sur l'enseignement mathématique) [1975], après avoir examiné la mise en œuvre de la réforme de la *New Math*, arrivait à la conclusion que « l'impact réel en a été modeste par rapport à ce qu'on en espérait » [p. 21]. Selon Hilton [1981, p. 77], la véritable *New Math* n'a touché peut-être que 15 % des élèves américains.

DES MÉTAPHORES POUR LES CHANGEMENTS DANS LES PROGRAMMES

Des chercheurs utilisent parfois la métaphore du mouvement pendulaire pour caractériser ce qui paraît être, dans l'enseignement des mathématiques, un balancement plus ou moins uniforme entre des approches « centrées sur la discipline » et des

approches « centrées sur les élèves ». D'autres métaphores, cependant, rendent mieux compte de l'irrégularité et de l'imprévisibilité de ces changements [Kilpatrick, 1981].

À certains égards, une réforme des programmes est comme un raz de marée ou une formidable tempête, qui se déplacent en laissant derrière eux des bouleversements profonds. Des métaphores météorologiques ou climatiques dépeignent la manière dont des propositions globales de réforme opèrent différemment selon les pays. Les deux épisodes marquants de réformes dans l'enseignement au cours de ce siècle peuvent être assimilés à des raz de marées ou à des ouragans balayant la planète entière.

À d'autre égards, une réforme de l'enseignement est comme un tremblement de terre, concentré en un seul point et qui ébranle des structures en place. Des métaphores géologiques dépeignent l'aspect local et irréversible d'une réforme des programmes. Les deux épisodes de réformes, au début et au milieu de ce siècle, ont laissé ce qu'on pourrait appeler des « lignes de faille » [Stanic et Kilpatrick, 1992] dans le paysage de l'enseignement des mathématiques. D'un côté de la ligne la situation est restée inchangée, de l'autre côté on peut voir le résultat de la réforme.

Par ces métaphores, les auteurs cherchent à clarifier ce qui, selon eux, a changé et ce qui n'a pas changé. Aux États-Unis, quand les deux vagues de réformes, au moins dans les mots, ont reflué, elles ont laissé la ligne du rivage à peu près inchangée. Cette ligne représente non seulement la structure du programme telle qu'elle s'exprime dans l'organisation générale des cours et dans chacun des thèmes qui y sont traités, mais aussi dans la pratique d'enseignement. Les lignes de faille que l'on aperçoit dans l'histoire de l'enseignement mathématique ne marquent pas les débuts d'un enseignement réformé. En revanche, elles signalent, dans les premières années du siècle, l'émergence d'une communauté de didacticiens (*educators*) en mathématiques et, dans les années 1955-1970, le renouveau et la consolidation de cette communauté.

Des Américains ont essayé d'aborder la réforme des mathématiques scolaires d'une manière pragmatique : déterminer ce qui ne va pas et le remplacer par quelque chose qui marche. Ils ont traité la transformation des pratiques scolaires comme s'il s'agissait d'un problème technique plutôt que d'un problème humain. L'enseignement trouve sa justification, selon eux, dans les faits empiriques, plutôt que dans des idéaux éducatifs. Ils ont en général évité d'impliquer l'élève et le professeur moyens, sans même parler du public, dans les débats sur l'enseignement. Étant donné cette attitude, et compte tenu d'un système scolaire décentralisé, il n'est peut-être pas surprenant que le XX^e siècle ait connu, au moins pour ce qui concerne l'enseignement des mathématiques aux États-Unis, l'illusion plus que la réalité du changement.

Bibliographie

- Austin (C.M.), « The National Council of Teachers of Mathematics », *Mathematics Teacher*, n° 14, 1921, pp. 1-4.

- Betz (W.), « Five Decades of Educational Reforme — Evaluation and Challenge », *Mathematics Teacher*, n° 43, 1950, pp. 377-387.
- Birkhoff (G.), « Some Leaders in American Mathematics : 1891-1941 », in D. Tarwater (éd.), *The Bicentennial Tribute to American Mathematics : 1776-1976*, Washington, DC : Mathematical Association of America, 1977, pp. 25-78.
- Chira (S.), « Educators Draw Outline for Nationwide Testing », *The New York Times*, 7 août 1991, p. 12.
- Hilton (P. J.), « Avoiding Math Avoidance » in L.A. Steen (éd.), *Mathematics Tomorrow*, New-York, Springer, 1981, pp. 73-82.
- Howson (A.G.), « Seventy Five Years of the International Commission on Mathematical Instruction », *Educational Studies in Mathematics*, n° 15, 1984, pp. 75-93.
- Howson (G.), *National Curricula in Mathematics*, Leicester, England, Mathematical Association, 1991.
- Howson (G.), Keitel (C.) & Kilpatrick (J.), *Curriculum Development in Mathematics*, Cambridge, Cambridge University Press, 1981.
- Howson (G.) & Wilson (B.), *School Mathematics in the 1990s*, Cambridge, Cambridge University Press, 1986.
- Høyrup (J.), « Influences of Institutionalized Mathematics Teaching on the Development and Organization of Mathematical Thought in the Pre-Modern Period. Investigations in an Aspect of the Anthropology of Mathematics », *Studien zum Zusammenhang von Wissenschaft und Bildung*, Materialien und Studien, Band 20, pp. 7-137, Bielefeld, FRG : Universität Bielefeld, Institut für Didaktik der Mathematik, 1980.
- International Commission on the Teaching of Mathematics, *Report of the American Commissioners of the International Commission on the Teaching of Mathematics* (U.S. Bureau of Education Bulletin, 1912, n° 14), Washington, DC : U.S. Government Printing Office, 1912.
- Jones (P. S.) & Coxford (A. F. Jr.), « Mathematics in the Evolving Schools », in P.S. Jones (éd.), *A History of Mathematics Education in the United States and Canada* (32nd Yearbook of the National Council of Teachers of Mathematics, pp. 9-89), Washington, DC : NCTM, 1970.
- Kahane (J.- P.), « ICMI and Recent Developments in Mathematical Education », in B. Winkelmann (éd.), *Wissenschaftliches Kolloquium Hans-Georg Steiner zu Ehren* (Occasional Paper n° 116, pp. 13-23), Bielefeld, FRG : Universität Bielefeld, Institut für Didaktik der Mathematik, décembre 1988.
- Kilpatrick (J.), « Research on Mathematical Learning and Thinking in the United States », *Recherches en Didactique des Mathématiques*, n° 2, 1981, pp. 363-379.
- Kilpatrick (J.), « A History of Research in Mathematics Education », in D.A. Grouws (éd.), *Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning*, New-York, Macmillan, 1992, pp. 3-38.
- Moore (E.H.), « On the Foundations of Mathematics » (publié en 1903), *Mathematics Teacher*, n° 60, 1967, pp. 360-374.
- National Advisory Committee on Mathematical Education, *Overview and Analysis of School Mathematics : Grades K-12*, Reston (VA), National Council of Teachers of Mathematics, 1975.

- Ong (W. J.), *The Barbarian Within, and Other Fugitive Essays and Studies*. New-York, Macmillan, 1962.
- Parshall (K. H.), « Eliakim Hastings Moore and the Founding of a Mathematical Community in America », 1892-1902, *Annals of Science*, n° 41, 1984, pp. 313-333.
- Schubring (G.), « Factors Determining Theoretical Developments of Mathematics Education as a Discipline — Comparative Historical Studies of its Institutional and Social Contexts », in H.-G. Steiner & A. Vermandel (éds.), *Foundations and Methodology of the Discipline Mathematics Education (Didactics of Mathematics)* (Proceedings of the 2nd TME-Conference, pp. 161-173), Bielefeld & Antwerp, University of Bielefeld & University of Antwerp, 1988.
- Sigurdson (S. E.), « The Development of the Idea of Unified Mathematics in the Secondary School Curriculum : 1890-1930 » (Doctoral dissertation. University of Wisconsin, 1962), *Dissertation Abstracts*, n° 23, 1997.
- Smith (D.E.), *The Teaching of Elementary Mathematics*, New-York, Macmillan, 1900.
- Smith (D.E.), « Among My Autographs 26 : Burckhardt on Modern Teaching », *American Mathematical Monthly*, n° 29, 1922, pp. 297-299.
- Stanic (G.M.A.), « The Growing Crisis in Mathematics Education in the Early Twentieth Century », *Journal for Research in Mathematics Education*, n° 17, 1986, pp. 190-205.
- Stanic (G.M.A.) & Kilpatrick (J.), « Mathematics Curriculum Reform in the United States : A Historical Perspective », *International Journal of Educational Research*, n° 17, 1992, pp. 407-417.
- Swetz (F.), *Capitalism and Arithmetic*, La Salle, IL : Open Court, 1987.
- Wheeler (D.), « Contexts for Research on the Teaching and Learning of Algebra », in S. Wagner & C. Kieran (éds.), *Research Issues in the Teaching and Learning of Algebra* (Research Agenda for Mathematics Education, vol. 4, pp. 278-287), Hillsdale (NJ) & Reston (VA) : Erlbaum & National Council of Teachers of Mathematics, 1989.
- Wojciechowska (A.), « Curriculum Reform in Mathematics : Beyond the Impossible Revolution ? », *Journal of Curriculum Studies*, n° 21, 1989, pp. 151-159.
- Young (J.W.A.), *The Teaching of Mathematics in the Higher Schools of Prussia*. New-York, Longmans, Green, 1900.
- Young (J.W.A.), *The Teaching of Mathematics in the Elementary and the Secondary School*, 1906, nlle éd. augmentée, New-York, Longmans, Green, 1925.

Les mathématiques dans l'enseignement secondaire supérieur en Italie : une réforme par siècle

Fulvia FURINGHETTI

Ce titre n'est pas une provocation et traduit réellement ce qui s'est passé en Italie durant le XX^e siècle. Bien que la nation italienne ait connu des régimes politiques très différents et que la société ait beaucoup changé, la seule réforme globale et structurelle de l'école secondaire supérieure — qui concerne les élèves de 14 à 19 ans — accomplie dans ce siècle, date de 1923.

Nous présentons ici les discussions qui se sont déroulées sur l'enseignement des mathématiques en les situant dans le cadre global des débats sur l'école. Nous nous intéressons plus particulièrement au niveau secondaire supérieur, tout en présentant quelques éléments sur deux autres niveaux, l'école primaire (élèves de 6 à 11 ans) et l'école secondaire inférieure (élèves de 11 à 14 ans).

Pour le passé, nous avons pris en compte, outre les documents officiels du ministère de l'Éducation, les articles et les comptes rendus des réunions des enseignants de mathématiques publiés dans les journaux de mathématiques élémentaires et dans les bulletins de l'association des enseignants de mathématiques *Mathesis*. Ces bulletins contiennent aussi les rapports de la sous-commission italienne de la CIEM (Commission internationale de l'enseignement mathématique) décrivant la situation du système scolaire italien et de ses enseignants au début du siècle. Ces différentes sources nous permettent de dresser un tableau de la situation de l'enseignement telle que l'ont perçue les enseignants. Pour la description de l'institution scolaire — ses lois, ses règlements et ses programmes — nous renvoyons à [Barra et alii, 1992 ; Ostenc, 1994 ; Pepe, 1986 ; Vita, 1985] ; pour l'étude des nouveaux programmes et leurs expérimentations, on se reportera aux publications de la collection *Studi e Documenti degli Annali delle Pubblica Istruzione* éditées par le ministère de l'Éducation.

LE SYSTÈME SCOLAIRE EN ITALIE

L'organisation actuelle du système scolaire italien peut être schématisée dans le tableau ci-dessous :

SCUOLA ELEMENTARE (École primaire)	5 années âge : 6-10 (obligatoire)
SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO (École secondaire de premier degré)	3 années âge : 11-14 (obligatoire)
SCUOLA SECONDARIA DI SECONDO GRADO (École secondaire de second degré)	
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Licei</i> (Lycées avec les orientations : classique, scientifique, moderne) • <i>Istituti tecnici</i> (Instituts techniques avec les orientations : commerce, informatique, électronique, électrotechnique, mécanique ...) • <i>Istituti professionali</i> (Instituts professionnels avec un premier diplôme après 3 années) 	5 années âge : 14-19 accès direct à toutes les facultés
<ul style="list-style-type: none"> • Liceo artistico (Lycée artistique) • <i>Istituti magistrali</i> (Institut pour la formation des maîtres des écoles primaires) 	4 années âge : 14-18 accès à toutes les facultés après une année complémentaire
UNIVERSITÀ	

Un examen, conférant un diplôme, sanctionne la fin de chaque cycle (primaire, secondaire de premier et de second degré). Les études secondaires se terminent à 19 ans par la *maturità*, les études universitaires par la *laurea*. L'obtention de ces diplômes constitue, en Italie, une condition nécessaire à l'attribution d'un emploi dans la fonction publique, dans les banques, etc. En règle générale les instituts techniques délivrent une formation orientée directement vers les différentes spécialisations professionnelles, les lycées préparant plutôt à l'université. Les enseignants de mathématiques sont recrutés par un concours après la *laurea* ; la majorité d'entre eux ont la *laurea* de mathématiques, d'autres types de *laurea* pouvant être acceptées selon les dispositions du moment.

Dans ses grandes lignes, ce système est le même depuis la fondation de l'État italien en 1861. Les changements les plus importants, quant à leur impact social, ont concerné : l'âge limite de la scolarité obligatoire qui est passée de 9 ans (loi de 1877) à 12 ans (loi de 1904), puis à 14 ans (loi de 1963) ; la création, en 1963, d'une unique école secondaire de premier degré sans étude du latin, remplaçant les différentes filières qui existaient auparavant dès l'âge de 11 ans ; l'accès, en 1969, à toutes les facultés universitaires quel que soit le type d'école secondaire de second degré fréquentée. Avant cette dernière réforme, la principale filière d'enseignement secondaire était le lycée classique qui, seul, permettait l'accès à toutes les facultés universitaires — le

lycée scientifique ne permettait pas l'accès aux facultés de droit et de lettres — et formait les classes dirigeantes.

Les bases de ce système avaient été discutées dès avant l'unification et la naissance de la nation italienne en 1861 : on trouve déjà, dans les comptes rendus des rencontres annuelles de la Société des scientifiques italiens durant les années 1839-1848, des témoignages de réflexions sur l'unification du système d'enseignement public et la création de nouvelles structures scolaires.

LES PREMIÈRES DÉCENNIES DU XX^e SIÈCLE : DES DEMI-RÉFORMES

Dans la seconde moitié du XIX^e siècle, après l'unification du pays en 1861, l'organisation de l'enseignement fut un des éléments de prise de conscience de l'identité nationale. Les mathématiciens furent particulièrement actifs dans le débat sur l'école grâce à des personnalités comme Enrico Betti (1823-1892), Francesco Brioschi (1824-1897) et Luigi Cremona (1830-1903) qui eurent des responsabilités politiques importantes. Au cours de ces années, s'affirma fortement la figure professionnelle de l'enseignant de mathématiques, comme en témoignent la naissance de journaux de mathématiques élémentaires consacrés aux questions d'enseignement et la création, en 1895, de l'association *Mathesis* des enseignants de mathématiques [Furinghetti et Somaglia, 1992a, b].

La loi Casati, promulguée en 1859 dans le royaume de Piémont et de Sardaigne, cœur du futur État italien, servit de modèle à la mise sur pied de l'enseignement dans toute l'Italie. Dans le lycée classique, les disciplines les plus importantes étaient le latin et le grec, les mathématiques ayant cependant une place reconnue dans la formation de l'esprit. La loi Casati avait également fondé des écoles et des instituts techniques pour l'instruction professionnelle dans lesquels avaient été instituées, un an plus tard, des sections physico-mathématiques qui permettaient l'accès aux facultés scientifiques ou technologiques. Les programmes de mathématiques de cette section étaient plus riches que ceux du lycée classique qui demeurèrent presque inchangés y compris au XX^e siècle ; l'histoire des autres types d'école secondaire supérieure fut plus mouvementée.

La publication des *Éléments* d'Euclide par E. Betti et F. Brioschi en 1868, d'après une version due à Vincenzo Viviani datant de 1690, fut un événement marquant pour le lancement d'une orientation nationale dans le domaine de l'enseignement mathématique. L'idée directrice en était que les mathématiques ont, au delà de leurs applications pratiques, une valeur formatrice pour l'esprit. Ainsi, il convenait de redonner à l'enseignement de la géométrie toute sa splendeur originelle (identifiée à la pureté du raisonnement déductif) délaissée par les traités utilisés en Italie à cette période. Jusque-là, il y avait eu une prédominance de manuels étrangers dans l'enseignement italien : au début du XIX^e siècle les *Éléments de géométrie* de A.-C. Clairaut avaient été adoptés dans certaines régions du Nord ; vinrent ensuite les traités de A.-M. Legendre qui eurent beaucoup de succès en Italie — mais furent critiqués par beaucoup de mathématiciens,

entre autres G. Loria qui opposait la « méthode semi-arithmétique » de leur auteur « aux rigoureux procédés géométriques d'Euclide » [Loria, 1893, 1905] et [Natucci, 1967] —, ceux d'A. Amiot (dont la partie consacrée à la géométrie fut traduite par E. Betti) et de R. Baltzer (traduit par L. Cremona) très répandus jusqu'à la fin du siècle, ainsi que d'autres manuels de très faible niveau. L'adoption du livre d'Euclide comme manuel scolaire, fut contestée par les enseignants comme en témoignent certains articles parus dans le *Giornale di Battaglini*, un des deux journaux de mathématiques de l'époque (les journaux consacrés spécifiquement à leur enseignement ne furent créés que plus tard) ; une polémique se développa dans ses colonnes, semblable à celle qui se déroulait alors en Grande-Bretagne sur ces mêmes questions d'enseignement de la géométrie [Furinghetti et Somaglia, 1992b]. Par la suite, d'autres manuels plus adaptés à la réalité scolaire furent publiés ; certains d'entre eux, remarquables, furent traduits dans d'autres pays.

En même temps la recherche mathématique italienne qui, au début du XIX^e siècle, avait été très faible, acquit une position de prestige en Europe dans différents secteurs (algèbre, analyse, calcul tensoriel, géométrie différentielle ...) [Gispert, 1984]. L'école géométrique domina alors la vie mathématique italienne. Cette suprématie se prolongea au cours de la première moitié du XX^e siècle durant laquelle les autres sujets furent marginalisés.

Les premiers rapports de la sous-commission italienne de la CIEM publiés en 1911 montrent que le prestige des mathématiques au lycée classique, remarquable dans les premières années du nouvel État italien, avait considérablement diminué depuis la fin du XIX^e siècle. En 1904, une loi donna aux élèves du lycée classique la possibilité de choisir entre l'étude du grec et celle des mathématiques ; un article intitulé « À bas Xénophon, à bas Euclide », plein d'indignation, parut à ce propos dans le *Bollettino di matematica*, un important journal qui s'adressait aux enseignants de mathématiques. On sentait là les premiers effets de la perte de pouvoir des mathématiques dans la société, perte qui s'accrut durant le XX^e siècle. Une des causes en est certainement le style d'enseignement alors pratiqué qui privilégiait trop le rôle formateur pour l'esprit des mathématiques au détriment des applications, provoquant une perte de sens de cet enseignement dans la filière classique.

Au début du siècle, en Italie comme dans les autres pays d'Europe, on ressentait la nécessité d'une réforme de l'enseignement des mathématiques dans le cadre d'une réforme globale du système scolaire [Loria, 1905, 1936]. En 1909, une commission créée quatre ans plus tôt, présenta les propositions suivantes pour l'enseignement secondaire : un lycée unique sans latin pour les trois premières années (11-14 ans), suivi de trois filières de types différents pour les 14-19 ans (lycée classique avec latin et grec, lycée moderne avec latin et langues modernes, lycée scientifique avec langues modernes et sciences). Ce projet, jugé trop radical en particulier en ce qui concernait le lycée unique des 11-14 ans et la suppression du latin, ne fut jamais réalisé. Le niveau

secondaire du premier degré resta divisé en filières distinctes — classique avec latin, commercial, professionnel —, seule la filière avec latin permettant l'accès au lycée et à l'université. Ce n'est qu'en 1963 qu'une réforme de l'école secondaire de premier degré abolit ces trois filières ainsi que l'étude obligatoire du latin.

Les propositions de la commission étaient en avance sur leur temps, tant d'un point de vue social que culturel. Pour ce qui est des mathématiques, les programmes prévus — œuvre de Giovanni Vailati (1863-1909) — étaient très novateurs et prenaient en considération ce qui se passait dans les autres pays, notamment en Allemagne. Mathématicien et philosophe, professeur de l'enseignement secondaire, G. Vailati joua un rôle de premier plan dans l'histoire de l'enseignement mathématique en Italie. Dans le projet qu'il présenta, il attachait de l'importance aux questions d'ordre didactique et pédagogique et il prônait une méthode de construction des connaissances mathématiques à partir de situations liées à l'intuition des élèves [Vailati, 1909]. En ce qui concerne les contenus, il prenait en compte les différentes finalités des trois filières qu'on voulait créer dans le lycée. Il proposait par exemple, pour la dernière année de la scolarité, qu'on étudie Euclide et Archimède dans le texte original au lycée classique, qu'on introduise quelques éléments de calcul des probabilités et de statistiques au lycée moderne, et enfin, qu'on étudie l'analyse (fonction, représentation graphique, dérivée, intégrale) au lycée scientifique. On peut mesurer à quel point les idées de G. Vailati étaient en avance si on remarque qu'actuellement les probabilités ne sont toujours pas enseignées dans l'enseignement secondaire supérieur, sauf dans quelques-unes des classes qui expérimentent les nouveaux programmes.

Malgré la valeur des idées qui les inspiraient, les programmes de G. Vailati avaient des défauts : ils étaient fragmentaires et avaient besoin d'être révisés dans certains détails. Ce ne fut pas possible en raison de la mort de leur auteur. Ces programmes suscitèrent, parmi les enseignants de mathématiques, un débat qui porta surtout sur la séparation établie entre mathématiques intuitives et mathématiques rigoureuses ainsi que sur le rôle de l'axiomatisation et de la démonstration [Levi, 1907 ; Natucci, 1908 ; Vailati, 1907]. L'enseignement de la géométrie était influencé, d'une part par la tradition euclidienne classique qui avait caractérisé la seconde moitié du XIX^e siècle, d'autre part par une approche didactique marquée par la critique des fondements alors très à la mode. G. Vailati pensait que l'on ne devait arriver à une systématisation rationnelle de la géométrie qu'après une « connaissance directe » qui devait être acquise au moyen du dessin et de la construction pratique des figures. En conséquence, il pensait que dans l'école secondaire de 11 à 14 ans il n'était pas utile de fonder l'étude de la géométrie sur la connaissance passive des figures et des définitions comme c'était alors le cas. Il fallait au contraire réaliser une sorte de « géométrie active et expérimentale », préparant au raisonnement déductif qui serait développé, dans un deuxième temps, dans l'école secondaire de second degré. On devait arriver graduellement à la démonstration à partir d'un petit nombre d'hypothèses et par une chaîne limitée de déductions. Ces idées de G. Vailati, reprises plus tard dans les programmes des années 1980 [*Studi...* 1991], furent critiquées au cours du premier congrès de Mathesis, en 1908. On reconnut

cependant l'opportunité d'introduire les concepts de fonction, de dérivée et d'intégrale, comme on le faisait dans les autres pays.

La réflexion sur une réforme de l'école secondaire reprit en 1911. On créa dans les lycées une section physico-mathématique dont les trois premières années (11-14 ans) étaient semblables à celle de la filière classique, les modifications touchant les cinq années suivantes : l'enseignement d'une langue vivante y remplaçait celui du grec et l'enseignement des matières scientifiques était plus développé qu'au lycée classique. Les programmes de mathématiques de cette section, rédigés par Guido Castelnuovo (1865-1952), président de *Mathesis*, comprenaient de l'analyse. En revanche, malgré l'opinion d'illustres mathématiciens [Castelnuovo, 1920], ni l'analyse, ni les fonctions, ne furent enseignées dans les lycées classiques. Cependant, dans la filière classique, l'enseignement des mathématiques finit par ne plus être optionnel face à l'enseignement du grec et redevint obligatoire.

Parallèlement, *Mathesis* avait proposé des innovations pour les sections physico-mathématiques des instituts techniques qui donnaient aussi accès aux facultés scientifiques. Ces propositions furent bien accueillies par le ministère, mais ne furent jamais réalisées. La filière garda ses anciens programmes sans introduction de l'analyse et fut définitivement supprimée lors de la réforme de 1923. Elle avait pourtant une solide tradition et avait donné d'excellents mathématiciens comme Beppo Levi, Roberto Marcolongo, Francesco Severi, Vito Volterra, entre autres.

Il faut souligner le rôle joué par l'association des professeurs *Mathesis* dans toutes les tentatives de réforme de cette période ; elle fut consultée sur les réformes de 1911, même si la décision finale releva en dernier ressort du ministère. Des représentants de cette association prirent également une part active aux débats internationaux sur les problèmes d'enseignement des mathématiques [Furinghetti, 1994].

1923, LA RÉFORME ACCOMPLIE : LES MATHÉMATIQUES RELÉGUÉES AU GRENIER

Ainsi, dans les deux premières décennies du XX^e siècle, de nombreux projets de réformes ont été discutés mais, malgré les attentes, ils ne furent réalisés qu'en partie. En 1923, un des premiers actes du régime fasciste fut une réforme de l'enseignement, connue sous le nom de réforme Gentile, du nom du philosophe Giovanni Gentile (1875-1944) qui en fut le promoteur en tant que ministre de l'Éducation.

Le jugement global que l'on porta sur la réforme Gentile a été influencé par le fait qu'elle fut un produit du régime fasciste ; son promoteur, très compromis avec le fascisme, fut d'ailleurs fusillé par les partisans après la chute du régime. Le temps a effacé les positions extrêmes. Ainsi à l'occasion du cinquantenaire de la mort du philosophe, plusieurs articles ont paru, tendant à réhabiliter son image politique [Eco, 1994 ; Vattimo, 1994] ; une distinction fut faite entre la réforme initiale et certaines des

dégénérescences qui suivirent — comme l'excès de routine et d'automatisme dans l'enseignement des mathématiques — dues avant tout à la pratique des enseignants.

G. Gentile a été, avec Benedetto Croce, le plus important philosophe italien de son époque. Sa philosophie néo-idéaliste influença l'ensemble du milieu culturel national et accentua le problème des deux cultures qui, en Italie, est en quelque sorte à l'état endémique. La réforme fit passer cette philosophie dans l'enseignement [Tomasì, 1969] où son influence fut perçue jusque dans les disciplines scientifiques, reléguées dans une position secondaire. G. Gentile ne reconnaissait aux sciences aucune valeur pour la formation de l'esprit, leur seule justification résidant dans leur utilité pratique. Ainsi, la formation de l'élève fut fortement déséquilibrée au profit des disciplines historiques, esthétiques et littéraires.

Les mathématiques furent particulièrement touchées par cette réforme qui suscita de vigoureuses réactions de la part des enseignants de *Mathesis*. Ceux-ci rappelèrent la valeur culturelle, et non seulement pratique, des mathématiques illustrée par la tradition de la Renaissance italienne. Federigo Enriques (1871-1946), président de *Mathesis* au moment de la réforme, choisit précisément comme thème de son discours inaugural au congrès national de l'association en septembre 1923, « la signification humaniste de la science et sa valeur dans la formation de l'esprit national » [Enriques, 1924]. F. Enriques était le champion idéal pour cette bataille. Philosophe des sciences de réputation internationale, il était le fondateur de la revue *Rivista di scienza* (devenue plus tard *Scientia*) et il écrivait d'excellents manuels scolaires ainsi que des livres et des articles sur la formation des enseignants. Avec G. Castelnuovo et F. Severi, il était également un des chefs de file de la prestigieuse école italienne de géométrie algébrique.

Les critiques des enseignants de *Mathesis* portaient sur plusieurs points. Tout d'abord, la diminution, pour chaque niveau scolaire, du nombre d'heures consacrées à l'enseignement des mathématiques ne permettait plus de développer un programme raisonnable. Ainsi, pour le lycée classique, il y avait une heure hebdomadaire dans la première classe, trois heures dans les quatre classes suivantes et respectivement trois, deux et trois heures dans les trois dernières classes ; pour le lycée scientifique, le nombre des heures s'élevait à cinq dans la première classe et trois dans les suivantes. Dans l'institut pour la formation des maîtres du primaire, il n'y avait, pour les mathématiques et la physique, qu'un total de vingt-et-une heures réparties sur les quatre années de scolarité. Dans le même temps, la réforme instaurait, pour les seuls enseignants de mathématiques, une augmentation du temps de service et du nombre de classes à prendre en charge : vingt heures pour les enseignants en école supérieure, et jusqu'à un maximum de vingt-quatre dans d'autres types d'école. Les mathématiques et la physique devaient, de plus, être enseignées par le même enseignant, la chimie étant associée aux sciences naturelles.

La question des temps de service était cruciale. Non seulement les conditions de travail se détérioraient, mais les enseignants de mathématiques étaient placés dans une

position d'infériorité face à leurs collègues des disciplines littéraires, qui avaient un horaire plus léger, avec à la fois plus de travail et moins de prestige. La réunion des enseignements de mathématiques et de physique mettait en cause la formation des enseignants de mathématiques qui ne se sentaient pas prêts à jouer ce double rôle pour lequel ils n'étaient pas formés.

On trouve enfin, dans quelques articles parus dans les journaux d'enseignants, une interprétation particulière des intentions gouvernementales concernant l'enseignement des mathématiques ; les enseignants reprochaient en effet au gouvernement de limiter délibérément l'accès du peuple aux connaissances scientifiques, nécessaires au développement d'une vision critique de la situation sociale.

La réforme Gentile renforça l'orientation littéraire du lycée classique où les études philosophiques furent mises en valeur. En même temps, la section moderne — créée par la précédente réforme de 1911 — et la prestigieuse section scientifique des instituts techniques furent supprimées et remplacées par un lycée scientifique de quatre années auquel on était admis après une scolarité de quatre ans dans une filière quelconque et un examen d'admission. Les élèves du lycée scientifique ne pouvaient pas accéder aux facultés de lettres et de droit, tandis que ceux du lycée classique étaient admis dans toutes les facultés universitaires, bien que n'ayant aucune formation spécifique dans les disciplines scientifiques.

Les programmes de mathématiques du lycée classique se réduisaient à une liste de questions à bachoter pour les examens qui ne comportaient pas d'épreuves écrites. De plus, les instructions privilégiaient l'accumulation de notions et les activités de routine, diminuant ainsi la valeur formatrice des mathématiques. Les programmes du lycée scientifique, qui n'étaient pas accompagnés d'instruction, marquaient un recul par rapport aux programmes des anciennes sections mathématiques du lycée ou de l'institut technique : la géométrie analytique était moins développée, les questions d'algèbre et celles de géométrie étaient nettement séparées, il y avait peu de géométrie dans l'espace. On trouvait quelques notions de théorie des nombres, mais cette étude n'était pas précédée d'une approche rationnelle de l'arithmétique dans les classes inférieures. Enfin, rappelons que l'enseignement secondaire féminin ne comprenait aucun enseignement scientifique.

Après la réforme de 1923, les revues *Periodico di matematica* (qui avait absorbé le bulletin de *Mathesis*) et *Il Bollettino di matematica* publièrent un grand nombre de lettres aux autorités et d'articles qui soulignaient les défauts des programmes de mathématiques et proposaient certaines modifications. Le titre de l'un d'eux, « À bas Euclide, à bas Galilée », illustre cette mise en cause de la réforme. Mais la voix des mathématiciens et des enseignants n'était plus aussi écoutée que par le passé. Ceci fut d'ailleurs un des pires effets de la réforme Gentile, les enseignants de mathématiques se sentant diminués dans leur rôle et leur professionnalité.

Après quelques tentatives d'amélioration du système scolaire en 1940, on arriva à un projet, le projet Bottai, qui contenait des éléments de revalorisation des mathématiques. Dans le secondaire de premier degré le nombre d'heures était porté à trois, les instructions proposant une progression allant du stade de l'intuition à celui de l'abstraction. La valeur culturelle de la filière scientifique était enfin reconnue, celle-ci ayant été considérée jusqu'alors, selon les mots du ministre G. Bottai, comme « le refuge de ceux qui ne réussissent pas dans la filière classique ». Mais, pratiquement, le seul changement fut l'unification de certains types d'école secondaire de premier degré. La guerre était aux portes, le fascisme vivait ses derniers jours et on dut encore attendre pour voir se réaliser des modifications plus radicales.

LA RÉFORME À ACCOMPLIR

Les éléments les plus marquants des changements qui survinrent après la Seconde Guerre mondiale sont la poursuite de la scolarité obligatoire jusqu'à 14 ans, l'unification de l'enseignement secondaire de 11 à 14 ans (avec la suppression du latin à ce niveau) et l'accès à l'université pour tous les élèves de l'école secondaire supérieure quelle que soit leur filière (lycée, instituts techniques et professionnels). Tout cela fut réalisé sans qu'il y ait de réforme effective de l'école secondaire supérieure qui conserva des programmes basés sur la réforme de Gentile. La réforme des programmes du gouvernement allié en 1944 avait très peu concerné l'école secondaire supérieure. L'unification, l'ouverture de l'accès à l'enseignement supérieur, ont été par la suite rendues responsables de presque toutes les difficultés de l'école et de l'université. C'est oublier que la société tout entière avait profondément changé depuis les années 1960.

Durant la période fasciste, la vie culturelle italienne avait souffert d'un certain provincialisme et les persécutions raciales avaient privé la recherche de personnalités de premier plan [Nastasi, 1991], les répercussions sur les mathématiques — et sur les sciences en général — étant particulièrement importantes. L'école s'était aussi ressentie de cette situation et ce n'est que lentement que l'Italie, dans le domaine scolaire, se réinséra dans le contexte international. À partir des années 1950, elle participa aux débats sur le renouvellement de l'enseignement mathématique organisés par la CIEAEM (Commission internationale pour l'étude et l'amélioration de l'enseignement mathématique), l'ICMI (International Commission on Mathematical Instruction) et l'OECE (Organisation européenne de coopération économique), et fut présente à l'important colloque de Royaumont de 1959.

Emma Castelnuovo, fille du mathématicien Guido Castelnuovo dont nous avons souligné le rôle dans les années 1910-1920, contribua considérablement à la diffusion en Italie de nouvelles méthodes d'enseignement. Les livres qu'elle écrivit pour les 11-14 ans (enseignement secondaire de premier degré) suivaient une méthode constructive fondée sur l'observation du monde réel, ce qui était alors neuf dans le panorama

italien ; publiés pour la première fois en 1949, ils ont eu beaucoup d'éditions et sont toujours populaires.

E. Castelnuovo contribua aussi à maintenir le contact avec le milieu international, mais les échanges avec les autres pays restèrent faibles. Un exemple significatif en est le peu d'impact que les mathématiques modernes eurent dans l'enseignement secondaire italien après les années 1960. Seul l'enseignement primaire — où les enseignants sont en général plus réceptifs aux nouveautés que ceux de l'école secondaire — connut des tentatives d'introduction des mathématiques modernes qui furent favorisées par les maisons d'édition. Mais la mise à jour des manuels de l'école primaire se réduisit à l'introduction de quelques éléments de la théorie des ensembles (à laquelle étaient identifiées les mathématiques modernes) insérés artificiellement dans un contexte traditionnel et pour lesquels les enseignants n'avaient aucune formation.

La formation universitaire des enseignants de mathématiques de l'école secondaire supérieure, centrée sur un cursus mathématique aboutissant à la *laurea* en mathématiques, ne comportait, jusque dans les années 1960, aucun élément de mathématiques modernes. Les premiers cours d'algèbre moderne furent introduits à l'université autour de 1960 et on aboutit ainsi au paradoxe que les mathématiques modernes entrèrent à l'école avant d'entrer à l'université (ou du moins au même moment). Dans ces mêmes années, on introduisit une orientation didactique dans les cours universitaires de mathématiques, proposant des cours d'histoire, des cours sur les fondements et d'autres thèmes mathématiques liés à l'enseignement.

En 1975 furent créés les premiers groupes de recherche en didactique des mathématiques avec le support financier du CNR (Centre national de la recherche). Un des premiers résultats de ces groupes fut le développement d'excellents projets pour l'école secondaire supérieure, avec la production des manuels correspondants. On y trouvait de nouveaux sujets comme les probabilités, de nouvelles méthodes comme l'enseignement par résolution de problèmes, une vision moderne du problème de l'axiomatisation. Ces projets contribuèrent fortement à orienter les discussions sur ce niveau d'enseignement et sur l'obsolescence de ses programmes, même si peu d'enseignants s'y intéressèrent et changèrent le style de leur enseignement. Le milieu de l'école secondaire supérieure était devenu très sclérosé. Le rejet de ces projets a tenu également, semble-t-il, au soutien insuffisant que le ministère de l'Éducation leur a apporté, comme à toute initiative non gouvernementale.

L'inadéquation de l'école secondaire supérieure devint encore plus marquée après les réformes de l'école secondaire inférieure (1979), puis de l'école primaire (1985) et la scolarisation de masse. Le cheval de Troie du renouvellement de l'école secondaire supérieure, autour de 1985, fut en fait l'informatique. À cette époque, le ministère de l'Éducation lança de nouveaux programmes dans toutes les disciplines pour la tranche d'âge 14-16 ans, ainsi qu'un « plan national pour l'informatique », comprenant entre autres de nouveaux programmes de mathématiques et de physique. Ces programmes

concurrent tous plusieurs modifications jusqu'à leur version la plus récente. C'est à celle-ci que nous nous référerons dorénavant, négligeant, pour plus de simplicité, les différences entre les deux types de programmes. Il n'est pas exagéré de dire que les mathématiques ont été la discipline la plus touchée par les changements de contenus. Les programmes sont très riches et négligent certaines parties du programme traditionnel qui sont dépassées. Les deux sujets classiques, l'algèbre et la géométrie, sont traités avec quelques modifications. En ce qui concerne l'algèbre, les commentaires suggèrent de ne pas trop insister sur la manipulation d'expressions compliquées — caractéristique des dérives qui suivirent la réforme Gentile — et recommandent de donner quelques exemples simples de calculs approchés. Les fonctions et leur représentation graphique dans le plan cartésien sont aux programmes de tous les types d'écoles secondaires de second degré. En géométrie, les transformations dans le plan (isométries, homothéties et similitudes) sont introduites ainsi que quelques exemples de transformations dans l'espace. Dans les commentaires, il est suggéré de procéder graduellement à l'introduction de la démonstration ; les mots mêmes de G. Vailati y sont repris en ce qui concerne les processus de déduction opérés sur un système limité d'axiomes convenablement choisis. Les premiers éléments de géométrie analytique apparaissent, ainsi que quelques notions de trigonométrie. Pour la première fois on trouve des éléments de statistique descriptive, les premières notions de probabilités, de logique et d'informatique.

Le ministère lança dans le même temps, avec le « plan national pour l'informatique », un programme national de stages pour les enseignants de mathématiques et de physique — le premier en Italie pour des enseignants de ce niveau scolaire — centrés sur l'informatique (les stages furent ensuite étendus aux disciplines littéraires). Ces stages, qui n'étaient pas obligatoires, connurent un succès remarquable, la grande majorité des enseignants de mathématiques y participant. Ils se déroulaient sur deux ans, deux semaines séparées la première année, et une semaine la seconde année. Les sujets en étaient quelques éléments d'informatique théorique (langage Pascal et, dans quelques cas, Prolog), des présentations de tableaux électroniques (Lotus) et de quelques logiciels didactiques, quelques éléments de pédagogie générale (et non de didactique des mathématiques) et, dans certains cas, quelques exercices de probabilités. La base de la formation était en règle générale l'informatique.

Les résultats de ces stages ne furent pas complètement satisfaisants. La principale critique touche au manque d'homogénéité des formations qui y furent effectivement dispensées. La raison en est l'organisation en cascade de l'encadrement des stages. Un premier niveau, qui se tenait dans quatre centres de recherche, avait pour but de former des formateurs qui à leur tour encadrèrent un second niveau de stages où se retrouvaient les enseignants en service. Les formateurs étaient choisis parmi les enseignants en poste, soit en physique soit en mathématiques, sur la base d'un examen qui ne demandait aucune compétence particulière sur les divers sujets du stage (informatique, pédagogie ou autres). En conséquence, certains formateurs transmirent une formation vraiment pauvre en informatique, fait grave dans la mesure où un fort pourcentage d'enseignants

ne connaissaient ni l'informatique, ni même l'usage de l'ordinateur. Une seconde réserve concerne la discussion des problèmes didactiques posés par l'introduction des nouveaux programmes qui fut le plus souvent négligée.

Malgré ces réserves, les stages eurent des effets importants. Ils ont secoué le milieu de l'école secondaire supérieure et ont contribué à promouvoir de nouveaux programmes de deux types. Bien qu'il ne soit pas encore obligatoire d'abandonner les anciens programmes, il y a actuellement en Italie un grand nombre de classes où les nouveaux programmes sont expérimentés, aussi bien dans les lycées que dans les instituts techniques où l'on a plusieurs projets en fonction du type d'institut (commercial, électronique, linguistique ...).

Il est possible d'avancer un premier bilan de ces différentes expérimentations pour le niveau des 14-16 ans qui ont commencé il y a déjà une dizaine d'années. L'innovation dans laquelle les enseignants de mathématiques se sont le plus engagés au début a été celle de l'introduction de l'informatique. Cela peut venir, d'une part, de l'attrait qu'exerce l'ordinateur et des pressions venant de la société (parents, élèves, compagnies), d'autre part, de l'existence du stage national qui était surtout centré sur l'informatique. Il faut souligner que l'Italie présente à ce propos une particularité par rapport à la majorité des autres pays, avec la présence de notions d'informatique théorique à côté de l'usage de logiciels et de tableaux informatiques. Ceci pourrait être un atout dans l'enseignement des mathématiques, en permettant de développer des compétences communes aux mathématiques et à l'informatique et d'affermir ainsi certaines compétences d'ordre mathématique. La faiblesse de la formation donnée au cours des stages n'a cependant pas permis d'intégrer cette composante théorique de l'informatique et il semble qu'on aille aujourd'hui vers une introduction mécanique de la programmation qui consiste surtout dans la transcription de programmes copiés des manuels.

D'autres changements, indiqués par les programmes, sont repérables dans la pratique, comme l'usage courant du plan cartésien et des fonctions (auquel on avait déjà recours dans le passé), l'introduction des transformations en géométrie (surtout du point de vue analytique), celle de quelques éléments de logique (tables de vérité) et de théorie des ensembles, ainsi que quelques timides tentatives d'introduction des probabilités. Quant au style d'enseignement, le nombre des exercices de routine sur le calcul littéral a été réduit de façon significative.

En résumé, ces nouveaux programmes pour les niveaux des 14-16 ans ont des aspects positifs. On y retrouve, nous l'avons dit, certaines idées de G. Vailati — l'introduction des probabilités, l'idée de parcourir par degrés le chemin de l'intuition à la systématisation rigoureuse des concepts.

Le ministère a également proposé des programmes (qui ne sont pas encore arrêtés) pour les trois dernières années de l'enseignement secondaire supérieur (16-19 ans), déjà

expérimentés dans quelques écoles. Ces programmes ne sont pas satisfaisants et ont besoin d'être modifiés.

Bien qu'il y ait eu des innovations, comme la récente suppression des examens de septembre pour les élèves en échec à la fin de l'année scolaire, on attend encore en Italie la réalisation de changements importants comme la poursuite de la scolarité obligatoire jusqu'à 16 ans, et surtout la réforme de l'examen final, ce qui serait l'affirmation définitive d'une volonté d'entreprendre une réforme globale et sérieuse de l'école secondaire supérieure. Tout cela rend l'avenir du système scolaire italien encore incertain à l'aube de l'an 2000.

Bibliographie

- Barra (M.), Ferrari (M.), Furinghetti (F.), Malara (N.A.) et Speranza (F.) (éd.), *Italian research in mathematics education: common roots and present trends*, Quaderno TID — CNR, série FMI, n° 12, 1992.
- Castelnuovo (G.), « Sull'insegnamento medio delle matematiche in Italia dal 1867 ad oggi », *Bollettino della Matthesis*, a. XII, 1920, pp. 17-21.
- Eco (U.), « Ma siete sicuri che il pensiero di Gentile è tutto di destra ? », *L'Espresso*, a. XL, n° 22, 1994, p. 210.
- Enriques (F.), « Il significato umanistico della scienza nella cultura nazionale », *Periodico di matematiche*, s. IV, v. 4, 1924, pp. 1-6.
- Furinghetti (F.), « Aspetti della partecipazione italiana al dibattito internazionale sull'insegnamento della matematica nel periodo 1897-1936 », *Lettera PRISTEM*, n° 13, 1994, pp. 24-30.
- Furinghetti (F.) et Somaglia (A.), a, « Giornalismo matematico a "carattere elementare" nella seconda metà dell'Ottocento », *L'insegnamento della matematica e delle scienze integrate*, 1992, v. 15 B, pp. 815-852.
- Furinghetti (F.) et Somaglia (A.), b, « Italian mathematics and Europe in the late 19th century : the British contacts with particular reference to education », *BSHM Conference on European Mathematics 1848-1939*, Gonville et Caius College (Cambridge, 1992), à paraître.
- Gispert (H.), « Image des mathématiques italiennes en 1870 dans le *Bulletin des Sciences Mathématiques* », *Rivista di storia della scienza*, v. 1, 1984, pp. 257-278.
- Levi (B.), « Esperienza e intuizione in rapporto alla propedeutica matematica », *Il Bollettino di matematica*, a.VI, 1907, pp. 147-156.
- Loria (G.), « Della varia fortuna d'Euclide in relazione con i problemi dell'insegnamento geometrico elementare », *Periodico di matematica*, a. VII, 1893, pp. 81-113.
- Loria (G.), « Sur l'enseignement des mathématiques en Italie », in Krazer, A. (éd.), *Verhandlungen des dritten internationalen Mathematiker-Kongresses* (Heidelberg, 1904), 1905, pp. 594-602.

- Loria (G.), « Programmi del passato e programmi per l'avvenire », in *Scritti conferenze e discorsi sulla storia delle matematiche*, CEDAM, Padova, 49-62. Texte de la conférence aux professeurs de l'association *Mathesis* (Milan, 22 avril 1905), 1936.
- Nastasi (P.), « La comunità matematica di fronte alle leggi razziali », in Galuzzi, M. (éd.) *Atti delle giornate di storia della matematica* (Cetraro, 1988), 1991, pp. 105-141.
- Natucci (A.), « La questione fondamentale nei programmi proposti da Vailati », *Il Bollettino di matematica*, a. VII, 1908, pp. 81-83.
- Natucci (A.), « L'evoluzione dell'insegnamento delle matematiche elementare nell'ultimo secolo », *Giornale di matematiche*, v. XCIII, 1967, pp. 160-172.
- Ostenc' (M.), « L'histoire de l'éducation en Italie », *Histoire de l'éducation*, n° 61, 1994, pp. 3-39.
- Pepe (L.), « Note e documenti per una storia dei programmi di matematica delle scuole elementari italiane (1859-1985) », *L'Educazione matematica*, s. II, v. 1, pp. 47-81.
- Studi e documenti degli Annali della Pubblica Istruzione* (56), *Piani di studio della scuola secondaria superiore e programmi dei primi due anni. Le proposte della commissione Brocca*, Firenze, Le Monnier, 1991.
- Tomasi (R.), *Idealismo e fascismo nella scuola italiana*, Firenze, La Nuova Italia, 1969.
- Vailati (G.), « L'insegnamento della matematica nel primo triennio della scuola secondaria », *Il Bollettino di matematica*, a. VI, 1907, pp. 137-146.
- Vailati (G.), 1909 : « Sugli attuali programmi per l'insegnamento della matematica nelle scuole secondarie italiane », Castelnovo, G. (éd.), *Atti del IV congresso internazionale dei matematici* (Roma, 1908), v. III, pp. 482-487.
- Vattimo (G.), « Fu Gentile, ma non ci serve più », *L'Espresso*, a. XL, n° 19, a. 1994, pp. 108-109.
- Vita (V.), *I programmi di matematica per le scuole secondarie dall'unità d'Italia al 1986. Rilettura storico-critica*, Bologna, Pitagora, 1986.

Les Anglo-saxons sont-ils différents ?

Jon OGBORN

Les Anglo-saxons abordent-ils d'une manière spécifique les réformes de l'enseignement des sciences et en particulier de la physique ? Il faut se résigner à répondre à la fois par oui et par non. Ce n'est pas là une façon d'éluder la question, ni un manque de clarté « typiquement » anglo-saxon. C'est que les deux réponses correspondent à deux manières de concevoir le processus de réforme. Ma réponse est négative, car d'importantes réformes de l'enseignement scientifique ont eu lieu à peu près à la même époque dans de nombreux pays de traditions et de cultures très différentes (entre la fin des années 1950 et le début des années 1970). Elles visaient largement les mêmes objectifs et apportaient à maints égards les mêmes réponses. Certes, dans certains domaines, les pays anglophones avaient commencé un peu plus tôt, mais, même si les autres pays n'adoptèrent pas tel quel ce qui s'y faisait, les motivations et les objectifs y étaient très semblables.

Ma réponse est aussi positive, car la manière d'aborder les réformes aux USA, en Grande-Bretagne et en Australie a été fort différente de celle retenue ailleurs. En fait, les conditions pour réaliser les réformes étaient souvent beaucoup plus favorables dans ces pays, pour des raisons que je discuterai plus loin.

Il faut reconnaître cependant que les Anglo-saxons ont tendance à envisager la question sous un autre angle. Nous autres anglo-saxons, nous sommes enclins à poser la question : « les autres sont-ils différents ? ». Nous supposons bien sûr qu'il est impossible qu'ils le soient jusqu'à ce que nous découvriions inévitablement qu'ils le sont. Et nous avons tendance à penser que, s'ils sont différents, c'est qu'ils ont tort. Ce dernier trait apparaîtra, sans aucun doute, dans ce que j'écris ici : j'ai tenté de le gommer, mais sans y réussir complètement.

Je conclurai cette introduction par une anecdote personnelle qui illustre en partie ce qu'évoque la question. J'ai été invité vers 1970 en Afrique du Sud, en tant que l'un des deux chefs de file de l'*Advanced Physics Project* de la Fondation Nuffield. C'était un projet parmi plus d'une douzaine d'autres lancés à la même époque pour réformer l'enseignement de la physique, de la chimie, de la biologie et l'enseignement intégré

des sciences, à différents niveaux du système scolaire. L'*Advanced Physics Project* concernait la physique au niveau pré-universitaire de l'enseignement secondaire (16-18 ans).

Parmi les invités étrangers se trouvait le professeur J. Dieudonné, membre éminent du groupe Bourbaki, venu pour discuter de la réforme des mathématiques en France. Nous avons été conviés l'un et l'autre dans une réserve naturelle lors de deux jours de pause ; pendant la journée nous observions crocodiles et éléphants, la nuit, assis dans notre cabane, nous entendions les chacals. Je n'avais jamais entendu parler de Bourbaki auparavant, mais je réussis à lui dissimuler le fait. On voit que les Anglo-saxons sont effectivement différents : leur culture est lacunaire et anglo-centrique, et ils ne sont rien moins que tout à fait francs. Cependant, J. Dieudonné s'intéressa à moi. J'étais un homme jeune et évidemment inexpérimenté dont la présence était loin de lui paraître évidente. Il me demanda quels étaient les membres de l'équipe qui préparaient le *Nuffield Advanced Physics*. Je lui racontai que le groupe était formé d'une douzaine de professeurs du secondaire et d'un professeur d'université libérés par la Fondation de leurs obligations d'enseignement, que nous travaillions en collaboration avec une centaine d'établissements qui appliquaient sur le terrain nos idées en matière d'enseignement de la physique, et que d'autres établissements pouvaient les adopter s'ils le souhaitaient. Intrigué, J. Dieudonné me demanda d'où venaient ces idées, quelle en était la source ? Je répliquai que nous réfléchissions par nous-mêmes ; j'étais alors très fier de certaines de ces idées, particulièrement de celles relatives à une approche statistique de la thermodynamique et de celles relevant d'une approche simple de la théorie quantique. Il m'expliqua que j'avais mal compris sa question : il voulait savoir quels étaient les grands physiciens qui fixaient ces orientations et ces manières nouvelles de concevoir la physique. Je répondis qu'il y avait en fait un comité de grands physiciens comme le professeur Sir Nevil Mott, mais que ce comité s'occupait uniquement de l'orientation générale de notre réflexion. C'était à nous d'inventer de nouvelles manières d'enseigner la physique. J. Dieudonné ne fut pas satisfait de cette réponse. Il m'expliqua que mes propos présentaient une évidente contradiction : les idées nouvelles viennent, non pas des enseignants mais de la recherche à l'Université — *par définition*. Je fus surpris d'apprendre que mon travail, tel que je l'imaginai, ne pouvait exister ; que je n'étais personne — *par définition*. Nous nous séparâmes sans mieux nous comprendre, chacun jugeant absurde la position de l'autre.

Le lecteur pourra juger les deux personnages de cette histoire aussi arrogants l'un que l'autre, en dépit de leur différence d'âge et de position, et il en est peut-être ainsi. Mais l'anecdote m'a appris qu'en France, certains considéraient qu'une réforme pouvait être parachutée, alors qu'il s'agissait pour moi de partir de la base. Je suis heureux de dire que cette vue simpliste des conceptions françaises n'a pas survécu à la connaissance que j'ai acquise ultérieurement du travail effectué par le groupe de Goéry Delacôte à l'université Paris VII. Ce groupe a été parmi les premiers à prendre la peine

de bien comprendre le mode de pensée des enfants, avant de chercher à concevoir la meilleure manière d'enseigner. Mais j'en étais aussi arrivé à constater que les Anglo-saxons étaient quelquefois différents, en particulier quand ils admettaient comme une *évidence* que les personnes les mieux placées pour réformer l'enseignement sur le terrain étaient les enseignants eux-mêmes.

LE DROIT À L'ERREUR

Rétrospectivement, grâce à une meilleure connaissance des réformes menées dans le monde entier et après avoir fait l'expérience d'un programme national obligatoire en Angleterre et au Pays de Galles, je pense que sur un point au moins les Anglo-saxons *étaient* alors différents, et ceci à leur plus grand bénéfice, même si tous ne peuvent arguer encore de cet avantage aujourd'hui. Dans beaucoup de pays anglo-saxons, le programme n'était pas le produit d'une réglementation mais le résultat d'une pratique. En revanche, dans les pays qui imposaient des programmes officiels, il fallait bien évidemment justifier ses choix, avant d'entreprendre une réforme. Comment aurait-on pu justifier la présence d'une erreur dans un texte ayant force de loi ?

Une attitude beaucoup plus empiriste prévalait dans les pays anglo-saxons. On partait de la conviction que si un changement pouvait être souhaitable, il fallait l'expérimenter d'abord à petite échelle. On se souciait aussi des inconvénients, pour les élèves, d'une pareille expérimentation et on prenait grand soin, par exemple, de maintenir le taux de réussite aux examens. À cet égard, on tira la leçon, au début des années 1960, de l'*Experience Studley*, au cours de laquelle on tenta d'introduire la physique moderne dans les programmes, mais sans prendre garde à modifier les questions d'examen, tant et si bien que celles-ci, posées par des gens qui ne connaissaient pas l'expérience en cours, étaient inadaptées et donnèrent, pour beaucoup d'élèves, de fort piètres résultats. Cependant la volonté d'expérimenter est restée très forte. Aux USA et jusque récemment en Angleterre et au Pays de Galles, aucun projet — même couronné de succès — n'a été imposé dans l'enseignement. Si des idées nouvelles se sont diffusées, c'est en étant adoptées librement par les écoles, sans avoir été rendues obligatoires.

Il m'apparaît maintenant, et d'autant plus fortement que je vis dans un pays qui a récemment rendu les programmes obligatoires, qu'il y a ici une question de principe sur laquelle les Anglo-saxons avaient fondamentalement raison. Il est essentiel d'expérimenter avant d'effectuer des réformes, et de le faire à différentes échelles. On *doit* expérimenter. Mais la vraie question de principe reste que l'*on doit exiger le droit à l'erreur*. Exiger qu'aucune erreur ne soit commise c'est paralyser la pensée, l'innovation et le changement. Il est impossible d'expérimenter sans commettre d'erreurs, et on *doit* expérimenter.

La plupart des gens dans la plupart des cultures admettent l'évidence de ce principe. Les Anglo-saxons ont marqué leur différence en le mettant largement en application.

DIFFÉRENTS TYPES DE RÉFORMES

Au cours des années 1960, un grand nombre de projets de réforme ont été envisagés d'abord aux États-Unis, puis, peu après, au Royaume-Uni et en Australie. En fait, ce travail commença en 1955 (contrairement à la légende, *avant* le lancement de Spoutnik), avec le projet du *Physical Science Study Committee (PSSC)* pour la physique dans les *High Schools* (16 ans), lancé au MIT par Francis Friedman et Jerrold Zacharias. Il fut rapidement suivi, en chimie, par deux projets concurrents, le *Chemical Bond Approach (CBA)* et le *Chemstudy*, et en biologie par le *Biological Science Curriculum Study (BSCS)*. À la fin des années 1960, l'université de Maryland a dressé la liste de centaines de projets élaborés dans un grand nombre de pays (en particulier aux États-Unis, en Grande-Bretagne, en Australie, en Inde et en Afrique) pour rénover l'enseignement des sciences à tous les niveaux, de l'école primaire à l'université. Des organismes internationaux comme l'Unesco s'y impliquèrent, cherchant comment introduire les idées réformatrices dans la réflexion des enseignants des pays en voie de développement. Certains de ces pays, comme le Sri Lanka (sous la direction de Jinepala Alles et Jay Ratnaika) élaborèrent leur propre modèle de réformes (Jay Ratnaika a poursuivi son action, pour l'Unesco, en Asie du Sud-Est).

Dans tous ces travaux, ainsi que dans ceux qui ont été ensuite engagés, on peut distinguer au moins quatre types de réformes.

Projets axés sur les concepts

De tels projets, dont le *PSSC* est un exemple, mettent l'accent sur la structure conceptuelle fondamentale de la discipline. Leur travail est axé sur l'identification des concepts importants, la recherche de manières simples mais cohérentes de les expliquer et la définition d'un enchaînement adéquat pour les introduire. Beaucoup de ces projets, souvent fortement influencés par des scientifiques éminents, apparaissent comme un *return to fundamentals* (retour aux notions de base). Outre l'accent mis sur les structures conceptuelles, les caractéristiques en sont nombreuses : notons l'insistance sur l'expérimentation et la démonstration, le développement de nouveaux appareils à utiliser dans les laboratoires, et (quelquefois) la préparation de nouveaux documents audiovisuels (et ultérieurement des simulations sur ordinateurs) pour faire connaître les notions de base et montrer les expériences qui ne peuvent être effectuées aisément dans les classes (par exemple la vitesse de la lumière, la charge de l'électron, la constante de Planck). Mais tous ces moyens, quand on les considère, visent clairement à développer des concepts plutôt qu'à éveiller la curiosité, ou à présenter des applications, ou encore à chercher à replacer la science dans un contexte social ou historique.

Projets axés sur les méthodes

Un des premiers exemples de ce genre de projet est le *Science Curriculum Improvement Study (SCIS)* dirigé par Robert Karplus, suivi par le projet de l'Association Américaine pour l'Avancement des Sciences [*Science : A Process Approach (SAPA)*]. Ces projets, et beaucoup d'autres du même type, mettent l'accent sur ce qu'ils considèrent comme les méthodes intellectuelles de la science. La conception que l'on a de ces dernières a considérablement varié, bien que celles que l'on trouve le plus fréquemment dans les projets anglo-saxons découlent toutes d'une analyse de type empiriste de la nature de la science : observation, classification, mesure, induction, prédiction, délimitation du domaine de validité, contrôle des variables, expérimentation, interprétation, ou autres catégories de même type. Le projet *SCIS* avait la particularité de fonder sa réflexion sur le travail de J. Piaget, de telle sorte que des notions comme celle de « conservation » dominaient dans l'analyse. Il n'est pas surprenant que ce projet, comme beaucoup d'autres axés sur les méthodes, ait été destiné à l'enseignement primaire. De manière générale, on peut distinguer dans ce type de projets ceux à caractère philosophique et ceux à caractère psychologique. Les premiers déduisent les méthodes d'une philosophie de la science ; les seconds de la nature et de la formation du raisonnement.

Projets axés sur les ressources

La plupart des projets initiaux prétendaient refondre entièrement les programmes. Ils proposaient un ensemble qui, pour l'essentiel, indiquait aux enseignants ce qu'ils devaient enseigner, comment et quand. Certains projets ont abordé la question de façon différente, fournissant des ressources utilisables par les enseignants. La plupart ont vu le jour entre les années 1970 et aujourd'hui, bien que le *Harvard Project Physics (HPP)*, à la fin des années 1960, placé sous la direction de Gerald Holton, puisse être envisagé de cette manière : ses recueils de textes offrent des ressources variées qui peuvent être utilisées librement par les enseignants et les étudiants pour éclairer l'histoire et la philosophie des sciences. Parmi les exemples britanniques récents, citons les ressources préparées par le projet *Science and Technology in Society (SATIS)* de l'*Association for Science Education*, conçues pour enrichir les programmes habituels, à quelque endroit que l'enseignant choisisse de les utiliser, selon la devise « Des ressources et non pas des cours » (*Resources not courses*).

Innovations conceptuelles

Un petit nombre de projets tentèrent, non pas d'améliorer l'enseignement d'une discipline existante, mais d'en créer une nouvelle. Notons en particulier les tentatives faites pour introduire la technologie comme matière d'enseignement dans les programmes. Un projet lancé d'abord aux États-Unis, le *Man-Made World*, entreprit de bâtir le programme complet d'un enseignement de « technologie ». Il proposait une approche par les concepts technologiques de base et un grand nombre d'études de cas sur les

développements technologiques. Son influence a été manifeste sur le *British Open University Technology Foundation Course* présenté au début des années 1970 et qui porte précisément le même titre.

Évidemment aucun projet ne rentre tout à fait dans l'une ou l'autre de ces catégories. Certains, en outre, se réclament de l'une alors qu'en réalité ils se rangent dans l'autre. Ainsi, le projet britannique de la Fondation Nuffield pour la chimie, prenant en compte la volonté des enseignants britanniques de conserver leur autonomie, proposait des exemples de ce qui pourrait être réalisé, mais sans les imposer. Mais en fait, il fallait que les enseignants choisissent soit de suivre le projet, soit d'y renoncer tout à fait, faute de pouvoir évaluer correctement à l'examen ce qui s'en éloignait trop.

LES CONDITIONS DU CHANGEMENT

Deux conditions ont rendu possible cette floraison de projets. La première a été la possibilité de disposer de moyens suffisants au niveau national pour financer pendant plusieurs années des équipes d'une douzaine de personnes ou plus. Ce qui a précisément incité le gouvernement et les fondations privées à fournir de tels moyens ne m'apparaît pas clairement. Le mythe, qui peut contenir un grain de vérité, veut que cela ait été une conséquence de l'avance technologique soviétique pendant la guerre froide, particulièrement dans la conquête de l'espace. Mais je soupçonne qu'il existe des causes plus profondes, en particulier le mouvement en faveur d'un enseignement secondaire généralisé, qui se produit simultanément dans presque tous les pays industrialisés après 1945. Ce mouvement, tout en révélant qu'une large fraction de la population était insuffisamment formée, a fait peu à peu apparaître que les programmes alors en vigueur étaient souvent mal adaptés à un enseignement de masse.

Le caractère des systèmes scolaires, aux États-Unis, en Grande-Bretagne et dans les autres pays qui ont adopté une organisation semblable, était la seconde condition. L'enseignement était contrôlé au niveau local ou régional, et non au niveau national. En Angleterre et au Pays de Galles (mais non en Écosse), chaque établissement déterminait ses propres programmes. Le seul enseignement obligatoire était l'éducation religieuse (un accord avec les Églises intégrait leurs écoles dans le système national depuis 1944). Aux États-Unis, les programmes étaient arrêtés au niveau de chaque État, les comités scolaires locaux gardant une grande autonomie à l'intérieur du cadre fixé (ils pouvaient choisir, par exemple, entre plusieurs manuels autorisés par leur État).

Cette délégation des responsabilités était une condition cruciale, car elle justifiait la notion d'expérimentation dans des établissements volontaires. L'établissement ou la circonscription scolaire, ou bien l'établissement et l'autorité éducative locale en Angleterre et au Pays de Galles, pouvaient accepter de travailler avec un projet de programmes, sans demander l'autorisation à une autorité supérieure. En raison du principe de subsidiarité, les organismes nationaux, tels que les comités d'examen, étaient contraints de s'adapter à ces changements (par exemple en proposant des

épreuves appropriées), pour de simples raisons d'équité vis-à-vis des élèves impliqués dans un changement des programmes. Dans les pays dont le système scolaire était centralisé, le processus à suivre pour réaliser les réformes était très différent. Les autorités nationales concernées devaient être persuadées de la nécessité d'introduire des changements, et ceci devait souvent être fait en usant de l'influence de personnalités marquantes dans la discipline — tel qu'un Président d'une Académie nationale des sciences. Il y a toujours une bonne raison pour faire une réforme globale à l'échelle nationale : si les changements proposés sont aussi utiles qu'on le prétend, pourquoi tous les élèves n'en profiteraient-ils pas ? Mais une réforme à une si vaste échelle est toujours difficile à mener, car elle rencontre des résistances chez les enseignants. Elle peut lamentablement échouer parce qu'elle est trop radicale, ou à l'inverse, pour être acceptée, ne pas être assez radicale. Ces difficultés étaient parfois évitées. La réforme des programmes de sciences en Écosse, dont le système est centralisé, a précédé celle réalisée en Angleterre et au Pays de Galles et elle a effectivement très bien réussi. Le petit nombre d'inspecteurs scolaires nationaux connaissaient en effet très bien les enseignants de sciences (ils n'étaient pas trop nombreux dans un aussi petit pays) et pouvaient imaginer un projet tout à la fois radical et acceptable. De même, en Hongrie, une réforme à grande échelle a été efficacement menée, en grande partie grâce à l'influence du professeur György Marx. Qu'il s'agisse, dans les deux cas, de petits pays n'est pas un hasard ; les responsables connaissaient bien les enseignants concernés par leurs décisions, et pouvaient les rencontrer pour en discuter avec eux.

Les pays à systèmes décentralisés pouvaient adopter une logique évolutive ou de marché. Il était possible de financer et de tester des réformes, avant de les appliquer à plus vaste échelle. En Angleterre et au Pays de Galles, par exemple, les projets de la Fondation Nuffield en physique, chimie et biologie ont été adoptés par 20 à 25% des établissements. Un fabricant de savon considérerait comme très bonne une part de marché de 25 % ! Quant aux 75 % restant, ils ne laissèrent pas leurs programmes inchangés. Les commissions d'examens traditionnelles, qui considéraient les cours du Nuffield comme une concurrence, ont repris rapidement les idées qui avaient eu le plus de succès afin d'attirer un maximum de clients (il est essentiel de bien réaliser qu'à cette époque il existait un véritable marché des programmes en Angleterre et au Pays de Galles, avec environ huit comités d'examens rivaux, supposés être au service de différentes régions du pays mais en fait libres de fournir des épreuves d'examen à tout établissement qui le demandait). Ainsi, quelques idées nouvelles — mais pas toutes — ont été rapidement adoptées dans tout le pays. Par exemple, les petites planches de circuit pour enseigner les circuits électriques sont devenues la norme universelle et sont encore largement utilisées aujourd'hui. En revanche, certaines idées fondamentales pour le nouveau cours de physique ont eu moins de succès et ont à peu près disparu, par exemple le fait que l'enseignement de l'astronomie — qui faisait partie des programmes Nuffield — est essentiel pour comprendre le développement de la dyna-

mique newtonienne. Ceci me paraît regrettable, mais les marchés se moquent des principes.

C'est donc un point sur lequel les Anglo-saxons étaient en fait différents. Fidèles à leur réputation de pragmatisme, ils ont encouragé l'expérimentation des programmes, en y investissant souvent des ressources importantes, et ils ont laissé ensuite le marché décider du résultat. Cela a donné aux réformes, mais seulement à celles qui ont survécu, un impact remarquable. À cela on peut toujours répondre de manière tautologique que si ce qui est bon subsiste, alors ce qui a subsisté est bon. Mais le marché n'a ni principes, ni critères fondamentaux pour préférer un changement à un autre, si bien que des réformes importantes peuvent échouer alors que d'autres, sans importance mais séduisantes, peuvent réussir.

EXEMPLES DE RÉFORMES EN PHYSIQUE

Je donnerai maintenant quelques exemples de réformes en physique, pour mettre en relief quelques-unes de leurs principales caractéristiques et montrer ainsi en quoi les Anglo-saxons étaient différents.

Le PSSC

En didactique de la physique, le PSSC reste l'ancêtre de toutes ces réformes. Ce projet, qui a coûté quelque neuf millions de dollars en 1960, a adopté l'approche systémique à grande échelle pour son développement (on peut noter de semblables concentrations de ressources et la même approche dans le projet Manhattan pour la bombe atomique). L'approche systémique exige, pour réussir, la réunion d'un ensemble de ressources. Il a donc fallu recruter une importante équipe de spécialistes, chacun devant se consacrer à une tâche déterminée sous une direction très centralisée. De fait, Jerrold Zacharias exerçait une direction vigoureuse : il s'agissait d'une puissante personnalité qui se comportait comme une *prima donna* charismatique (pour se justifier, il affirma un jour : « c'est très bien d'être une *prima donna* – très bien, si vous savez chanter ! ». Et il savait chanter).

L'approche systémique a produit une multitude de ressources pour servir de supports aux nouveaux programmes de physique : manuels pour les étudiants, livres du maître, nouvel équipement et nouveaux appareils, nouvelles expériences et démonstrations à effectuer en laboratoire, films montrant des expériences difficiles à réaliser dans les écoles (« expérience de Millikan », par exemple), films présentant visuellement des idées difficiles (par exemple « les référentiels »), épreuves d'examen et matériaux d'évaluation.

Pour réaliser une réforme mobilisatrice, on pensait donc qu'il fallait une grande quantité de supports très pratiques pour les enseignants. L'objectif principal était l'acquisition des concepts fondamentaux de la physique. C'est pourquoi le PSSC renonçait à la plus grande partie du programme traditionnel, par exemple aux différentes

méthodes calorimétriques de mesure de chaleur spécifique ou aux méthodes variées de pont ou potentiomètre pour la mesure du courant, de la différence de potentiel et de la résistance. Le contenu était réduit à la dynamique newtonienne, à l'électrostatique et à l'électromagnétisme, à l'optique et à la propagation des ondes, à la physique atomique, y compris un peu de mécanique quantique et un tout petit peu de thermodynamique. Le but fondamental était de rendre ces concepts clairs et de montrer leur origine empirique.

Le cours du *PSSC* se caractérisait par conséquent par un raisonnement rigoureux, souvent fort difficile, et par des expériences de démonstration (surtout pour voir, non pour explorer). Il recentrait l'enseignement sur les concepts essentiels. Quels étaient ces concepts ? C'était ceux nécessaires à la compréhension de la physique dans sa forme moderne, c'est-à-dire telle qu'elle était enseignée à l'université. Dans ces conditions le *PSSC* pouvait apparaître aux élèves comme l'illustration du proverbe bien connu des enfants anglais : « Prends le médicament aujourd'hui et tu auras la confiture demain ». C'était une nourriture très concentrée, comme celle que l'on donne aux astronautes ; rien que l'essentiel et pas de friandise. Il y avait danger à ignorer la créativité des enseignants et des élèves ; celle des enseignants, en élaborant pour eux « la meilleure manière » de faire chaque chose, et celle des élèves, en ne leur offrant aucune occasion de se livrer à des recherches et à des réflexions personnelles. En outre, la physique était enseignée largement en dehors de tout contexte social ou historique.

En résumé, le *PSSC* illustre l'influence qu'ont exercée sur l'enseignement quelques-uns des meilleurs esprits de leur génération en physique, en imposant aux professeurs et aux élèves leur conception de la physique au moyen d'un programme d'enseignement méthodique élaboré dans ce but. En fin de compte, cela servait aussi leurs propres intérêts.

Le Harvard Project Physics

Le Harvard Project Physics, dirigé par Gerald Holton, Fletcher Watson et James Rutherford (le dernier cité étant un enseignant de *High School*) proposait une alternative au *PSSC* remplaçant davantage la physique dans son contexte social et historique. Ce projet cherchait à compléter la structure conceptuelle de base par des éléments venant de l'histoire de la physique, et par un peu de philosophie des sciences. Il s'intéressait beaucoup plus à la réflexion et à la créativité des élèves, et laissait aux enseignants une plus grande liberté dans leur enseignement.

Le Harvard Project Physics a procuré une nourriture plus riche et plus variée que ne l'avait fait le *PSSC* : c'était de la bouillabaisse plutôt qu'un tube d'aliment concentré. Mais les élèves et leurs professeurs se trouvèrent confrontés à beaucoup d'activités qui ne leur étaient pas familières, et notamment à la nécessité de lire ! Une collection de *readers* pleins d'imagination proposait des extraits de textes scientifiques tirés de l'histoire des sciences, ainsi que des textes d'historiens et de philosophes. Mais réunir

de tels textes en les accompagnant de commentaires qui les rendent accessibles aux lecteurs modernes, sans parler des élèves des *High Schools*, est une tâche qui n'a rien de trivial. Présentés sans commentaires, peu de ces textes sont compréhensibles, surtout pour l'élève qui ignore à peu près tout de la diversité des cultures du passé et qui, ainsi, en fait souvent une lecture anachronique. On peut probablement comprendre Faraday directement, mais certainement pas Newton ; et la plupart des autres auteurs se révèlent plutôt difficiles.

Finalement, le *Harvard Project Physics*, malgré son ambition de séduire un auditoire plus large et plus varié que le *PSSC*, s'est révélé être un cours difficile pour les élèves et pour les enseignants. Les élèves trouvaient toujours difficiles les concepts de la physique. Ils doutaient de l'intérêt de la partie historique ; les professeurs, quant à eux, considéraient que l'enseignement des parties culturelles du cours dépassait leurs compétences.

Les projets de la Fondation Nuffield pour l'enseignement des sciences

Au cours des années 1960-1970 la Fondation Nuffield (un analogue britannique de la Fondation Ford) a subventionné treize projets différents de recherche et développement, couvrant la physique, la chimie, la biologie et l'enseignement intégré des sciences, depuis l'école primaire jusqu'au second cycle de l'enseignement secondaire (16-18 ans). On peut estimer le coût total de ces projets à celui d'un Boeing 707 de seconde main ou à celui de deux kilomètres d'autoroute urbaine, ce qui est très bon marché à mon avis !

Ces cours ont été élaborés par des équipes formées principalement de professeurs du secondaire, aidés mais jamais dirigés par des professeurs d'université. La collaboration avec les fabricants de matériel scientifique scolaire a joué un rôle particulièrement important ; une grande partie du matériel de laboratoire pour l'enseignement des sciences a été repensée et modernisée. On considérait en effet qu'une bonne dose d'expérience pratique était indispensable aux élèves pour comprendre les concepts abstraits. C'est que l'action, croyait-on, devait être intimement liée à la compréhension. Cela a d'ailleurs eu une conséquence importante. Les professeurs britanniques, en bons empiristes anglo-saxons, aiment les appareils et l'expérimentation, et sont beaucoup moins attirés par la théorie. Au début, les écoles qui souhaitaient prendre part aux projets Nuffield ont été dotées gratuitement d'appareils, ce qui s'est avéré une forte incitation. Par la suite, la possibilité d'obtenir des nouveaux équipements de laboratoire a attiré des écoles vers ces nouveaux programmes, même lorsque les professeurs n'approuvaient pas le projet. Les autorités éducatives locales et les inspecteurs qui souhaitaient promouvoir ces réformes n'avaient qu'à faire savoir qu'ils accueilleraient favorablement les demandes de nouveaux appareils.

On peut regretter aujourd'hui qu'à la suite des projets Nuffield l'idée de tout fonder sur l'expérience pratiquée par les élèves se soit à tel point installée dans la

conscience des professeurs que d'autres activités également valables ont eu tendance à disparaître. Aujourd'hui, il est facile de trouver une leçon de science où les élèves sont actifs avec leurs mains — et on peut dire, actifs avec bonheur — mais pas du tout actifs avec leurs esprits. Trop de professeurs terminent leurs leçons en se contentant de ranger le matériel jusqu'à la prochaine fois, au lieu de discuter avec les élèves sur le sens de ce qu'ils ont fait et de ce qu'ils peuvent avoir vu.

Le Nuffield Physics (11-16 ans)

Le cours de physique du Nuffield pour la partie obligatoire de l'enseignement secondaire (11-16 ans) a été organisé par Eric Rogers, aidé de John Lewis et Ted Wenham. Tous les trois sont des professeurs très respectés et le premier d'entre eux une véritable *prima donna*. Ce programme d'enseignement se caractérisait principalement par les traits suivants :

- une organisation selon un canevas structurel de concepts ;
- des objectifs tirés des domaines majeurs de la physique : atomes, astronomie, énergie ;
- l'adoption d'un plan prenant en compte le développement cognitif ;
- l'élaboration d'un programme complet étalé sur cinq années, avec une approche en spirale où les idées qui sont introduites une année sont développées au cours des années suivantes ;
- l'accent mis sur la nécessité pour les élèves de réfléchir par eux-mêmes ;
- l'importance accordée à la « découverte » ;
- la priorité absolue accordée aux activités pratiques ;
- la multiplication des expériences pratiques pour voir, toucher, sentir, réfléchir, penser, discuter.

Le contrôle absolu des examens nationaux de fin d'études, pour les élèves ayant suivi cet enseignement, était un point crucial du projet. La réforme de l'examen était radicale, avec de nombreuses formes d'évaluation entièrement nouvelles, conçues pour s'adapter aux buts et aux activités du programme. Grâce à cette réforme de l'examen, l'équipe du projet est arrivée à maintenir son influence sur les professeurs longtemps après la fin du travail de développement. Un seul exemple de sujet d'examen suffira à nous faire comprendre :

« Si on remplace l'ampoule d'une torche électrique, il peut arriver que lorsque la torche est allumée, la lampe brille très intensément pendant un instant, puis s'éteigne et que la torche ne marche plus. Voici des explications possibles :

1. la pile est à plat ;
2. le filament de la lampe est trop mince ;
3. le filament a fondu ;
4. la lampe doit être utilisée avec une pile de plus faible voltage ;
5. le coupe-circuit de la torche est cassé.

Pour chacune des raisons citées ci-dessus, dire :

- si c'est une raison possible et comment ;
- si c'est stupide et pourquoi ;
- si ce n'est pas possible, sans être stupide. Expliquer. »

Beaucoup d'autres sujets d'examen insistaient de la même manière sur la compréhension qualitative de la physique.

Voyons quelles sont, selon moi, les principales erreurs du programme Nuffield. Le programme d'enseignement a été conçu avec beaucoup de subtilité et de pénétration, et d'une manière fort détaillée. Mais beaucoup d'enseignants n'appréciaient pas cette subtilité, fondée sur une prise en compte profonde et globale des aspects psychologique, pratique et conceptuel de la question. On conçoit que cette complexité n'ait pas toujours été appréciée. De plus, il apparaît rétrospectivement que le projet a été développé à un mauvais moment. Le système scolaire anglais était à cette époque en pleine transformation, passant d'un système sélectif et stratifié à un système non hiérarchisé de *comprehensive schools*. Lorsque le projet a été développé, la tradition de sélection était encore très forte, et peu de *comprehensive schools* expérimentaient les idées nouvelles. Assez rapidement, le projet apparut inadapté à beaucoup de professeurs de *comprehensive schools*, car il ne convenait selon eux qu'aux 25 % les plus doués. Quand on lance une réforme, il faut encore que la situation s'y prête !

Le Nuffield Advanced Physics (16-18 ans)

Je terminerai par quelques mots sur le projet que j'ai eu l'honneur de diriger avec Paul Black. Créé entre 1967 et 1971, ce projet est encore en application aujourd'hui (1994). Toutes les réformes n'ont pas eu cette longévité. Comme les autres projets, il a été adopté par environ 25 % des établissements concernés.

Là encore, le contrôle de l'examen a joué un rôle crucial. Il s'agit, dans ce cas, de l'examen d'admission à l'université, dont voici quelques traits spécifiques : présence de quelques questions de nature philosophique et spéculative (ce qui va plutôt contre les tendances anglo-saxonnes habituelles) ; importance donnée à une recherche pratique originale que chaque élève devait mener (15 % du total des points) ; examen écrit pour contrôler la compréhension d'un texte scientifique ou technique.

Une grande importance était accordée au travail pratique, mais on insistait aussi fortement sur la théorie. En ma qualité d'éditeur des livres du maître et de l'élève, j'ai veillé à faire disparaître totalement l'expression « pédagogie par la découverte », non pour interdire aux élèves de découvrir par eux-mêmes des idées nouvelles, mais parce que le mot « découverte » est beaucoup trop important pour être ainsi galvaudé. Nous voulions que les élèves trouvent des choses par eux-mêmes. Mais nous voulions traiter cette partie du cours avec réalisme et ne pas nous contenter d'un vœu pieux. C'est pour cette raison que nous avons accordé plus de 15 % du temps total aux recherches personnelles des élèves sur des problèmes de leur choix. Ces problèmes devaient être à leur portée, et tenir compte de leurs moyens de réflexion et de leur travail personnel.

Il s'agissait par exemple de trouver comment les différentes colles adhèrent ou comment des gouttes éclaboussent en tombant sur de l'eau, et non pas de « découvrir » une des lois de Faraday.

Le projet avait certainement des défauts, mais je ne crois pas être le mieux placé pour en juger. L'un était le manque d'attention accordée aux rapports sociaux de la science et de la technologie. Un autre était l'attention insuffisante portée à la physique dont se servent les techniciens et les ingénieurs, plutôt qu'à celle des physiciens professionnels. Et un troisième était l'excessive difficulté de certaines parties du programme pour les enseignants, même si elles ne l'étaient pas toujours pour les élèves. Je pense au travail sur le second principe de la thermodynamique et au travail sur la physique quantique que j'ai mentionnés avec orgueil dans l'introduction de ce texte.

LES ANGLO-SAXONS SONT-ILS DIFFÉRENTS ?

Je conclurai en donnant quatre réponses : deux en faveur du oui et deux en faveur du non.

Oui, les Anglo-saxons étaient différents parce qu'ils avaient la possibilité d'expérimenter leurs idées à différentes échelles. Certaines de ces idées étaient plutôt banales et quelques-unes très hardies. Compte tenu du caractère décentralisé de leur système éducatif, ils pouvaient « bricoler », ce qui était généralement interdit dans des systèmes éducatifs centralisés. Ils avaient le droit à l'erreur.

Non, les Anglo-saxons n'étaient pas tellement différents. Comme tous les autres à cette époque, ils étaient convaincus qu'il fallait définir l'organisation et les objectifs du cours de physique à partir des concepts les plus fondamentaux de la physique. Comme tout le monde, ils avaient tendance à oublier l'intérêt de la technologie, alors que la physique permet de réaliser bien des choses dans la vie pratique.

Oui, les Anglo-saxons sont différents. L'importance des travaux pratiques reste pour eux une obsession. Quand ils en font l'unique moyen pour les élèves d'acquérir des notions de physique, c'est un échec. Mais quand ils s'en servent pour permettre aux élèves de comprendre, à leur niveau, en quoi consiste une recherche en physique, ils disposent là d'un outil puissant et fondamental que d'autres n'apprécient pas toujours suffisamment.

Non, les Anglo-saxons, comme tout le monde, font de grosses erreurs. Comme tous les autres, ils n'atteignent pas la perfection. Mais les Anglo-saxons sont peut-être plus enclins que d'autres à l'admettre. Comme ailleurs, une réforme dans l'enseignement de la physique ne peut apporter que des améliorations empiriques, dont certaines s'avèrent durables alors que, dans d'autres cas, l'expérience dément les grandes espérances qu'on plaçait en elles. C'est sans doute un trait spécifique de la culture anglo-saxonne d'être persuadé que le mieux est l'ennemi du bien.



20 janvier 1984 : Jerrold R. Zacharias reçoit la médaille de l'*International Commission on Physics Education* (ICPE) pour l'œuvre accomplie en enseignement de la physique. Sur la photographie, de gauche à droite, Roman U. Sexl (1939-1986), Jerrold R. Zacharias (1905-1986) et Anthony P. French. Roman Sexl succéda en 1981 à A.P. French à la présidence de l'ICPE.

De nouvelles orientations dans l'enseignement de la physique : le PSSC 30 ans après

Anthony P. FRENCH ¹

Les réformes de l'enseignement scientifique, ont été, après guerre, très liées à l'innovation. Le PSSC (Physical Science Study Committee), que présente Anthony P. French — dans un texte écrit il y a dix ans mais restant d'actualité —, est un des premiers projets de grande ampleur élaboré aux États-Unis. Quand on prend en compte, comme l'explique l'auteur, le nombre et la qualité des personnes engagées, le temps et les dollars investis, on réalise l'importance d'un tel projet. Et pourtant, quarante ans après, ce projet est peu utilisé. Cette ampleur du projet et le retour à un contenu d'enseignement traditionnel après plusieurs décennies justifient la nécessité d'en connaître l'histoire. C'est une des conditions nécessaires pour aborder l'enseignement comme objet d'étude et non pas seulement comme un lieu d'expériences quasi personnelles à renouveler.

Dans cette brève introduction, nous tenons à reprendre une idée essentielle, celle de l'importance des contraintes du système éducatif dans l'acceptation, la modification ou le rejet d'une innovation. Dans cette aventure de trente ans du PSSC présentée dans l'article, il y a à la fois le succès des premières années qu'il ne faut pas oublier et le retour à une situation où les idées principales sous-jacentes à ce projet ont été évacuées en grande partie. La nouveauté des contenus des premières éditions du cours et le retour à un ordre de présentation traditionnel dans les dernières éditions se sont faits, comme le dit l'auteur « sous les contraintes du système éducatif ». On retrouve ici une idée maîtresse du concept de transposition didactique. Il ne suffit pas que les idées d'une innovation soient reconnues bonnes par le monde des scientifiques qui s'intéressent à l'enseignement, il faut qu'elles puissent être mises en pratique par un système social complexe tel le système éducatif où les groupes sociaux — comme les professeurs et les parents d'élèves — et les aspects matériels — comme le découpage des cours en séquences, la nécessité de salles et de matériels de laboratoire — jouent des rôles déterminants dans l'appropriation ou le rejet d'une innovation.

(1) Ce texte est paru dans le numéro de septembre 1986 de *Physics Today* (vol. 39, n° 9). Il est traduit par Andrée Tiberghien et revu par l'auteur.

Comme cela est suggéré dans l'article, la philosophie sous-jacente à ce projet correspond à une vue de la science par des scientifiques chercheurs professionnels : la structuration du contenu est fondée sur la finalité de la physique comme discipline de recherche, et la présentation voudrait introduire à l'idée que les connaissances scientifiques sont en constante évolution et donc ne sont pas définitives. Il semble que cette vue n'est pas acceptable telle quelle compte tenu, très vraisemblablement, du niveau de la culture scientifique actuelle. Ceci pose la question de la nécessité des travaux de recherche analysant finement les difficultés de l'enseignement et de l'apprentissage de la physique.

Andrée Tiberghien

En 1945 les États-Unis sortaient de la Seconde Guerre mondiale, dans un monde profondément modifié par le développement scientifique. La période de guerre avait favorisé le développement d'une technologie sophistiquée — le radar notamment — exploitant les principes de base de la physique (en électronique et physique atomique par exemple), et cette technologie s'était avérée cruciale pour l'issue de la guerre. Cependant, dans les États-Unis d'après guerre, moins de 25 % des élèves de *high school* étudiaient la physique, et l'enseignement de la physique privilégiait l'apprentissage par cœur et une approche superficielle. On trouvait des situations semblables dans l'enseignement des mathématiques et des autres sciences.

Jerrold R. Zacharias, un professeur de physique au MIT, était profondément persuadé que les cours de physique étaient inadaptés pour préparer les jeunes à la vie dans une société où science et technologie jouaient un rôle toujours grandissant. En 1956 il posa les premiers jalons d'un changement fondamental dans l'enseignement des *high schools* américaines. Sa méthode, peut-être sans précédents dans le champ éducatif, a été de constituer une équipe de travail nombreuse et bien coordonnée du même type que celles qui s'étaient montrées si performantes dans les grands programmes scientifiques — tel que le développement du radar — pendant la Seconde Guerre mondiale.

LE DÉMARRAGE

J.R. Zacharias a constitué un groupe — le *Physical Science Study Committee* — comprenant à la fois des physiciens universitaires, des spécialistes en éducation et des professeurs de physique de *high school* venant de tout le pays. Parmi eux se trouvaient quelques-uns des plus éminents physiciens de l'époque — tels que Philip Morrison, Edward Purcell et Hans Bethe. En novembre 1956, avec une dotation initiale de 300 000 dollars de la *National Science Foundation*, J.R. Zacharias engagea un programme visant à créer, à partir de zéro, un cours complet de physique.

La première grande réunion de travail du PSSC s'est tenue [*Physics Today*, 1957] du 10 au 12 décembre 1956. Stephen White, l'un des participants, a raconté plus tard [White, 1960] en détail quelles furent les orientations adoptées lors de cette rencontre.

Le plus important peut-être fut la décision de concevoir le cours du *PSSC* pour les élèves qui avaient fait le choix d'étudier la physique (principalement les élèves les meilleurs, se destinant aux études supérieures) et celle de limiter le cours à une année, même si l'on pensait que deux années auraient été préférables. Ces décisions, comme l'a souligné S. White, étaient d'ordre conjoncturel. Elles prenaient acte que si le *PSSC* tentait de briser les contraintes éducatives existantes, il diminuerait ses chances d'être utilisé et accepté.

Outre ces décisions stratégiques, le comité présenta quelques principes concernant la structure et le contenu du cours. Les cours existants étaient, pour citer S. White, un « patchwork » de mécanique newtonienne et de questions diverses relevant de la physique classique, avec une teinture de physique plus moderne et un accent mis sur les applications plutôt que sur les principes. Le *PSSC* chercherait à présenter la physique comme une activité intellectuelle complète et non comme un ensemble de règles mécaniques pour résoudre des problèmes ou faire des manipulations. Le cours devait être conçu pour refléter l'esprit de la recherche, présentant à la fois théorie et expérience comme des processus d'approximation successive et non comme un savoir certain ou définitif. L'accent serait mis sur les caractéristiques les plus fondamentales et universelles de la description de la nature par le physicien — telles que les ordres de grandeur et les effets de changement d'échelle. Il faudrait un thème unificateur dans la présentation et la discussion du contenu du cours, — ce serait la représentation atomique, particulière de l'univers. De plus, pour pouvoir traiter à fond le cours, on renoncerait à des chapitres traditionnellement importants (comme le son). Le but était d'amener les élèves à penser et à agir comme des scientifiques professionnels : apprendre à poser les questions, à rassembler et analyser les données et à élaborer des conclusions raisonnées.

Il y avait aussi ce que S. White appelait des « antiprincipes » — ce que le cours ne chercherait pas à faire. Les membres du comité ne portaient pas avec l'intention spécifique de former plus de scientifiques et d'ingénieurs (bien que, sans nul doute, ils aient espéré que l'intérêt intrinsèque du cours et le défi qu'il constituait, attireraient plus d'élèves vers la physique dans les *high schools*). De plus, il n'y avait aucune intention de déprécier ni de diminuer le rôle du professeur. Et, aucune forme définitive ne devrait être donnée à la structure du cours ou du manuel : les deux seraient soumis à un examen et à une révision permanents.

LA CRÉATION DU COURS

Bien qu'une tâche majeure, en créant le cours du *PSSC*, ait été de définir un contenu et de produire un manuel, le comité, dès le début, jugea central le rôle joué par le laboratoire. Le laboratoire était sans aucun doute un point fort dans le programme. Les élèves étaient initiés à une exploration directe de l'espace, du temps et de la matière, apprenant, de première main, comment élargir leur champ perceptif grâce à des dispositifs simples et ingénieux. Il est difficile d'imaginer quelqu'un qui ne soit pas émerveillé et impressionné devant une balance fabriquée avec une paille — si simple

et cependant capable de réagir au poids d'un seul cheveu. Les cuves à ondes remplirent leur office avec une telle efficacité qu'elles se banalisèrent dans les *high schools*. Et ce n'était là que deux parmi beaucoup d'autres ressources nouvelles.

Le reste du projet était également caractérisé par l'originalité et la nouveauté de la démarche. La première édition du manuel, publié en 1960, dont Francis L. Friedman était l'auteur principal, présentait les questions dans un ordre qui n'était pas du tout orthodoxe — ce qui, malheureusement, a été en partie abandonné dans les éditions plus récentes. Il était stimulant, au lieu de l'introduction habituelle du mouvement *via* les mathématiques, d'être immédiatement confronté aux problèmes de base de mesure et d'échelle qui pouvaient être directement testés en laboratoire. La structure particulière de la matière apparaissait tôt dans le programme. L'optique géométrique et l'optique ondulatoire venaient avant toute immersion dans la dynamique newtonienne — autre caractéristique de cette pédagogie imaginative.

Une composante centrale du programme était un ensemble d'environ 50 films d'enseignement étroitement adaptés au manuel. Les films présentaient des phénomènes ou des situations trop complexes, subtiles ou difficiles pour être étudiées dans les laboratoires des *high schools* — comme l'expérience de la goutte d'huile de Millikan ou le comptage de photons individuels. En tant que films-spectacles, ils ne sont pas tout à fait à la hauteur. Selon Gilbert C. Finlay [Finlay, 1960 ; 1962] « les films ne sont pas attirants. Il n'y a aucune musique de fond ». La plupart des physiciens n'ont pas une grande présence comme acteurs (à l'exception d'Eric Rogers, avec son film sur la loi de Coulomb, et de Patterson Hume et Donald Ivey, dont *Frames of References* (référentiels) est probablement le film qui a eu la plus longue durée de vie et qui a été le plus populaire de toute la série — le *Casablanca* de la physique !) Mais, comme G.C. Finlay l'a aussi remarqué, les films sont honnêtes : ils présentent des expériences réelles utilisant des données réelles. Un des plus impressionnants à cet égard est *Forces*, de J.R. Zacharias lui-même. Sa démonstration de l'attraction gravitationnelle entre des boîtes de sables et des bouteilles d'eau était un tour de force ; les élèves et les professeurs, où qu'ils soient, pouvaient à présent voir de leurs propres yeux un phénomène extraordinairement subtil.

À chaque étape, le PSSC expérimentait les nouvelles ressources dans les établissements ; les informations obtenues en retour constituaient une partie importante du projet. Walter Michels et Frederick L. Ferris se sont efforcés d'imaginer un ensemble d'épreuves et d'exams nouveaux. Enfin, le cours a fourni un riche ensemble de lectures complémentaires avec les *Science Study Series*, constitué de plus de 40 monographies originales sur des sujets bien ciblés (comprenant des biographies de savants tels que Johannes Kepler, le comte Rumford et J.J. Thomson ainsi que des épisodes fameux en physique tels que *Thirty Years that shook Physics*¹ de George Gamow retraçant l'histoire de la théorie quantique).

(1) Ouvrage publié en 1965. Éd. française *Trente années qui ébranlèrent la physique*, Paris, Dunod, 1968.

Dès le début, le *PSSC* a considéré qu'un point crucial de toute l'entreprise était de mettre le professeur moyen en mesure d'utiliser ces matériaux nouveaux dont l'introduction constituait un défi. Une tâche importante fut donc de préparer un guide détaillé pour le maître, beaucoup plus volumineux que le manuel lui-même. Bien plus, un ambitieux programme d'instituts de formation des maîtres permit à des centaines de professeurs d'avoir un contact direct avec ceux-là même qui avaient participé à la création du cours.

DÉVELOPPEMENT AUX ÉTATS-UNIS ET À L'ÉTRANGER

J.R. Zacharias aimait à souligner que le programme du *PSSC* était déjà mis sur les rails presque un an avant le lancement par les Russes du premier Spoutnik en octobre 1957. Néanmoins, le choc provoqué par ce succès soviétique sur l'amour-propre américain fut, sans nul doute, un puissant stimulant pour les financements publics et privés du *PSSC* ainsi que pour des projets similaires dans d'autres domaines scientifiques. Le budget du *PSSC* lui-même s'éleva rapidement aux alentours d'un million de dollars par an et se maintint à ce niveau pendant cinq ans environ, à la fin des années 1950 et au début des années 1960. L'aide apportée par la *National Science Foundation* a eu une importance inestimable pour rendre possible l'ensemble du projet.

L'utilisation du *PSSC* s'est rapidement diffusée pendant les premières années. La préface de la première édition du manuel rappelle que le cours, dans sa phase d'élaboration, était utilisé par 8 établissements et 300 élèves en 1957-1958, par 300 établissements et 12 500 élèves en 1958-1959 et par à peu près 600 établissements et environ 25 000 élèves en 1959-1960. Comparés aux quelque 15 000 professeurs de physique et aux 500 000 élèves de ces années, ces chiffres sont relativement faibles. Cependant, au moment où le cours atteignit son plein impact, il touchait bien plus de 100 000 élèves par an.

Ces chiffres concernent uniquement les États-Unis, mais l'un des traits remarquables de ce cours résidait dans son utilisation et son influence à l'étranger. Le manuel a été traduit en 17 langues. Ce succès est particulièrement remarquable compte tenu du fait que dans la plupart des pays dotés de systèmes d'enseignement secondaire bien développés, l'enseignement de la physique s'étalait sur plusieurs années de niveau *high school*, et présentait la discipline de manière plus approfondie et plus détaillée que ne pouvait le faire le cours américain type d'une année. Mais si le cours du *PSSC* a séduit, c'est peut-être par la haute qualité intellectuelle de sa présentation. Nahum Joel (qui a appartenu à la division de l'enseignement des sciences de l'Unesco) m'a indiqué qu'il existait même une édition en russe du manuel du *PSSC*, avec un tirage à 57 000 exemplaires — suffisamment pour tous les professeurs de physique de l'Union soviétique !

Le cours du *PSSC* a eu sans aucun doute un impact considérable sur la manière dont la physique est étudiée dans l'enseignement secondaire — et non seulement aux États-Unis comme je viens de le souligner. Même aux États-Unis, son influence ne peut

se mesurer par la seule vente des manuels ou par le nombre d'établissements et d'élèves faisant usage du cours. Il suffit de regarder les éditions récentes d'autres cours de physique de *high schools* pour repérer de nombreux emprunts faits au PSSC. Il y a une bonne raison à cela : le programme du PSSC a été la première tentative pour présenter la physique comme une entreprise vivante, considérée du point de vue des physiciens professionnels.

Cependant, comme J.R. Zacharias le reconnaissait lui-même, le PSSC ne résolvait assurément pas tous les problèmes. Notons d'abord qu'il n'a pas provoqué l'augmentation qu'on espérait du nombre des élèves de *high school* choisissant l'option physique. On peut dire (et cela a été dit) que le cours, bien que passionnant pour l'élève porté vers les sciences, était trop difficile, et peut-être simplement inadapté, pour les autres. Le cours du *Harvard Project Physics*, élaboré quelques années plus tard, a été conçu pour résoudre ce problème ; il a été bien accueilli, mais n'a pas changé la situation de manière significative. En effet, la baisse du nombre d'inscriptions à l'option physique dans les *high schools* — de 25 % environ des diplômés de *high schools* en 1955 à environ 15 % en 1985 — est un fait malheureusement bien connu [Pallrand & Lindenfeld, 1985]. Le pourcentage actuel de programmes de physique de *high schools* utilisant le cours du PSSC, semble aussi avoir diminué notablement, d'un facteur 2 environ — peut-être même plus.

QUELQUES LEÇONS À TIRER DU PSSC

La principale leçon à tirer du projet PSSC est probablement la très grande difficulté à maintenir une innovation, même de valeur, dans le domaine éducatif. La pression du système éducatif a non seulement entraîné la réduction du nombre d'établissements utilisant le PSSC mais elle a aussi contraint son manuel à revenir à une forme plus traditionnelle. Des cours tels que le PSSC et le *Harvard Project Physics*, qui mettent l'accent sur la recherche et le caractère provisoire de la connaissance scientifique, exigent davantage des professeurs que ne le fait un cours plus traditionnel, et cela aussi a eu un effet dissuasif. Comme George Pallrand et Peter Lindenfeld l'expliquent [Pallrand & Lindenfeld, 1985], le professeur moyen de *high school* n'est pas « un substitut de scientifique ».

Malheureusement, les tentatives faites pour traduire la richesse de la physique par toute sorte d'aides à l'enseignement — films, laboratoires, lecture complémentaire, etc. — n'ont jamais été, semble-t-il, des réussites durables. Certaines difficultés concernent l'organisation et l'intendance — ainsi, le professeur doit se débrouiller seul pour disposer des films loués au moment approprié de son cours. D'autres viennent de la simple obsolescence, point particulièrement vulnérable des films du PSSC, qui présentent des personnages réels. Les jeunes élèves, c'est bien connu, n'acceptent pas les coupes de cheveu « amusantes » et les autres marques d'une culture passée. Le rôle des films de longue durée est, en lui-même, matière à débat ; beaucoup pensent que des

démonstrations courtes, dépersonnalisées — tels que les petits films sur les expériences avec la cuve à ondes préparés pour le PSSC — sont, en général, une meilleure utilisation de ce média. Mais, ce sur quoi on revient sans cesse — et pas seulement pour l'enseignement de la physique en *high school* — c'est sur la prédominance du manuel. Les raisons en sont bien connues : il est relativement bon marché, il définit un cheminement pour l'enseignant et il ne nécessite aucun investissement coûteux pour l'aménagement de la classe ou l'équipement. La tentative du PSSC pour donner également une grande importance au laboratoire a été sérieusement battue en brèche, et la publication de la *Science Study Series* est depuis longtemps abandonné.

Finalement, et ce n'est pas surprenant, avec les années il apparaît clairement que l'élément décisif pour le succès de toute innovation dans le champ éducatif est le professeur dans la classe. L'histoire du PSSC montre qu'un grand nombre de professeurs réagirent de manière enthousiaste en découvrant ce que *pourrait* être un cours de physique ; beaucoup d'entre eux, 30 ans plus tard, affirment que cela a changé leur vie professionnelle. Mais il a été difficile de conserver un vivier de professeurs de *high school* ayant la compétence et l'assurance nécessaires pour traiter un cours si exigeant. Maints professeurs, et ce n'est pas leur faute, n'ont pas la formation professionnelle pour le faire ; former et maintenir à niveau les professeurs de physique de *high school* continue à être une préoccupation majeure [Layman, 1983]. L'absence presque totale de jeunes professeurs de physique, entrant dans la profession, aggrave le problème.

RECOMMANDATION POUR DE FUTURES RÉFORMES

Il y a 25 ans, à la conférence d'hiver de 1961 commune à l'APS (*American Physical Society*) et à l'AAPT (*American Association of Physics Teachers*), J.R. Zacharias a reçu la médaille Ørsted de l'AAPT pour avoir créé le PSSC. (La médaille a été offerte par Francis W. Sears, dont le manuel venait d'atteindre le millionième exemplaire vendu !). Dans son allocution à cette conférence, « Une approche en équipe aux problèmes éducatifs », J.R. Zacharias évoqua ses espoirs [Zacharias, 1961] que le cours puisse contribuer à ce que la science fasse partie de notre culture et que le savoir soit accessible à tous. Il s'agissait simplement selon lui d'une affaire de moyens, en personnels, en temps et en dollars, si bien qu'une réelle et durable amélioration de notre système éducatif exigerait un investissement conséquent et prolongé sur ces trois plans. Mais peut-être sans complètement le réaliser, les concepteurs du PSSC s'adressaient principalement aux gens de leur espèce. Toucher l'élève moyen est resté un problème sans solution, et même chez ceux qui sont doués scolairement la culture scientifique est l'exception. L'enseignement de la physique dans les *high schools* a (ou devrait avoir) un objectif plus large que celui de former de futurs scientifiques pour les carrières universitaires. Rien de significatif ne pourra être probablement fait tant que l'on n'aura pas trouvé des méthodes plus efficaces pour éveiller chez les élèves, dès leur jeune âge, un intérêt pour la science et pour maintenir cet intérêt au lieu de les rebuter.

Sans nullement renoncer à ce qu'il recommandait en 1961, J.R. Zacharias a plus récemment souligné lui-même l'importance d'une prise de contact efficace, à la fois au niveau *high school* et au niveau *pré-high school*. Lors d'une conversation avec moi en janvier dernier, il a même avancé l'idée qu'une « physique fondée sur le moteur automobile et les feux arrière » pourrait offrir une stratégie pour enseigner la physique aux élèves les plus jeunes ou les moins doués scolairement — un intéressant changement de cap par rapport à la philosophie qui inspira le *PSSC*. Peut-être qu'avec ces orientations on pourrait toucher les 80 % d'élèves de *high school* qui n'ont pas pris l'option physique, et que le *PSSC* ne cherchait pas vraiment à toucher.

Le cours *PSSC* était une référence, non seulement dans l'enseignement de la physique, mais dans l'enseignement en général, et la manière dont il fut organisé et mené a fourni un modèle utile pour beaucoup de programmes ultérieurs et pour d'autres projets éducatifs. Cependant, quel qu'en soit l'intérêt, il ne suffit pas de concevoir de nouveaux programmes attractifs pour répondre aux problèmes de fond que pose l'enseignement scientifique. Vouloir substituer à un programme qu'un professeur connaît bien un nouveau programme avec lequel il est mal à l'aise et qu'il juge inadéquat peut même être une erreur.

Ceci ne peut constituer un argument contre l'innovation, et Arnold Arons, dans une excellente description du cours *PSSC*, a vigoureusement rejeté cette objection [Arons, 1960]. Trente ans après le démarrage du *PSSC*, le temps est venu (s'il n'est pas déjà trop tard) d'injecter dans l'enseignement de la physique au niveau secondaire des idées nouvelles et des acteurs nouveaux. Un signe encourageant — non limité au *PSSC* — est le nouveau programme « Physics Teaching Resource Agents » de l'AAPT (subventionné par la direction de l'enseignement scientifique rétablie à la *National Science Foundation*) dans lequel des professeurs spécialement sélectionnés servent de formateurs et de modèles pour un beaucoup plus grand nombre d'autres professeurs de physique de tout le pays — une réincarnation de la stratégie « each one teach one » (chacun enseigne à quelqu'un) qui avait si bien fonctionné, sous la direction de G.C. Finlay, au tout début du *PSSC* [Van Hise, 1985]. Les premiers résultats ont été impressionnants — plusieurs milliers de professeurs ont déjà été touchés grâce à ce programme. Joint à la conscience renaissante de l'importance cruciale de l'enseignement scientifique pour notre bien-être national, ceci peut annoncer une ère nouvelle pour l'enseignement de la physique dans les *high schools*. On doit certainement l'espérer.

Cet article est basé sur une conférence donnée à Atlanta au colloque d'hiver organisé par l'APS (American Physical Society) et l'AAPT (American Association of Physics Teachers) en janvier 1986. Juste quand j'allais soumettre l'article, j'appris la mort de Jerrold Zacharias, le 16 juillet 1986. Bien que je n'aie pas écrit cet article comme un hommage à sa mémoire, j'espère qu'il sera lu dans cette optique. Ses

contributions à l'enseignement — et pas seulement à celui de la physique dans les high schools — ont été nombreuses et considérables.

Bibliographie

- Arons (A. B.), *Physics Today*, **13** (6), 20, 1960.
Finlay (G.C.), *Am. J. Phys.* **28**, 86, 1960.
Finlay (G.C.), *The School Review* **70** (1), 63, 1962.
Layman (J.W.), *Physics Today*, **36** (9), 26, 1983.
Pallrand (G.) & Lindenfeld (P.), *Physics Today*, **38** (11), 46, 1985.
Physics Today, **10** (3), 28, 1957.
Van Hise (Y.), *AAPT Announcer* **15** (3), 19, 1985.
White (S.), *Contemp. Phys.* **2**, 39, 1960.
Zacharias (J.R.), *Am. J. Phys.* **29**, 347, 1961.



Le premier Spoutnik, lancé le 4 octobre 1957, exposé à Paris (collection Roger Viollet)

Les changements dans l'enseignement des sciences physiques, en Allemagne, pendant les années 1960

Werner B. SCHNEIDER

Afin de mieux comprendre les réformes menées en Allemagne pendant les années 1960, il est nécessaire de rappeler brièvement l'organisation de l'enseignement et son évolution après 1945. Le système d'enseignement était alors complètement désorganisé et la reprise s'est effectuée avec des conditions initiales différentes pour les quatre zones d'occupation.

ORGANISATION DE L'ENSEIGNEMENT DANS LES DEUX ALLEMAGNE

Un des principes fondamentaux de la constitution de la République fédérale allemande (RFA), fondée en 1949, est le fédéralisme. Le système d'éducation est placé sous la responsabilité de chaque *Land*. Le fédéralisme d'une part, les différences entre les zones après 1945 d'autre part, ont entraîné un développement particulièrement divergent en Allemagne de l'Ouest (programmes, organisation, horaires des classes, manuels, etc.). Seule la structure du système scolaire était commune à tous les *Länder*, celle-ci se basant, pour l'essentiel, sur les idées pédagogiques développées dans les années 1920 et même avant.

Les quatre premières années scolaires (A, cf. figure 1, page suivante) commencent pour tous à l'âge de 6 ans. Ensuite, les élèves, selon leurs résultats, peuvent opter entre trois filières : *Gymnasium*, *Realschule*, *Hauptschule* (filières B, C et D, cf. figure 1). La filière B (*Gymnasium*) se termine avec le baccalauréat (*Abitur*) et la filière C (*Realschule*) avec un examen nommé *Mittlere Reife*.

Après sa fondation en 1949, la République démocratique allemande (RDA) développe un système scolaire très différent de celui de la RFA. Le système est basé sur les conceptions socialistes d'une école unique développées vers la fin du XIX^e siècle. S'y sont ajoutées les idées d'une éducation polytechnique, en liaison directe avec les nécessités de la production et l'idéologie du marxisme-léninisme. L'organisation

de ce système d'éducation est centralisée et valable pour toute la RDA (programme unique, mêmes manuels, etc.). La structure est schématisée sur la figure 1.

Le point essentiel est la formation unique (*zehnklassige allgemeinbildende polytechnische Oberschule*, E sur la figure 1) reçue par tous les élèves durant les dix premières années scolaires et sanctionnée par un examen. Ensuite s'ouvre la possibilité de poursuivre, pendant deux ans, un cycle supérieur (*erweiterte Oberschule*, F sur la figure 1) qui prépare au baccalauréat.

Les deux systèmes allemands offrent à peu près le même nombre d'heures de cours par semaine. À partir de la 5^e année d'école, les élèves ont 30-36 heures d'école par semaine, réparties sur 6 jours (ici une « heure » signifie 45 minutes de cours). Les cours ont lieu, normalement, dans la matinée.

En RFA, à la fin des années 1950, l'enseignement de la physique commence (en moyenne pour les différents *Länder*) en 8^e année scolaire à raison de 2 heures par semaine, et ceci jusqu'au baccalauréat. Le nombre d'heures et la répartition sur les classes ont été modifiés pendant les années 1960.

âge : 6 ans

Nombre d'années scolaires

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
						B : Gymnasium							
						Unter- u Mittelstufe				Oberstufe			
RFA	A : Grundschule				C : Realschule								
					D : Hauptschule								
RDA	E : allgemeinbildende polytechn. Oberstufe										F : erweiterte Oberstufe		

Fig. 1 : Structure des systèmes scolaires allemands

RFA : République fédérale allemande (Allemagne de l'Ouest)

RDA : République démocratique allemande (Allemagne de l'Est)

En RDA, l'enseignement de la physique commence en 6^e année scolaire à raison de 3 heures par semaine, 2 heures en 7^e et 8^e, 3 heures en 9^e et 10^e et 3 heures en 11^e et 12^e. L'enseignement des sciences physiques est pratiquement le seul qui ne soit pas influencé par l'idéologie, et la physique est enseignée comme dans les pays non socialistes. La structure du système scolaire, surtout pour l'enseignement de la physique, n'a pas beaucoup changé depuis les années 1960 jusqu'à la réunification en 1990, à part quelques modifications peu importantes.

Étant donné que le système scolaire n'a pas subi de réformes en RDA, en particulier pour ce qui concerne la physique au cours des années 1960-1970, nous nous limiterons désormais au cas de la RFA.

L'ENSEIGNEMENT EN RFA AU DÉBUT DES ANNÉES 1960

Les années 1950 sont caractérisées par une consolidation du système d'enseignement en RFA. En physique, il faut préparer de nouveaux manuels, réparer, acquérir et construire de nouveaux appareils pour pouvoir faire des expériences. Dans cette phase de reconstruction, il ne reste pratiquement pas de place pour les innovations. Cependant, on constate alors, avec beaucoup d'inquiétude, les divergences, le manque de cohésion du système scolaire en RFA et surtout son inadaptation aux besoins de la société dans un pays industrialisé.

Plusieurs commissions sont constituées pour préparer des réformes du système éducatif. La commission la plus importante est créée par l'état fédéral (*Deutscher Ausschuß für das Erziehungs- und Bildungswesen*). Cette commission publie, en 1960, un accord cadre (*Saarbrücker Rahmenplan*) sur les réformes envisagées. Cette proposition est basée sur les intentions suivantes : limitation du nombre de matières, restriction du contenu des matières par un choix paradigmatique, limitation à un noyau dur de connaissances, transformation de cours obligatoires en cours optionnels ou facultatifs.

Pour mettre en œuvre cette proposition, la commission conseille une réorganisation de tout le système scolaire. Cette suggestion est vivement contestée — par exemple par le *Förderverein für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht*, la *Kultusministerkonferenz*, le *Philologenverband*, les Universités et le *Gesprächskreis Wissenschaft und Wirtschaft des Bundesverbandes der deutschen Industrie und des Stifterverbands für die Wissenschaft* —, et peu acceptée par la société. Mais les discussions entraînent cependant quelques modifications importantes pendant les années 1960. Ce n'est qu'en 1972 qu'on décide, sur la base de cet accord cadre, de changer complètement le système scolaire dans toute la RFA, essentiellement pour les trois années précédant le baccalauréat.

L'évolution de l'enseignement de la physique dans les années 1960 n'est pas révolutionnaire. Il n'y a pas de réformes importantes, mais des modifications, mieux décrites par le terme de « changement ».

ORIGINE DES CHANGEMENTS

Les changements introduits ont différentes origines. L'une d'elles réside dans la réforme de l'organisation du système scolaire. Une des modifications apportées, à la suite des propositions de l'accord cadre de 1960, concerne les trois années avant le baccalauréat au *Gymnasium*, avec l'introduction de filières de spécialisation en mathématiques et sciences expérimentales (incluant physique, chimie, biologie) d'une part et en langues vivantes ou anciennes d'autre part.

Cette réforme est accompagnée d'une augmentation de l'horaire des sciences physiques dans les branches mathématiques-sciences physiques et naturelles (3 heures

en 11^e, 5 heures en 12^e et 13^e années scolaires, par semaine) et par une diminution assez importante dans les autres sections (2 heures seulement par semaine en 11^e et disparition en 12^e et 13^e années scolaires). Ces changements d'horaires n'ont pas entraîné d'innovations dans l'enseignement de la physique. On a seulement augmenté ou réduit le contenu des programmes.

À première vue ce changement semble positif pour une formation approfondie en physique, conformément à un souhait largement partagé. En réalité, la majorité des élèves choisissant la filière langues, nombreux sont les jeunes qui, à la sortie du *Gymnasium*, ont une formation insuffisante en sciences physiques et naturelles et principalement en physique. Finalement, cette réforme n'a pas apporté les résultats escomptés.

Une autre cause des changements survenus dans les années 1960 dans l'enseignement de la physique est l'amélioration des conditions de cet enseignement et de l'équipement expérimental. Vers 1960 l'état fédéral fait un énorme effort budgétaire pour moderniser et compléter le matériel expérimental pour la physique et les autres sciences expérimentales, et ceci en priorité dans les *Gymnasien*. De plus, des salles spécialisées pour l'enseignement de la physique et pour les travaux pratiques sont construites dans les établissements. En particulier, un établissement sur deux, soit environ 750 *Gymnasien*, a reçu une somme de 12 000 DM pour acheter du matériel ce qui a permis d'introduire un enseignement de physique moderne — physique atomique et nucléaire remplaçant l'étude des vibrations, oscillations et ondes.

L'utilisation des appareils modernes tels que le μ -voltmètre, le μ -ampèremètre, le chronomètre électronique, le compteur électronique, etc., accompagnée de l'introduction de la physique moderne a provoqué une renaissance très importante de l'aspect expérimental des sciences physiques et entraîné une vague d'enthousiasme chez les enseignants. Cette vague d'enthousiasme a beaucoup influencé l'enseignement de la physique, en motivant élèves et professeurs. La motivation des professeurs, leur activité, se perçoivent à travers les nombreux articles sur les aspects expérimentaux et méthodiques publiés dans les journaux didactiques de cette époque. Une grande partie de ces propositions a été intégrée peu à peu dans les programmes.

Les années 1960 sont caractérisées également par des innovations apportées grâce à l'introduction de nouveaux médias dans l'enseignement. On utilise du matériel moderne conçu pour améliorer la visualisation comme le rétroprojecteur et le matériel audiovisuel. Mais les livres d'élèves, surtout, ont beaucoup changé. On peut noter une amélioration dans la présentation de la physique : utilisation des couleurs, illustrations, mise en page. L'utilisation d'un vocabulaire scientifique plus abstrait, une orientation de plus en plus marquée vers les calculs dans les problèmes posés sont d'autres caractéristiques de ces nouveaux manuels.

À l'étranger, au cours de ces années 1960, à la suite du « choc sputnik », beaucoup d'activités sont lancées pour moderniser les programmes d'enseignement de la physique. En Allemagne, des professeurs prennent peu à peu connaissance de ces nouvelles idées grâce à la traduction et à l'introduction des publications du PSSC et du projet Nuffield, mais l'influence sur les programmes est négligeable. Cependant, sous l'impulsion des réformes étrangères pour l'enseignement des sciences physiques et naturelles — accueillies favorablement par l'opinion publique —, est fondé, à Kiel en 1965, un institut national pour la pédagogie des sciences physiques et naturelles ayant pour mission la préparation des nécessaires réformes. Une de ses premières activités a été de développer un curriculum pour les trois premières années d'enseignement de la physique en introduisant les idées développées à l'étranger. Mais, en raison du fédéralisme allemand, cette institution n'a pas eu une influence importante sur les programmes de physique dans les différents *Länder*. Seules quelques idées ont été incluses dans les programmes, telle que celle d'un « curriculum spiraliqne ». Une autre influence s'est exercée sur l'enseignement de la physique, pour un certain temps, celle de « l'enseignement programmé » venant des USA.

Par ailleurs, le succès d'une réforme ou d'un changement dépend beaucoup des circonstances externes, comme l'engagement des professeurs ou l'intérêt et la motivation des élèves. Au début des années 1960, on constate un vif intérêt pour la physique et les sciences expérimentales, qui est amplifié par la vague d'enthousiasme des professeurs. Tout change à partir de la fin des années 1960. Les élèves perdent de plus en plus d'intérêt pour la physique en raison d'un courant hostile à la technique, et par conséquent à la physique, ce qui perdure encore aujourd'hui.

L'enthousiasme, manifesté par les enseignants au cours des années 1960, retombe à la fin de la décennie en raison de l'accroissement très important et trop rapide du nombre d'élèves, ce qui provoque un déficit notable en professeurs et un manque de places dans les salles spécialisées. Ainsi, beaucoup d'innovations, commencées au début des années 1960, se perdent dans les sables à la fin de la décennie.

En fin de compte, l'enseignement de la physique en Allemagne n'a subi que des modifications légères pendant les années 1960, surtout en RDA. D'ailleurs les changements sont plutôt des modifications du contenu des programmes que l'introduction de nouvelles idées didactiques ou méthodiques. La seule modification méthodique s'effectue vers la fin des années 1960 avec l'introduction d'un « curriculum spiraliqne » dans les programmes pour les classes de la 8^e à la 10^e année scolaire. La réforme de 1972, qui touche seulement les trois dernières années avant le baccalauréat a, entre autres, introduit des cours optionnels. À la surprise générale, les élèves ont choisi de moins en moins le cours de physique, et cette tendance persiste aujourd'hui.

Il en résulte que l'enseignement de la physique a perdu beaucoup de son importance. Actuellement, on discute de l'opportunité de rendre obligatoires les cours de physique ; on modifie les programmes des trois premières années d'enseignement de la physique afin d'introduire des sujets pluridisciplinaires ; enfin, la structure d'un « curriculum spiraliqne » est abandonnée.

Bibliographie

- Klein (A.), *Ringem um die mathematisch-naturwissenschaftliche Bildung*, Bonn, Dümmler Verlag, 1991.
- Töpfer (E.) und Bruhn (J.), *Methodik des Physikunterrichts*, Heidelberg, Quelle et Meyer Verlag, 1979.
- Willer (J.), *Physik und menschliche Bildung*, Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1990.

Réformes et développements de l'enseignement mathématique en R.F.A. depuis 1950

Christine KEITEL

Après la Seconde Guerre mondiale, le système d'enseignement fut réorganisé en R.F.A. sur le modèle du système existant dans les années 1920 [voir Damerow, 1977 ; Keitel, 1980, 1986 ; Lenné, 1969 ; Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, 1991]. Le trait majeur du système — tel qu'il fut reconstitué — était l'organisation tripartite de l'enseignement de niveau secondaire avec trois types d'écoles : le cycle supérieur de la *Volksschule* (correspondant *grosso modo* au primaire supérieur français), la *Realschule* (école secondaire moyenne) et le *Gymnasium* (correspondant au lycée). Les différents noms donnés à la même discipline scolaire — arithmétique pour la *Volksschule* et mathématiques pour les filières plus longues — soulignent clairement la différence, tant qualitative que quantitative, entre les savoirs que l'on entendait offrir dans chacune des trois filières de l'enseignement secondaire. Les préjugés selon lesquels les élèves « ordinaires » de la *Volksschule* seraient incapables d'acquérir plus que des connaissances très limitées — dépourvues d'ailleurs de toute mathématique ! — et que celles-ci leur suffiraient pour leur vie personnelle et professionnelle, tendaient à les maintenir dans leur statut social d'origine.

La constitution fédérale et l'autonomie de chaque *Land* en matière culturelle impliquent que la réglementation sur les programmes et l'enseignement des mathématiques, la formation des enseignants, leur affectation dans les établissements, ainsi que les mesures portant sur les moyens et sur les salaires, relèvent en Allemagne de la seule compétence des *Länder*. Cependant des accords au niveau des ministres de l'éducation des *Länder* garantissent la reconnaissance mutuelle et l'équivalence des divers programmes. Quant à la mise en pratique des programmes, elle est confiée à des personnels — professeurs, formateurs de professeurs, inspecteurs pédagogiques — confrontés à des situations variées, tant dans leurs classes que dans leurs relations avec l'administration régionale et locale.

LES PREMIÈRES RECOMMANDATIONS DE LA KULTURMINISTERKONFERENZ

Jusqu'à la fin des années 1960, les tentatives pour réformer l'enseignement mathématique n'ont concerné le plus souvent que le *Gymnasium*. Le problème traditionnel de l'enseignement mathématique y était le caractère à la fois répétitif et décousu des questions étudiées, associé à une surcharge des programmes. La réforme de F. Klein de 1925 avait pour objectif de réorganiser et de restructurer la discipline mais, en fait, son application partielle aboutit seulement à alourdir les programmes, ce qui a duré jusque dans les années 1950. Pour diminuer cette surcharge, la conférence permanente des ministres de l'éducation (*Kultusministerkonferenz*, KMK) commença à publier à partir de 1955 des *Recommandations et instructions pour l'enseignement mathématique au Gymnasium*. Il s'agissait non pas de moderniser, mais d'unifier et de réduire le canon traditionnel de l'enseignement mathématique au *Gymnasium*. On recommandait également d'introduire quelques rares questions de mathématiques modernes (de type universitaire), mais uniquement dans les deux dernières années des sections de mathématiques et sciences du *Gymnasium*. À ces instructions, s'ajouta en 1958 le *Tutzinger Maturitätskatalog* préparé par des représentants du KMK et par la conférence des recteurs d'universités, qui marqua le retour à une conception traditionnelle de l'éducation (*Bildung*) d'inspiration chrétienne-conservatrice ; comme on ne reconnaissait qu'une valeur mineure aux sciences, y compris aux mathématiques, en tant que disciplines de culture générale (*Allgemeinbildung*), on ne leur accordait qu'une place modeste dans les programmes scolaires. C'est ainsi que les conventions de 1960 du KMK sur la structure du système d'enseignement et la fonction des disciplines scolaires (*Saarbrücker Rahmenvereinbarungen*), appliquées sur le plan administratif à partir de 1961, réduisirent les contenus et les horaires de mathématiques et de sciences au *Gymnasium*.

Le cycle terminal de la *Volkschule* a été quant à lui profondément réformé au cours des années 1960. Jusqu'alors, la *Volkschule* — bien davantage que le *Gymnasium* — était restée marquée par les différences de traditions politiques, religieuses et régionales entre les *Länder*. Elle a été totalement réorganisée en 1964 par le *Hamburger Abkommen* du KMK. Le cycle supérieur de la *Volksschule* fut alors transformé en *Hauptschule* (école principale, correspondant à un enseignement secondaire court). L'enseignement de la *Hauptschule* était conçu désormais comme un enseignement moderne, orienté nettement vers l'industrie et le monde du travail. On chercha aussi à améliorer le recrutement de la *Hauptschule*, en instituant dans les deux premières années des classes spécifiques pour les élèves doués (*Förderstufe*). La scolarité fut rallongée d'un ou deux ans selon les *Länder*, mais sans augmentation des programmes de mathématiques. Ces années supplémentaires ne servaient en fait qu'à la révision et à l'approfondissement de ce qui avait été étudié au cours des années antérieures. En ce qui concerne l'enseignement mathématique, le programme mettait aussi clairement l'accent sur la préparation au monde du travail et demandait d'appliquer « l'arithmétique » aux contextes divers de la vie sociale et économique.

LES RECOMMANDATIONS DE 1968 : « DES MATHÉMATIQUES POUR TOUS »

La publication en 1968 des *Recommandations et instructions pour la modernisation de l'enseignement mathématique dans les écoles primaires et secondaires* de la KMK donna une nouvelle orientation à l'enseignement des mathématiques et des sciences [Damerow, 1977 ; Howson et al., 1981 ; Keitel, 1980]. Cette transformation s'inscrivait en fait dans un mouvement international de réforme. L'adoption d'une politique active de réforme pour l'enseignement mathématique, inaugurée aux USA et en Grande-Bretagne dans les années 1950, avait progressivement diffusé dans les autres pays occidentaux avec l'appui de l'OCDE. Cette politique de réforme reposait sur certains objectifs généraux. Il s'agissait, tout d'abord, d'élever le niveau général d'éducation de la majorité de la population en définissant ce que devait être une formation générale de base en sciences, et spécialement en mathématiques. Il fallait mobiliser davantage les ressources intellectuelles de l'ensemble de la nation en encourageant les élèves d'origine modeste, et en particulier les filles, à poursuivre des études supérieures et rendre équivalents les différents éléments du système scolaire, en permettant l'accès aux études supérieures et aux universités à partir de chaque filière du système. Le dernier objectif était l'amélioration et l'élévation du niveau scientifique des mathématiques enseignées, pour l'harmoniser avec le développement de l'enseignement supérieur et de la recherche mathématique.

Le point crucial de la réforme en Allemagne consistait à considérer les mathématiques scolaires dans leur unité, quel que soit le type d'école. Cette nouvelle façon de voir s'inscrivait dans une politique générale visant à unifier l'ensemble du système scolaire au point de vue des contenus d'enseignement. L'intégration des trois filières secondaires ne devait pas s'effectuer par une restructuration du système tripartite mais par un développement d'un programme mathématique global — les mathématiques pour tous ! —, commun et unifié, tout en étant différencié selon les types d'école [Keitel, 1987, 1989, 1990]. Dans le même temps, sur un plan plus général, on favorisa le passage dans les classes supérieures de l'enseignement secondaire, ce qui entraîna le développement du *Gymnasium*, et on prolongea la scolarité obligatoire jusqu'au 9e ou 10e degré selon les *Länder* ; on ouvrit dans certains *Länder* des écoles expérimentales polyvalentes (*Gesamtschule*, GS) proposant à la fois des scolarités secondaires courtes et longues dans un même établissement.

En 1970, des arrêtés du KMK (*Frankenthaler Beschlüsse*) unifièrent la formation des maîtres en la rendant moins dépendante qu'auparavant du type d'école [Keitel 1992, 1993]. À long terme, cette réforme du système de formation a transformé davantage l'enseignement mathématique que la réforme des programmes : l'introduction d'une formation scientifique pour tous, presque toujours d'un niveau universitaire, l'obligation de poursuivre en parallèle des études en sciences de l'éducation, en sciences sociales et en psychologie, et celle de compléter sa formation par un stage pratique, ont donné à l'enseignement mathématique général une base théorique et pratique nouvelle.

Il s'en est suivi une sorte de révolution tranquille dont les effets n'ont pas été immédiats mais dont l'impact à terme a été décisif.

INSTRUCTIONS OFFICIELLES ET MANUELS

Après 1970, l'intérêt s'est focalisé sur la rédaction de nouvelles instructions et de nouveaux manuels pour l'enseignement des mathématiques dans les différents *Länder* de la R.F.A. Auparavant, la rédaction des instructions servait principalement à faire passer des programmes d'enseignement qui n'avaient guère évolué, ni dans leur structure ni dans la définition du contenu et des méthodes et qui se réduisaient à des catalogues ou à des listes plus ou moins détaillées de questions mathématiques. C'est seulement en introduction qu'étaient sommairement indiqués les objectifs de l'enseignement mathématique ou les méthodes à utiliser. La rédaction codifiée des questions de cours était considérée comme suffisante dans la mesure où il existait un consensus général né d'une longue tradition sur la façon de traiter pratiquement en classe tel ou tel sujet. Les manuels traditionnels fournissaient d'ailleurs une sorte de réalisation concrète des programmes, en structurant les questions de cours imposées par les textes officiels ; ces manuels étaient considérés, tant pour le contenu que pour les méthodes, comme la représentation — sous une forme réduite — du processus didactique, que les professeurs eux-mêmes étaient chargés d'enrichir dans leur enseignement.

Les décisions prises par le KMK en 1968 ont changé du tout au tout la fonction des programmes officiels et des manuels. Ceux-ci devinrent les instruments principaux utilisés pour réformer et innover ; leur fonction consistait dorénavant à faire passer les objectifs de la réforme — tant au point de vue des contenus que des méthodes — sur le terrain pratique. Ce processus de transfert se faisait par étapes : les recommandations globales du KMK devaient être interprétées et traduites, dans chaque *Land*, en programmes officiels pour les différents types d'écoles du système scolaire tripartite. Les directives du KMK laissaient ouverts beaucoup de problèmes fondamentaux : par exemple, comment concevoir la différenciation d'un programme global suivant le type d'école ? En quoi consiste une formation mathématique de base pour tous ? Comment concilier les traditions différentes de l'enseignement scientifique et de l'enseignement pratique en mathématiques ? Toute interprétation des directives du KMK et toute application sur le terrain devaient tenir compte des tensions qui existaient entre les approches didactiques et pratiques traditionnelles d'un côté et une offre multiforme d'approches réformatrices inspirées des exemples étrangers de l'autre. Les directives du KMK représentaient déjà une compilation éclectique de traditions et d'innovations ; cet éclectisme devint le trait caractéristique de tout le processus de réforme.

Dresser la liste udier était loin de suffire pour assurer le succès de la réforme. La nécessité de clarifier et de préciser les projets d'innovation exigeait de rédiger les programmes officiels selon une nouvelle grille. Une solution consistait à modifier la forme même de la grille en présentant les programmes en termes d'« objectifs opéra-

tionalisés » ou d'« objectifs comportementaux », importés des modèles théoriques américains de développement curriculaire. Mais ces listes d'objectifs devaient être expliquées et complétées par des descriptions du nouveau contenu à enseigner. Il fallait présenter les méthodes et les procédures d'enseignement dans des manuels d'instructions pour les professeurs. Les nouveaux programmes officiels se transformèrent ainsi en de volumineuses brochures.

La réforme se référait à l'approche des mathématiques modernes qui exigeait, non seulement de moderniser, mais aussi d'élever le niveau de l'ensemble des mathématiques scolaires depuis l'école primaire. Cette réorganisation devait se fonder sur des concepts de base tels que ceux d'ensemble, de relation, de groupe, en insistant sur l'acquisition des structures et des méthodes fondamentales des sciences mathématiques, comme l'axiomatisation, la déduction, la logique formelle, la généralisation, l'abstraction, la formalisation et la mathématisation, devenues les buts et la matière même de l'enseignement. L'utilisation générale d'un langage formellement rigoureux devint le symbole de la réforme ; on employait des concepts et des termes de la théorie des ensembles dans l'énoncé des définitions et des théorèmes ainsi que dans toutes sortes de démonstrations ; la théorie des ensembles pénétra jusque dans l'enseignement primaire.

Le passage des idées réformatrices dans la pratique scolaire n'a pas été accompagné d'une vaste rénovation pédagogique ; aucun programme pédagogique innovant, ni aucun travail officiel de recherche ou d'expérimentation pédagogique n'ont été lancés à l'époque. Le succès des nouveaux programmes dépendait donc principalement de la diffusion commerciale des manuels scolaires qui ne pouvait être ni organisée ni contrôlée par l'administration. Grâce à une active propagande réformatrice, les manuels choisis pour les élèves comportèrent moins d'exercices et de problèmes et plus de lectures et d'explications, l'objectif n'étant pas seulement d'informer les professeurs sur les nouvelles tendances didactiques, mais aussi de faciliter le travail autonome des élèves. Les éditeurs, qui s'efforçaient de s'adapter au marché et aux besoins des professeurs, étaient ouverts aux innovations ; ils s'adressèrent à des enseignants bien informés et acquis aux réformes pour rédiger, en peu de temps, de nouveaux manuels selon l'approche strictement et rigoureusement scientifique qui était prescrite. Ils essayèrent ainsi de fournir des outils pour aider les professeurs et les élèves à modifier leur façon de considérer l'enseignement mathématique. Le choix des manuels était libre et les professeurs et les élèves avaient à leur disposition une grande variété d'ouvrages, auxquels s'ajoutait un abondant matériel pédagogique. Les conditions contradictoires dans lesquelles fut appliquée la réforme, sa fin prématurée, suscitèrent néanmoins une certaine ambiguïté dans la réception des nouveaux programmes sur le terrain.

UNE RÉFORME BUREAUCRATIQUE

Cette réforme de l'enseignement mathématique peut être caractérisée comme une réforme bureaucratique dont le projet ne fut pas explicité et qui ne fut accompagnée ni de débats publics, ni de débats professionnels. Des décisions ont été prises au sommet de la hiérarchie et il a fallu les mettre en œuvre sur le terrain sans préparation. Cette procédure administrative suivait ainsi le modèle didactique qui inspirait le contenu même de la réforme ; c'est à partir de thèmes intéressant les mathématiques de niveau universitaire, de concepts « nécessaires » ou « fondamentaux », que les questions et les méthodes à enseigner dans le secondaire ont été définies et sélectionnées. Une fois choisis « logiquement » et « rationnellement » les thèmes mathématiques, le processus de « simplification » et d'« élémentarisation » — c'est-à-dire la transformation des thèmes mathématiques en objets d'enseignement, structurellement mais non qualitativement identiques, enrichie peut-être d'une réflexion pédagogique et psychologique — était considéré comme du ressort des responsables de l'enseignement et des professeurs de mathématiques eux-mêmes.

Paradoxalement, cette situation ne fut pas le fait des mathématiciens qui, en Allemagne, n'ont pas joué un rôle majeur dans la réforme ; contrairement aux mathématiciens d'autres pays, la plupart d'entre eux considéraient que le problème de la modernisation se résumait à savoir « comment enseigner aux enfants les questions et les faits les plus importants des mathématiques d'aujourd'hui ». On pensait, en fait, que la transformation des mathématiques en mathématiques scolaires s'appliquait à l'ensemble du cursus mathématique, héritage évident des conceptions qui régnaient dans l'enseignement secondaire.

L'utilité sociale des mathématiques (sous forme explicite ou implicite), qui était pourtant un argument en faveur de la réforme, ne comptait pas, ou seulement accessoirement, dans cette façon de voir. Le concept de transposition didactique lui-même ne reflétait absolument pas cette préoccupation ; conformément à sa philosophie de base explicite ou implicite, il était en accord avec le préjugé académique concernant les valeurs relatives du savoir disciplinaire et du savoir social, s'appuyait sur la conviction qu'une formation générale solide par le savoir disciplinaire couvre mieux et de manière plus étendue l'ensemble des besoins et des applications à la réalité, et participait du souci de déterminer précocement un style mathématique professionnel dans l'enseignement (bien qu'une petite minorité seulement des lycéens dussent effectivement devenir des mathématiciens professionnels). Pour la *Hauptschule*, comme pour les nouveaux types d'écoles polyvalentes, cette façon de voir posait davantage de problèmes qu'elle n'apportait de solutions : l'accent mis sur la pratique sociale des mathématiques par les professeurs concernés aurait exigé des critères de contextualisation des mathématiques, en vue d'applications et d'activités dépassant les frontières disciplinaires, que cette réforme ne fournissait pas.

L'APRÈS-RÉFORME

En 1976, le KMK renonça à introduire les concepts et le langage de la théorie des ensembles à l'école primaire. Cette décision marqua symboliquement la fin de la période active de réforme : au lieu de continuer à consolider la démarche réformatrice, on choisit de tourner brutalement le dos à la modernisation. Les programmes officiels connurent une nouvelle révision, pour les rapprocher davantage des anciennes traditions spécifiques à chaque niveau ; les éditeurs de manuels revinrent au modèle traditionnel des collections de problèmes et d'exercices, abandonnant les modèles intégrés pour tous les types d'écoles ; l'engagement des professeurs en faveur de la réforme se transforma en rejet, à cause du manque de reconnaissance dont ils étaient l'objet.

L'objectif ambitieux de combler le fossé entre les mathématiques du *Gymnasium* et les mathématiques de l'université — un des objectifs des mathématiques modernes — était fondé sur l'introduction de cours optionnels de perfectionnement en mathématiques. En fait, une nouvelle répartition des matières d'enseignement dans les deux dernières années du *Gymnasium*, en 1972, réduisit encore une fois le niveau mathématique de la majorité des diplômés de l'*Abitur*. On établit en effet des cours de différents niveaux, offrant le choix entre un cours de mathématiques de base et un cours de mathématiques spécialisées, ce dernier choix n'étant pas pris en compte dans les notes pour l'examen final. Les mathématiques perdirent donc ainsi toute valeur sélective dans le système secondaire.

De fait, les vrais effets de cette période de réformes de l'enseignement furent d'abord des changements structurels radicaux dans le système secondaire allemand depuis les années 1960. Le développement du *Gymnasium* dès l'âge de 13 ans et l'élargissement de son recrutement, la création d'écoles polyvalentes, ont eu une influence considérable sur la répartition de la population scolaire. La *Hauptschule* qui comptait plus de 60 % des élèves dans les années 1960, n'en reçoit plus qu'un tiers en 1988. Elle est progressivement devenue l'école des laissés-pour-compte, avec d'énormes problèmes de discipline et un niveau scolaire très bas. La *Realschule* et le *Gymnasium*, par contre, voient leurs effectifs passés, respectivement, de 18 % et 20 % à 27 % et 30 % de 1966 à 1988.

Depuis la chute du mur de Berlin, en 1990, l'Allemagne connaît un profond changement. Elle se trouve confrontée aux problèmes que pose l'unification des systèmes scolaires de l'Ouest et de l'Est, en particulier pour l'enseignement des mathématiques. Ce défi, dont on a sans doute sous-estimé l'ampleur, devrait entraîner à l'avenir des modifications profondes. Les nouveaux *Länder* de l'Est se sont alignés sur le système scolaire occidental en rétablissant un système tripartite, considéré pourtant comme dépassé. L'enseignement des mathématiques, qui occupait une place

notable dans l'ancien système de la R.D.A., a perdu beaucoup de son importance, alors même que l'on réclame une mathématique pour tous ! Face à de telles contradictions, de nouveaux changements semblent aujourd'hui inévitables.

Bibliographie

- Damerow (P.), *Die Reform des Mathematikunterrichts in der Sekundarstufe*. Band 1 : Reformziele, Lehrpläne, Stuttgart, Klett, 1977.
- Howson (G.A.G.), *National Curricula in Mathematics*, London, The Mathematical Association, 1990.
- Howson (G.), Keitel (C.) et Kilpatrick (J.), *Curriculum Development in Mathematics*, Cambridge, Cambridge University Press, 1981.
- Keitel (C.), « Entwicklungen im Mathematikunterricht », in Max-Planck-Institut für Bildungsforschung/Projektgruppe Bildungsbericht (Hg.) *Bildung in der Bundesrepublik Deutschland. Daten und Analysen*. Bd. 1 : Entwicklungen seit 1950, Stuttgart, Klett, pp. 447-500, 1980.
- Keitel (C.), Lernbereich : Mathematik und formale Systeme. In : Haller, H.D., Meyer, H. (eds) : *Ziele und Inhalte der Erziehung und des Unterrichts*, Enzyklopädie Erziehungswissenschaften, vol. III, Stuttgart, Klett-Cotta, 1986a, pp. 258-269.
- Keitel (C.), Social Needs and Secondary Mathematics Education, *For the Learning of Mathematics*, 6, 3, pp. 27-33, 1986b.
- Keitel (C.), What are the Goals of Mathematics for All ? *Journal for Curriculum Studies*, 19, 5, 1987, pp. 393-407.
- Keitel (C.), Mathematics Education and Technology, *For the Learning of Mathematics*, 9, 1, 1989, pp. 7-13.
- Keitel (C.) et Seeger (F.), *Kooperative Materialentwicklung*. Materialien und Studien des IDM, vol. 26, Bielefeld, 1982.
- Keitel (C.) et al. (éds), *Mathematics, Education and Society*. UNESCO Doc. Series n° 35, Paris, 1989.
- Keitel (C.), « Mathematician or Pedagogue ? (On the education of mathematics teachers in Germany) », *The Curriculum* 3,3 (Autumn 1992), pp. 291-309.
- Lenné (H.), *Analyse der Mathematikdidaktik in Deutschland*, Stuttgart, Klett, 1969.
- Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, *Traditions et transformations. Le système d'éducation en République fédérale d'Allemagne*, Paris, Économica, 1991.
- Rösner (E.), *Abschied von der Hauptschule*, Frankfurt a.M., Fischer, 1989.

La réforme de Kolmogorov de l'enseignement des mathématiques en Union soviétique

Svetlana PETROVA

La réforme dite de Kolmogorov a été lancée en Union soviétique au cours des années 1970. Difficilement mise en route, elle a connu une triste fin, puisqu'elle a été abandonnée dix ans après par une mesure autoritaire « venue d'en haut ». Le but principal de cette réforme était de réorganiser l'enseignement mathématique pour le mettre plus en accord avec l'évolution des mathématiques modernes.

On sait qu'au début du siècle, en particulier grâce aux efforts de Felix Klein, un grand nombre de pays avaient rénové l'enseignement des mathématiques au niveau secondaire et y avaient introduit des éléments de « mathématiques supérieures », de géométrie analytique et d'analyse mathématique. En Russie, seuls les gymnases dits « réels » avaient bénéficié d'une telle réforme. Un programme avait été rédigé en 1905 par K.A. Possé, mathématicien connu de Saint-Petersbourg. Appliqué entre 1907 et 1917, il comprenait les débuts du calcul différentiel et du calcul intégral ainsi que les bases de la géométrie analytique.

Des projets de modernisation de l'enseignement mathématique avaient été largement discutés au cours des deux congrès des enseignants de mathématiques de Russie qui s'étaient réunis en 1911 à Saint-Petersbourg et en 1913 à Moscou. Mais ces projets, ainsi que la réforme de l'enseignement national prévue pour 1915, ne purent se réaliser à cause de la guerre. Plusieurs propositions examinées par les congrès, concernant l'organisation du cursus secondaire, la division des grandes classes en sections différenciés et la modification du contenu des cours de mathématiques (accent mis sur la pensée fonctionnelle, large utilisation de l'idée de transformation en géométrie, introduction des éléments du calcul des probabilités et de la statistique mathématique) n'ont pas perdu de leur intérêt, même aujourd'hui.

L'idée d'introduire dans l'enseignement des notions de calcul des probabilités et de statistique mathématique, en vue des applications aux sciences sociales, avait été principalement défendue par le mathématicien moscovite P.A. Nekrassov, dont le rôle

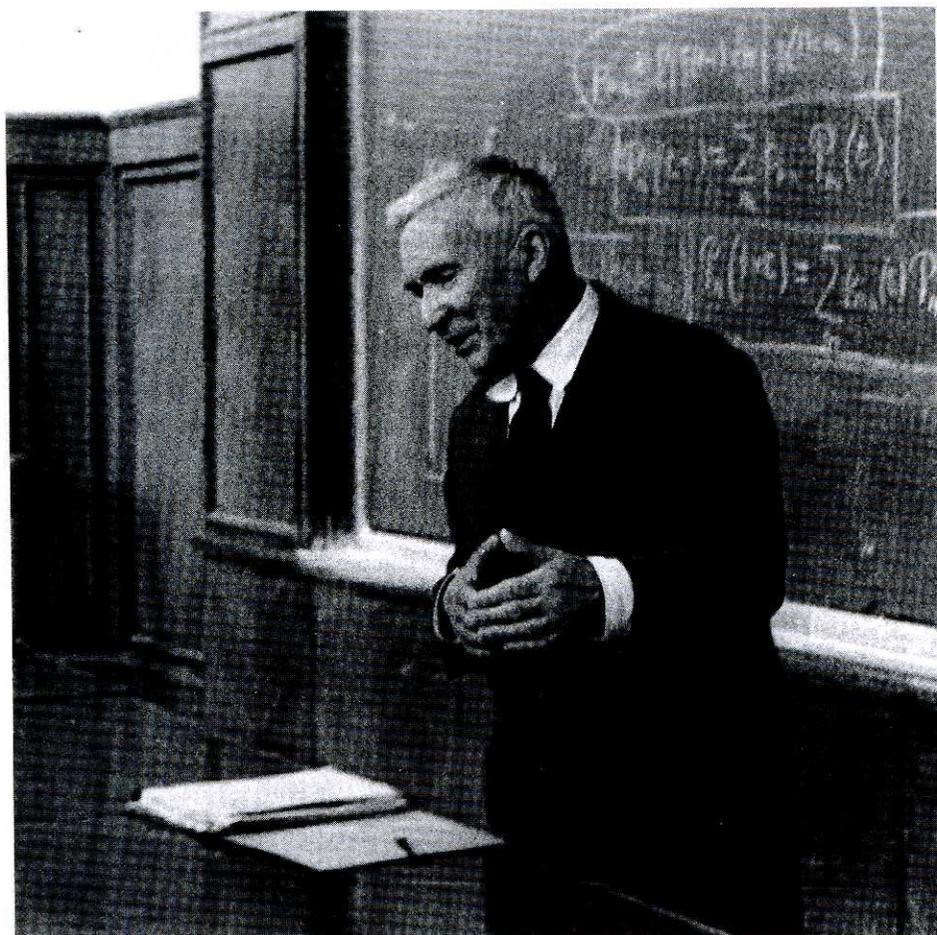
dans le développement de l'éducation nationale et dans le mouvement pour la réforme des mathématiques a été volontairement passé sous silence au cours de la période soviétique à cause de ses convictions religieuses et politiques.

Durant la période soviétique, les programmes de l'enseignement mathématique ont été modifiés à plusieurs reprises, en fonction de la « demande d'État ». Certains éléments de mathématiques supérieures ont été introduits dans les programmes des années 1920, puis dans ceux de la fin des années 1930, avant d'être rapidement supprimés. Les changements ont été limités, en particulier en géométrie, pour laquelle le manuel de A.P. Kissilev, publié en 1892, a été utilisé pendant plus de 70 ans. C'est seulement dans les années 1970 qu'un changement radical des programmes a été engagé, prenant en compte l'évolution des mathématiques modernes. A.N. Kolmogorov et A.I. Markouchevitch y ont contribué de manière décisive.

LA MISE EN ROUTE DE LA RÉFORME KOLMOGOROV

Une commission de l'Académie des sciences de l'URSS et de l'Académie des sciences pédagogiques s'est réunie en décembre 1964 sous la présidence de A.I. Markouchevitch, afin de « définir le contenu de l'enseignement scolaire ». A.N. Kolmogorov dirigeait la sous-commission des mathématiques. Un groupe réunissant des mathématiciens professionnels, des enseignants et des pédagogues (V.G. Boltanski, A.N. Kolmogorov, U.N. Makarytchev, A.I. Markouchevitch, G.G. Maslova, K.I. Nechkov, A.D. Semouchine, A.I. Fetisov, A.A. Cherchevski, I.M. Yaglom) prépara pendant trois mois un projet de programme qui fut soumis à une large discussion au cours de l'année 1965. L'accueil en fut généralement positif, en particulier de la part des sections de mathématiques et d'économie de l'Académie des sciences de l'URSS. Une deuxième version du projet, prenant en compte les remarques transmises à la commission, a été rédigée en 1967. Adoptée officiellement l'année suivante après quelques amendements insignifiants, la réforme a été appliquée par étapes à partir de l'année scolaire 1970-1971.

Par rapport aux anciens programmes, les changements sont très importants. La structure même du cours est entièrement modifiée. Dorénavant, le cours de mathématiques forme un ensemble unifié du 1^e au 5^e degré, où sont introduits les éléments d'algèbre (nombres négatifs, notation littérale, équations linéaires, notions les plus simples sur les ensembles et les opérations sur les ensembles). En 6^e, 7^e et 8^e degrés, est donné un cours systématique d'algèbre, puis, en 9^e et 10^e degrés, on continue l'algèbre et on commence l'analyse. Le cours systématique de géométrie commence, quant à lui, en 6^e degré : en 6^e, 7^e et 8^e degrés, on étudie la géométrie plane, et en 9^e et 10^e degrés, la géométrie dans l'espace. Le projet initial contenait d'autres thèmes qui ont été abandonnés par la suite, comme les notions de groupe, d'anneau et de corps, les éléments du calcul des probabilités et les nombres complexes. Conscients de la



Le mathématicien soviétique Andreï Kikolaïevitch Kolmogorov (1903-1987), promoteur de la réforme des mathématiques modernes en Union Soviétique (photographie prise en 1976)

difficulté que présentait un tel programme pour la plupart des élèves, les auteurs de la réforme proposèrent de rendre facultative une partie du cours de mathématiques.

Sans nous arrêter à une analyse détaillée du nouveau programme, notons quelques traits essentiels qui le distinguent des programmes antérieurs :

En géométrie, les notions principales sont présentées d'abord de manière concrète et les propriétés données le plus souvent sans démonstrations. Les notions sont approfondies et les propriétés démontrées dans les classes supérieures où la présentation du cours de géométrie est fondée sur la théorie des ensembles : les figures et les corps sont considérés comme des ensembles de points et la notion d'égalité remplacée par celle de congruence ; les transformations du plan et de l'espace (translation, rotation, symétrie, homothétie) sont étudiées en détail ; la méthode des coordonnées et l'algèbre vectorielle (y compris la notion d'espace vectoriel) sont présentées de manière plus approfondie. En algèbre on introduit les notions d'application et de fonction numérique. On étudie le comportement des fonctions arbitraires (monotonie, extrema, etc.) à l'aide des méthodes différentielles. On détermine les volumes du cône, de la pyramide et de la sphère en introduisant une définition élémentaire de l'intégrale. Quelques notions élémentaires de logique sont utilisées dans les démonstrations (implication, équivalence, négation de prédicats, etc.).

Parallèlement à l'élaboration du nouveau programme, des équipes d'auteurs comprenant des mathématiciens et des pédagogues travaillèrent d'une manière intense à la rédaction de nouveaux manuels. A.N. Kolmogorov participa directement à la mise au point des manuels de géométrie pour les 6^e-8^e degrés, ainsi qu'à ceux d'algèbre et d'analyse. Les manuels de mathématiques pour les 4^e-5^e degrés, ainsi que ceux d'algèbre pour les 6^e-8^e degrés, ont été rédigés sous la direction de A.I. Markouchevitch, ainsi que ceux d'algèbre pour les 6^e-8^e degrés, ceux de géométrie pour les 9^e-10^e degrés le furent sous la direction de Z.L. Skopets.

Les réformateurs ont dû également s'attaquer à la formation professionnelle des enseignants auxquels il était demandé, pour ainsi dire, d'apprendre un nouveau métier. Tâche écrasante, à laquelle il convient d'ajouter la réforme des études initiales dans les instituts de formation des maîtres.

La réforme s'est déroulée à chaque étape sous l'égide et selon l'esprit de Kolmogorov, avec sa participation personnelle directe. A.N. Kolmogorov avait alors pratiquement renoncé à la recherche pour se consacrer tout entier à l'enseignement. On trouve un reflet de ses activités pédagogiques dans les nombreux articles, plus de 70, qu'il publie pendant cette période dans la revue *Les Mathématiques à l'école*. Il donnait des cours à l'école-internat qu'il avait organisée auprès de l'université et il réunissait dans les « écoles d'été » des enfants doués des villages et des petites villes ; il publiait aussi dans les journaux et donnait des conférences en URSS et à l'étranger pour expliquer inlassablement les objectifs et les contenus de la réforme. Il s'intéressait

d'ailleurs aux réformes de l'enseignement secondaire dans les pays étrangers, et tout particulièrement en France où il se rendait régulièrement. Dans une conférence publique donnée en 1974, il tint à redire combien la réforme était indispensable, malgré le caractère compliqué et douloureux du passage des anciens aux nouveaux programmes. Soulignant que ces problèmes se retrouvaient à l'étranger, il racontait avoir entendu dans un autobus à Paris des parents d'élèves se plaindre de ne plus pouvoir aider leurs enfants en mathématique, parce qu'ils ne comprenaient pas les nouveaux programmes.

L'ABANDON DE LA RÉFORME KOLMOGOROV

Un flot de critiques contre les manuels rédigés d'après les programmes de Kolmogorov commença à monter à partir du milieu des années 1970. Ces critiques étaient liées, dans une large mesure, au fait objectif que le niveau des élèves s'était mis à baisser dans les années 1970. Quelques articles critiques parurent dans la presse : par exemple, dans le numéro 4 de la revue *Les Mathématiques à l'école* de 1979, un article des académiciens L.V. Kantorovitch et S.L. Sobolev ou dans le numéro 3 de 1980, celui de l'académicien A.D. Alexandrov. Cette critique prit sa forme la plus virulente dans l'article des académiciens V.S. Vladimirov, L.S. Pontriaguine et A.N. Tikhonov (*Les Mathématiques à l'école*, n° 3, 1979) ; puis dans la lettre de L.S. Pontriaguine à la rédaction de la revue *Communiste* (n° 14 du janvier 1980), dont le caractère passionné porte la marque de son hostilité personnelle envers Kolmogorov. À la suite des articles publiés dans la presse centrale, surtout de la lettre de l'académicien L.S. Pontriaguine, une campagne de critiques a été organisée contre la réforme de Kolmogorov. Cette campagne, comme c'était souvent le cas en Union soviétique, a pris la forme d'une dénonciation publique des interventions de A.N. Kolmogorov dans le domaine pédagogique. C'est ainsi que la réforme a été abandonnée.

Les objections principales contre le programme de Kolmogorov et ses manuels peuvent se résumer de la manière suivante. Le langage mathématique y est jugé excessivement formalisé, ce qui aboutit à des définitions abstraites et peu compréhensibles, car trop éloignées de leur contenu réel : par exemple, la définition d'un vecteur comme une translation parallèle, la définition d'une fonction par une relation binaire, l'introduction d'une terminologie logique trop compliquée (comme, par exemple, l'ensemble des vrais), la substitution de la notion de congruence à celle d'égalité en géométrie, consécutive à l'introduction de la théorie des ensembles. En outre, nombre de notions et de propriétés ont été supprimées du cours de géométrie et le temps consacré à la résolution des problèmes classiques a été diminué. Enfin, les débuts du calcul différentiel et du calcul intégral ont été surchargés d'un grand nombre de questions secondaires (sur les propriétés des fonctions continues, par exemple).

Notons que le travail pour éliminer les défauts et les erreurs des manuels rédigés d'après la réforme a été entamé bien avant l'apparition des articles critiques. Une édition révisée du manuel de Kolmogorov *Géométrie 6-8* a été publiée par exemple dès 1979.

En règle générale, A.N. Kolmogorov acceptait la critique, surtout quand elle était constructive. Lui-même présenta une analyse critique des manuels scolaires au cours d'une séance de mathématiques de l'Académie des sciences en décembre 1978. Pendant cette même séance, dans une atmosphère tendue pour A.N. Kolmogorov, l'Académie adopta une résolution réprouvant le cours de la réforme. On condamna le manuel de géométrie ; seule une intervention de l'académicien S.M. Nikolski permit de sauver le manuel d'algèbre et d'analyse, rédigé sous la direction de A.N. Kolmogorov, du même sort funeste.

Cette séance de l'Académie des sciences fut suivie par des interventions « venues d'en haut ». Le ministère de l'Éducation reçut instruction de reviser immédiatement le contenu des programmes de mathématiques et de retirer les manuels de géométrie rédigés par A.N. Kolmogorov et son équipe. Deux commissions sur l'enseignement mathématiques, fondues bientôt en une seule présidée par l'académicien L.S. Pontraguine, se réunirent au sein de la section de mathématiques de l'Académie des sciences. Trois projets de programme furent soumis à la discussion au début de 1979. Le premier était une variante du programme de Kolmogorov, préparée dès avant la séance de l'Académie des sciences de décembre. Le deuxième avait été préparé par une commission présidée par l'académicien I.M. Vinogradov, et le troisième par une commission présidée par l'académicien A.N. Tikhonov.

L'analyse de ces programmes montre qu'ils diffèrent de celui de Kolmogorov par le contenu plutôt que par la manière de traiter les notions. Beaucoup d'enseignants penchaient pour le programme n° 1, mais cela n'a pas joué un grand rôle. Le programme de Vinogradov comprend les éléments de combinatoire, le binôme de Newton, les notions les plus simples de calcul des probabilités et les nombres complexes. Le calcul différentiel et le calcul intégral sont étudiés très en détail, principalement au niveau concret. Le programme de géométrie est proche, par son contenu, du manuel de A.V. Pogorelov. Le programme de Tikhonov est proche de celui de Vinogradov, à quelques détails près mais plus facile. En fin de compte, en dépit des vives critiques qu'il avait provoquées, le programme de Kolmogorov n'a guère été modifié.

Voyons maintenant pourquoi la réforme de Kolmogorov non seulement n'a pas donné les résultats attendus, mais encore a abouti à une baisse de la qualité de l'enseignement mathématique. Les raisons de cet échec sont selon nous, de divers ordres. D'abord, le programme était trop compliqué et trop abstrait. La barre avait été placée trop haut. Ensuite, la loi de 1973, en rendant l'enseignement secondaire obligatoire et en imposant ainsi le même programme à tous les élèves, quels que soient leurs goûts et leurs capacités, causa un dommage irréparable à la réforme. De plus, en règle générale, les enseignants se sont montrés incapables d'appliquer les nouveaux programmes et d'utiliser les nouveaux manuels. Ces difficultés ont été aggravées par la manière bureaucratique et autoritaire avec laquelle la réforme a été mise en œuvre, et par

l'absence de toute expérimentation préalable. Enfin, la baisse de prestige de l'enseignement supérieur a certainement entravé la réforme.

Le programme des années 1980, adopté après l'abandon de la réforme, conserve, comme on l'a vu, les éléments principaux du programme de A.N. Kolmogorov, y compris en géométrie, qui était le point le plus sensible. En dépit de références aux ouvrages classiques de A.P. Kissilev, l'enseignement de la géométrie est basée depuis 1982 sur le manuel de A.V. Pogorelov qui reste, au fond, très proche de celui de A.N. Kolmogorov. À partir de 1984, une nouvelle réforme de l'enseignement, étalée sur dix ans, a été engagée en Union soviétique. La scolarité, passée à onze années, a été réorganisée. Au cœur de cette réforme, se trouve la question complexe de l'élévation du niveau scolaire général par un enseignement secondaire obligatoire. La qualification professionnelle et l'amélioration des conditions matérielles et morales du corps enseignant constituent de ce point de vue des problèmes majeurs.

Depuis 1988, l'accent est mis sur le développement de l'enseignement différencié et sur la réorganisation pédagogique avec des sections spécialisées dans certaines disciplines. L'enseignement des mathématiques doit être introduit à trois niveaux : au premier niveau, pour des élèves qui n'ont besoin que d'un enseignement mathématique général ; au second niveau, pour ceux qui utiliseront les mathématiques pour leur future activité professionnelle ; enfin, au troisième niveau, pour ceux qui se destinent à des carrières mathématiques ou scientifiques.

Le bilan des premières années d'application de cette nouvelle réforme a montré que celle-ci se réalisait à un rythme ralenti et qu'elle rencontrait des difficultés majeures. À cette occasion, on a vu reparaître des critiques contre les professeurs et les scientifiques qui assisteraient sans réagir au dérapage de la réforme. Nombreux sont ceux qui manifestèrent alors leur accord avec la remarque de l'académicien A.D. Alexandrov : « La cause des difficultés et des défauts de l'école tient précisément aux transformations révolutionnaires, réalisées à la hâte et sans précaution suffisante [...]. Assez de révolutions, il faut respecter l'école et ses enseignants. »

Bibliographie

- Abramov (A.M.), *Ouspekhi matematicheskikh naouk* (sur l'héritage pédagogique de A.N. Kolmogorov), vol. 43, édition 6, 1988, 264 p. (en russe).
- Boltianski (V.G.) et Gleiser (G.D.), « Le problème de l'enseignement mathématique scolaire différencié », *Les Mathématiques à l'école*, mars 1988, pp. 9-13 (en russe).
- Gnedenko (B.V.), Tcherkassov (R.S.), Maslova (G.G.), « Le développement de l'enseignement mathématique scolaire en Union soviétique pendant 70 ans », *Les Mathématiques à l'école*, juin 1987, pp. 6-15 (en russe).
- Kolmogorov (A.N.), « De nouveaux programmes et certaines questions principales du perfectionnement du cours des mathématiques à l'école secondaire », *Les Mathématiques à l'école*, février 1967, pp. 9-15 (en russe).

- Naoukova (D.), *L'Histoire de l'enseignement mathématique en URSS*, Kiev, 1975 (en russe).
- Tcherkassov (R.S.), « L'académicien Andrei Nicolaevitch Kolmogorov et l'enseignement mathématique scolaire », *Les Mathématiques à l'école*, janvier 1992, pp. 11-14 (en russe).

Mathématiques modernes et enseignement : le cas de la Belgique

Guy NOËL

Dans des publications précédentes [Noël, 1992 et 1993], nous avons fait un historique détaillé de ce que fut la réforme des mathématiques modernes en Belgique. Nous nous limiterons ici à quelques traits saillants.

Si nous devons synthétiser la réforme des mathématiques modernes en Belgique en quelques mots (avec tous les dangers que cela comporte), nous en retiendrions quatre : personnalisation, cohérence, recyclage, semi-échec.

LA PERSONNALISATION

Au départ, le mouvement est animé par des professeurs de l'enseignement secondaire : Willy Servais, Frédérique Lenger, Louis Jéronez... Collaborant au sein de la Société Belge de Professeurs de Mathématiques, ils organisent des congrès, publient la revue *Mathematica & Paedagogia*. Les rencontres annuelles de la Commission Internationale pour l'Étude et l'Amélioration de l'Enseignement des Mathématiques leur fournissent l'occasion d'avoir des contacts internationaux fructueux. Willy Servais participe au fameux colloque de Royaumont en 1959.

Désireux de lancer des expériences en Belgique, Willy Servais et Frédérique Lenger s'assurent la collaboration de Georges Papy, professeur à l'Université Libre de Bruxelles. Celui-ci se prend au jeu et devient dans les années soixante le véritable moteur de la réforme.

Doué d'un charisme certain, médiatique à une époque où on ne parlait pas encore de media, G. Papy séduit les uns, rebute les autres. Le manque de nuances de certains journalistes contribue à personnaliser les débats. Le numéro 164 de *Sciences et avenir* (octobre 1960), titre « Sensationnelles expériences en Belgique : les mathématiques modernes enseignées dès l'enfance ». Quatre ans plus tard, *Paris Match Benelux* en remet : « Désormais, avec le prof révolutionnaire, les maths s'apprennent en sou-

riant ». Entretemps, les mathématiques modernes sont parfois devenues les « mathématiques de Papy », et la Belgique est divisée en « papystes » et « anti-papystes ».

La personnalisation du problème a ses avantages et ses inconvénients. Elle provoque des ruptures regrettables. Mais le dynamisme de G. Papy suscite aussi des collaborations et accélère la mise en place de la réforme. Dès 1961, des programmes modernes sont expérimentés au début du secondaire. La Belgique devient le pays à la pointe du mouvement. En 1968 s'achève la phase expérimentale, les programmes modernes sont peaufinés et généralisés. À ce moment la « guerre des maths modernes » atteint son intensité maximum. Elle retombera bientôt et ne connaîtra plus que quelques soubresauts lorsque un ou deux ans plus tard la France sera à son tour en ébullition mathématique.

Mais dès 1968, l'influence de G. Papy sur le mouvement belge commençait à décroître. Son style, son refus des concessions, même sur des détails, des oppositions personnelles aussi, avaient détourné de lui quelques-uns de ses collaborateurs qui poursuivaient néanmoins leur action indépendamment. Pour les mêmes raisons, G. Papy n'était pas non plus présent dans les commissions officielles qui rédigeaient les programmes définitifs.

Si la personnalisation du mouvement de modernisation en Belgique avait l'inconvénient de détourner les débats de leur véritable objet, elle avait aussi ce que nous pouvons considérer comme un avantage : la cohérence du mouvement.

LA COHÉRENCE

À de nombreuses reprises, G. Papy a défini son objectif pédagogique : enseigner aux enfants d'aujourd'hui la mathématique d'aujourd'hui, reconstruire à leur intention la maison de la mathématique. Il s'agit de mettre au point un exposé de la mathématique élémentaire qui soit structuré, cohérent et donne le plus rapidement possible accès aux grandes structures, en particulier à la structure d'espace vectoriel. Quelques citations, extraites de [Papy, 1965] et [Papy, 1968] illustrent sa pensée.

— Pour la plupart des mathématiciens professionnels vivants, les structures ont été dégagées, *a posteriori*, à partir d'une mathématique antérieure qu'elles illustraient. Dans la pédagogie moderne, on évite de les faire apparaître comme des sortes de luxes *a posteriori*, qui éclairent sans être indispensables.

— La mathématique d'aujourd'hui est ensembliste et relationnelle, elle étudie plutôt les relations entre les objets que les objets eux-mêmes.

— La linéarisation des théories, c'est-à-dire la mise en évidence systématique des espaces vectoriels partout où ils se cachaient, est l'un des traits les plus caractéristiques de l'attachant visage de la mathématique d'aujourd'hui.

— L'expérience a confirmé le rôle fondamental de la géométrie euclidienne plane, éclairée de manière nouvelle et reconstruite en mettant en évidence des structures fondamentales de la mathématique actuelle. Supports de la géométrie, plus fondamentales que la géométrie elle-même, ces structures resteront importantes dans toute la suite des études et cette genèse géométrique leur conservera un caractère intuitif, familier, inspirant.

— La structure vectorielle est beaucoup plus importante dans la mathématique d'aujourd'hui que la géométrie. Dans l'optique de notre enseignement, la géométrie plane sert de support et de motivation pour arriver à la structure de vectoriel.

— L'introduction du vectoriel ne peut pas être un point final. La machine acquise, il faut l'utiliser, la faire fonctionner, convaincre les élèves que grâce à elle, ils sont plus forts qu'auparavant.

Sur la base des idées qui viennent d'être rappelées, G. Papy entreprend effectivement la reconstruction de la mathématique élémentaire. En résulte la série (inachevée) des célèbres MM (Mathématique Moderne 1, 2, 3, 5 et 6, [Papy, 1963-1967]) dont la publication s'étale de 1963 à 1967.

Ainsi construits à la suite des réflexions d'un tout petit groupe guidé par un animateur incontesté, les programmes sont très cohérents. Leur rigueur est parfaite. Leur structure mathématique est remarquable. En particulier, le cours de géométrie plane mis au point par G. Papy, s'inspirant de E. Artin, G. Choquet, G. Bouligand, était tout à fait rigoureux, très élégant, très économique, mettant en évidence les résultats essentiels. Mais il ne suffisait pas de se fixer une philosophie de l'enseignement des mathématiques et d'élaborer un programme et des manuels qui y soient conformes. Il fallait encore assurer le recyclage des enseignants, puis généraliser les nouveaux programmes.

LE RECYCLAGE

Ne revenons pas sur les aspects matériels de cette entreprise pour nous attarder plutôt sur le contenu.

Le recyclage des enseignants aurait dû avoir deux composantes : la matière et la méthodologie. La quasi-totalité des séances de travail ont porté sur la matière. C'était en effet indispensable car peu d'enseignants étaient au fait des notions d'algèbre moderne telles que groupes, corps, espaces vectoriels. Et même ces notions acquises, il fallait encore les appliquer à l'étude des notions élémentaires de géométrie, d'algèbre, d'arithmétique. Reconstruire par exemple le cours de géométrie plane en adoptant le point de vue des transformations géométriques n'était pas une mince affaire si l'on voulait arriver à des résultats significatifs. Nous verrons au point suivant ce qu'il en a été.

Quant à une réflexion sur la méthodologie, elle fut à peu près inexistante, de sorte que la majorité des enseignants communiquèrent à leurs élèves des matières qu'ils maîtrisaient souvent mal, en appliquant les mêmes méthodes qu'ils avaient toujours appliquées pour les mathématiques traditionnelles.

Les réformateurs, G. Papy en particulier, étaient conscients de la nécessité de modifier également la pédagogie appliquée. Ils proposaient qu'on s'inspire de la pédagogie des situations de Caleb Gattegno. Elle consiste à présenter aux élèves des situations choisies de manière à ce que par leurs réactions spontanées, ils évoluent naturellement vers tel ou tel concept important. On habitue ainsi d'emblée les élèves à une démarche essentielle dans les applications : la mathématisation des situations.

Modifier les méthodes d'enseignement s'avère beaucoup plus difficile que modifier les matières enseignées. Dans les années soixante, les recyclages n'ont pas accordé suffisamment de place à cette question. S'ils étaient conscients des problèmes, les réformateurs n'avaient cependant pas de réponses à apporter aux nombreuses questions posées. Ce sont des documents d'un type nouveau qu'il fallait mettre au point, des documents ne présentant pas la matière de façon linéaire, mais l'introduisant par le biais d'applications qui en montrent l'utilité et même la nécessité. À l'époque des mathématiques modernes, les principes de la pédagogie des situations n'étaient pas encore clairs (le sont-ils maintenant ?), les idées n'avaient pas encore suffisamment mûri.

UN SEMI-ÉCHEC

Ce paragraphe aurait tout aussi bien pu être intitulé « une semi-réussite ». Pour tirer les conclusions de cette période, il convient d'être extrêmement prudent et d'éviter tout jugement catégorique.

Commençons par reconnaître que la réforme a totalement échoué sur au moins un point important. Les réformateurs voulaient que les mathématiques cessent d'être un épouvantail pour le plus grand nombre de citoyens. Nous sommes loin du compte. De ce point de vue, la situation n'est ni meilleure, ni pire qu'auparavant.

Analysons ensuite les programmes modernes avec le recul dont nous disposons aujourd'hui. D'une part, la matière était structurée très linéairement. Peu de spirales dans cet enseignement. Les résultats énoncés sont supposés d'emblée assimilés intégralement et définitivement. C'était oublier que la maîtrise d'un concept par un élève est fortement dépendante du contexte dans lequel le concept a été introduit. Placé devant une difficulté imprévue, le même élève peut régresser et se retrouver impuissant.

D'autre part, le montage de plusieurs des sujets étudiés, s'il était mathématiquement remarquable, ne tenait pas suffisamment compte des difficultés épistémologiques qui pouvaient se présenter. C'était malheureusement le cas du cours de géométrie plane. Par exemple, le premier résultat de ce cours affirmait axiomatiquement le caractère

infini du plan. Peu importe ici que le résultat soit présenté comme un axiome ou comme une observation (ce qui revient au même). La notion d'infini présente dans l'énoncé en constitue la plus grande difficulté. De plus, la séparation entre géométrie affine et géométrie métrique ne correspond pour l'élève à aucune nécessité.

La géométrie n'étant pas fermement établie, l'assimilation de la structure d'espace vectoriel qui en dépendait, se trouvait elle-même compromise. Elle l'était d'autant plus que la construction du corps des nombres réels dans la foulée de la géométrie affine, s'est vite révélée difficile à faire comprendre aux élèves. Après quelques années, cette construction était abandonnée dans la plupart des classes. Le détricotage des programmes modernes commençait.

Enfin, certains sujets ont donné l'impression d'être étudiés pour eux-mêmes. C'était (malheureusement) le cas des isométries. L'élève n'était pas mis en situation de mesurer la puissance de cet outil. On s'est « contenté » de composer et décomposer des isométries. D'autres sujets n'ont pas dépassé le stade du début d'une théorie. C'est ainsi que l'enseignement des probabilités n'a jamais été un franc succès de popularité.

Dans les années quatre-vingts, les idées avaient suffisamment évolué pour qu'une nouvelle série de programmes soit mise en application. Sans constituer une rupture avec les programmes modernes, les excès en ont été gommés. Le cours de géométrie a été complètement revu mais il continue d'accorder une large place aux transformations. L'algèbre linéaire a conservé une place importante. Une nouvelle attention a été accordée à la pédagogie des situations. Il serait donc erroné de parler d'échec total pour les maths modernes.

Il n'est pas possible de conclure ce point sans signaler que depuis 1992, une nouvelle réforme est en chantier et que certains tentent d'en profiter pour revenir à des conceptions qui avaient cours avant la période « maths modernes ». Les discussions ne sont pas terminées, mais il semble peu pensable que l'on puisse faire disparaître définitivement et totalement tout ce qui avait été introduit à partir de 1960. Il est des acquis qui sont irréversibles.

EN CONCLUSION

On a souvent reproché aux mathématiques modernes un « excès de formalisme ». Si l'on entend par là que l'essentiel de l'enseignement était constitué de règles syntaxiques portant sur des symboles, c'est évidemment faux dans le cas de la réforme belge. Il suffit d'ouvrir l'un des *MM* pour se rendre compte de l'effort énorme réalisé par G. Papy et ses collaborateurs pour faciliter la compréhension des notions manipulées.

Par contre, on peut sans doute reprocher aux réformateurs de n'avoir pas suffisamment montré l'utilité des sujets rencontrés en les situant dans des contextes significatifs de modélisation ou de résolution de problèmes. Le même reproche aurait

pu être adressé aux programmes traditionnels, mais on n'en était guère conscient à l'époque. Les programmes modernes, mal maîtrisés par beaucoup d'enseignants, étaient plus vulnérables à cette critique. Enseigner les nouveaux programmes selon les mêmes méthodes que les anciens devait conduire à des excès. Ceux-ci ont finalement été limités, mais ont permis de mieux comprendre la nécessité de réformer aussi la méthodologie appliquée.

À l'actif des « maths modernes », nous retiendrons d'abord qu'elles ont fait prendre conscience à beaucoup de ce que les mathématiques constituent une science vivante. Qu'il n'est désormais plus possible de les enseigner sans se poser de questions. Ensuite, nous ne pouvons plus ignorer que la mathématique est unitaire, que les structures et leurs symétries sont importantes, même si la maturité mathématique des élèves demeure le premier paramètre à prendre en compte lors de la construction d'un cours.

Vraisemblablement, une période « maths modernes » était inévitable dans l'enseignement des mathématiques. Sans doute était-elle même nécessaire pour modifier certaines habitudes. Il nous appartient maintenant de la dépasser tout en conservant les aspects positifs.

Bibliographie

- Noël (G.), « La réforme des "maths modernes" en Belgique », *La Gazette des mathématiciens*, n° 54, novembre 1992, pp. 22-25.
- Noël (G.), « La réforme des "maths modernes" en Belgique », *Mathématique et Pédagogie*, n° 91, 1993, pp. 55-73.
- Papy (G.), « Suggestions pour un nouveau programme de mathématique dans la classe de sixième », *Mathematica & Paedagogia*, n° 20, 1961, pp. 20-29.
- Papy (G.), *Mathématique moderne 1, 2, 3, 5, 6*, Bruxelles, Didier, 1963-1967.
- Papy (G.) (en collaboration avec G. Capiiaux, A. Dearman, I. Dumrauf, F. Papy, B. Provencher, E. Van Vreckom et A. Vermandel), *Documentation pour l'enseignement du vectoriel euclidien plan*, Bruxelles, C.B.P.M. et Ministère de l'Éducation nationale et de la Culture, 1965.
- Papy (G.) (en collaboration avec P. Burgraeve, R. Holvoet, F. Papy, A. Terfve), *Arlon 10*, Bruxelles, C.B.P.M., 1968.

Index des noms

- A**
ABRAHAM (Henri) : 108-109, 161, 176.
ADAIR (R.K.) : 63.
AIGRAIN (Pierre) : 108.
ALEXANDROV (Aleksander D.) : 315, 317.
ALLAIS (Maurice) : 93.
ALLES (Jinepala) : 276.
ALTHOFF (F.) : 245.
AMIOT (A.) : 262.
AMPÈRE (André-Marie) : 45, 47, 50, 123.
ANDERSON (Carl David) : 58, 60.
ANDOYER (Henri) : 202.
APPELL (Paul) : 202.
ARCHIMÈDE : 156, 176, 263.
ARISTOTE : 43.
ARMATTE (Michel) : 13.
ARONS (Arnold) : 294.
ARROW (Kenneth J.) : 82.
ARTIGUE (Michèle) : 102-103, 105, 197, 199, 213, 215.
ARTIN (Emil) : 321.
ASCOLI (Marcel) : 111.
ASHBY (W. Ross) : 82.
ATTEN (Michel) : 12, 49-51.
ATWOOD (George) : 168, 171-172, 174-176.
AUBERT (A.) : 156.
AUSTIN (C.M.) : 252.
- B**
BACHELARD (Gaston) : 61-62, 114.
BADOZ (J.) : 45.
BALPE (Claudette) : 103, 105.
BALTZER (Richard) : 262.
BANACH (Stefan) : 92.
BARBIN (Évelyne) : 123.
BARBUT (Marc) : 84, 127.
BARRA (M.) : 259.
BARUK (Stella) : 86, 183.
BAUDELLOT (Christian) : 29, 134.
BAUDRILLARD (Jean) : 82.
BECQUEREL (Edmond) : 50.
BEKE (Emmanuel) : 200, 203, 215, 232, 246.
BELHOÛTE (Bruno) : 10-11, 30-31, 51, 108, 122, 198-199, 202.
BELIN : 144.
- B**
BENZECRI (Jean-Paul) : 83.
BÉRARD (Léon) : 32.
BERTHELOT (Marcelin) : 11, 31.
BERTHOLLET (Claude Louis) : 50.
BERTINET (E.) : 162.
BERTRAND (Joseph) : 47, 49.
BETH (Evert W.) : 233.
BETHE (Hans) : 288.
BETTI (Enrico) : 261-262.
BETZ (William) : 252.
BIEZUNSKI (Michel) : 56.
BILLARD (M.) : 62.
BIOCHE (Charles) : 200-201, 246.
BIRKHOFF (Garett) : 250.
BKOUICHE (Rudolf) : 102-103, 123, 125, 129-132, 208.
BLACK (Paul) : 284.
BLUTEL (Émile) : 33.
BOHR (Niels) : 58, 60-61.
BOLTIANSKI (Vladimir G.) : 312.
BOREL (Émile) : 1-3, 10, 92, 122, 124, 201.
BORN (Max) : 58, 60.
BOTTAI (Giuseppe) : 267.
BOUANT (Émile) : 144.
BOUASSE (Henri) : 56, 163.
BOUDON (Raymond) : 81-82.
BOULIGAND (Georges) : 321.
BOURBAKI (Nicolas) : 69-75, 80, 90-92, 126, 128-129, 181, 274.
BOURDIEU (Pierre) : 29, 82.
BOURGAIN (Jean) : 93.
BOURGEOIS (Léon) : 31.
BOURLET (Carlo) : 1, 124-125, 200, 202.
BOUSSINESQ (Joseph) : 48-49.
BOUTY (Edmond) : 159.
BRADLEY (James) : 41.
BRAUDEL (Fernand) : 21.
BRIAND (Jean-Pierre) : 34.
BRILLOUIN (Marcel) : 51, 59.
BRIOSCHI (Francesco) : 261.
BRIOT (Charles) : 47-49.
BROGLIE (Louis de) : 56, 58, 60-61, 187.

- BROGLIE (Maurice de) : 59.
 BRUCKER (Émile) : 161.
 BRUHAT (Georges) : 147-148.
 BRUNOLD (Charles) : 35-36.
 BRUSSOTTI (Luigi) : 124.
 BUGUET (Abel) : 161.
- C**AGNAC (Georges) : 190.
 CANDIDO (G.) : 124.
 CANONGE (Fernand) : 222.
 CAPELLE (Jean) : 219-220.
 CARCOPINO (Jérôme) : 34.
 CARNOT (Lazare) : 97.
 CARNOT (Sadi) : 45.
 CARRÈRE D'ENCAUSSE (Hélène) : 21.
 CARTAN (Élie) : 70, 92.
 CARTAN (Henri) : 69-72, 80.
 CASATI (Gabrio) : 261.
 CASTELNUOVO (Emma) : 267-268.
 CASTELNUOVO (Guido) : 264-265, 267.
 CAUCHY (Augustin-Louis) : 48.
 CAULLERY (Maurice) : 56.
 CAVAILLES (Jean) : 126.
 CESSAC (Jean) : 148.
 CHAMBERLAIN (Owen) : 58.
 CHAPOULIE (Jean-Michel) : 34.
 CHARLOT (Bernard) : 37, 78, 125, 131, 182, 192, 208.
 CHASLES (Michel) : 123.
 CHASSAGNY (Michel) : 158, 169.
 CHÂTELET (Albert) : 34, 90.
 CHATZIS (Konstantinos) : 51.
 CHAUDRON (Georges) : 187.
 CHERADAME (Raymond) : 81.
 CHERCHEVSKI (A.A.) : 312.
 CHERVEL (André) : 139.
 CHEVALLARD (Yves) : 139, 197.
 CHEVALLEY (Claude) : 71, 80.
 CHEVÈNEMENT (Jean-Pierre) : 21, 132.
 CHIRA (S.) : 254.
 CHOMSKY (Noam) : 82.
 CHOQUET (Gustave) : 75, 80-81, 129, 181-182, 185, 207-208, 321.
 CLAIRAUT (Alexis-Claude) : 125, 261.
 CLOSSET (Jean-Louis) : 139.
 COHN VOSSEN (Stefan) : 126.
 COMPÈRE (Marie-Madeleine) : 29.
 COMPTON (Arthur Holly) : 58, 60.
 COMTE (Auguste) : 11, 39-44, 55.
 CONDAMINE (J.-P.) : 188.
 CONDORCET (Marie Jean Antoine, marquis de Caritat) : 133.
 COOPER (L.N.) : 63.
- CORNU (Alfred) : 46-48, 50-51.
 CORNU (Bernard) : 215.
 COULOMB (Charles-Augustin de) : 50, 290.
 COURNOT (Antoine-Augustin) : 81.
 COURTIAL (J.-P.) : 189.
 COUYBA (Charles) : 31.
 CREMONA (Luigi) : 124, 261-262.
 CROCE (Benedetto) : 265.
 CROS (A.) : 169.
 CURIE (Marie) : 59.
- D**AHAN DALMEDICO (Amy) : 80.
 DAMEROW (P.) : 303, 305.
 DARBOUX (Gaston) : 31, 202.
 DAVISSON (Clinton Joseph) : 58, 60.
 DEBRÉ (Michel) : 21.
 DEBREU (Gérard) : 93.
 DECAUX (Alain) : 21.
 DECHÈNE (Georges) : 109.
 DEFORGE (Yves) : 227.
 DELACÔTE (Goéry) : 109, 139, 225, 274.
 DELAMBRE (Jean-Baptiste) : 41.
 DELATTRE (Joëlle) : 123.
 DELSARTE (Jean) : 80.
 DELVALEZ (G.) : 146.
 DESAINS (Paul) : 50.
 DESCARTES (René) : 35, 41, 81.
 DESCHAMPS (Gaston) : 32.
 DEVAUD (Jean) : 144-147, 174.
 DIEUDONNÉ (Jean) : 70, 72, 80, 83, 89, 128-129, 181, 207-208, 233, 274.
 DIRAC (Paul Adrien Maurice) : 58, 60.
 DOUADY (RéGINE) : 215.
 DREYFUS (Jacques) : 86.
 DRINCOURT (Édouard) : 144.
 DUCÉL (René) : 222.
 DUHEM (Pierre) : 43.
 DUMAS (Horace) : 146.
 DUMAS (Jean-Baptiste) : 109, 114, 162-163.
 DUPIN (Jean-Jacques) : 139-140, 149.
 DURKHEIM (Émile) : 30.
 DURUY (Victor) : 31, 177.
 DUVAL (R.) : 215.
- E**CCO (Umberto) : 264.
 EFRON (A.) : 232.
 EINSTEIN (Albert) : 12, 56-60, 192, 224.
 EISENHOWER (Dwight David) : 90.
 ENRIQUES (Federigo) : 265.
 ERVYNCK (G.) : 197.
 ESTABLET (Roger) : 29, 134.
 EUCLIDE : 91, 122, 261-263, 266.
 EULER (Leonhard) : 123.

EURIN (Marcel) : 169, 173.

FABRY (Charles) : 146.

FADDEIV (Ludwig) : 93.

FAIVRE DUPAIGRE (Jules) : 62, 158.

FALCUCCI (Clément) : 30.

FARADAY (Michael) : 157, 285.

FAURE (Edgar) : 21, 182.

FAVARD (Jean) : 80.

FEBVRE (Lucien) : 33.

FEHR (Henri) : 10, 237.

FEIGENBAUM (Mitchell J.) : 93.

FELDMAN (Jacqueline) : 82.

FERRIS (Frederick L.) : 290.

FERRY (Jules) : 23.

FETISOV (A.I.) : 312.

FEYERABEND (Paul) : 86.

FEYNMAN (Richard) : 63.

FINLAY (Gilbert C.) : 290, 294.

FISCHER (Emil) : 92.

FLAMENT (Claude) : 84.

FONTANET (Joseph) : 23, 108.

FORRESTER (Jay W.) : 82.

FOUCHET (Christian) : 18, 79, 84, 108, 130, 133-134, 181, 186.

FOURIER (Joseph) : 45, 90, 92.

FOURNIER (Macaire) : 145.

FOX (Robert) : 45.

FRAISSE (Paul) : 127.

FRENCH (Anthony P.) : 231, 235-236, 287.

FRESNEL (Augustin) : 45, 50.

FRIEDMAN (Francis L.) : 276.

FURINGHETTI (Fulvia) : 231-232, 234-235, 261-262, 264.

GALILÉE : 266.

GALLO (Max) : 21.

GALOIS (Évariste) : 70.

GALVANI (Luigi) : 146.

GAMOW (George) : 57, 290.

GANOT (Adolphe) : 169, 175-177.

GATECEL (Jean) : 174.

GATTEGNO (Caleb) : 233, 322.

GAUSSEN (Frédéric) : 181, 191.

GAY LUSSAC (Joseph Louis) : 154.

GÉMINARD (Lucien) : 219-220, 222.

GENNES (Pierre-Gilles de) : 45.

GENTILE (Giovanni) : 234, 264-267, 269.

GERMER (Lester Halbert) : 60.

GIÉ (Hubert) : 169, 173.

GILLISPIE (Charles) : 80.

GINAT (Marcel) : 147.

GISPERT (Hélène) : 4, 51, 262.

GLAESER (Georges) : 184-185.

GLAYMANN (Marcel) : 183, 185, 190.

GOLDSCHMIDT (R.B.) : 59.

GOLDZIHNER (Karl) : 247.

GONSETH (Ferdinand) : 125-126.

GRATTAN-GUINNESS (Ivor) : 51.

GREENHILL (George) : 237.

GROBOIS (Michèle) : 139.

GROSSMANN (Alexandre) : 93.

GROTHENDIECK (Alexandre) : 84.

GUILBAUD (Georges) : 84.

GUILLAUME (Marc) : 84.

GUINCHANT (J.) : 145-146.

GUINIER (Georges) : 109, 221.

HABERMAS (Jürgen) : 190.

HABY (René) : 21-24, 108, 110, 219, 226.

HADAMARD (Jacques) : 2, 70, 90, 124, 201, 202.

HALDAT (du Lys, Alexandre) : 154.

HALL (E.H.) : 232.

HALLER (Albin) : 108.

HASENÖHRL (Herbert) : 59.

HAUPTMAN (H.A.) : 93.

HEISENBERG (Werner) : 58, 60.

HERIVEL (John W.) : 45.

HÉRON : 146.

HERSCHEL (John) : 41.

HERTZ (Heinrich) : 51, 57.

HERZEN (Édouard) : 59.

HERZLICH (G.) : 191.

HILBERT (David) : 80, 92, 125-126.

HILTON (Peter J.) : 255.

HOLTON (Gerald) : 62-64, 277, 281.

HÖRNER (Wolfgang) : 227.

HOSTELET : 59.

HOÛEL (Jules) : 122-124.

HOWSON (Geoffrey) : 253-254, 305.

HOYRUP (J.) : 250.

HULIN (Michel) : 3, 61-65, 105, 107-117, 169-170, 175, 221-222, 225.

HULIN (Nicole) : 3, 12, 30, 51, 55, 101, 103, 107, 109, 114, 139.

HUME (Patterson) : 290.

ITARD (Gilles) : 123.

IVEY (Donald) : 290.

JACQUEMIN (Alix) : 191.

JAMIN (Jules) : 46-48, 50-51.

JANET (Paul) : 55, 108.

JAUBERT (Alain) : 84.

JAULIN (Robert) : 84.

JEANS (Sir James Hopwood) : 59.

JÉRONNEZ (Louis) : 319.

- JOEL (Nahum) : 291
 JOHSUA (Marie-Alberte) : 139.
 JOHSUA (Samuel) : 102, 139-140, 145, 147-149.
 JORDAN (Camille) : 70.
 JOUBERT (Jules) : 108, 155-156.
 JOULE (James Prescott) : 144, 149, 157.
 JUQUIN (Pierre) : 84.
K
 KAHANE (Jean-Pierre) : 13, 92, 254.
 KAMERLINGH ONNES (Heike) : 59.
 KANT (Emmanuel) : 44.
 KANTOROVITCH (Leonid V.) : 93, 315.
 KARLE (Jerome) : 93.
 KARPLUS (Robert) : 277.
 KASTLER (Alfred) : 55, 187.
 KEITEL (Christine) : 231, 235, 253, 303, 305.
 KELVIN (William Thomson, Lord) : 155.
 KEMBLE (Edwin C.) : 63.
 KEMENY (John G.) : 84.
 KEPLER (Johannes) : 290.
 KILPATRICK (Jeremy) : 231-235, 250, 252-254, 256.
 KIRCHHOFF (Gustav Robert) : 144.
 KISSILEV (A.P.) : 312, 317.
 KLEIN (Felix) : 124, 231, 233, 235, 237-239, 243-247, 251, 303, 311.
 KNUDSEN (Martin) : 59.
 KOLMOGOROV (Andreï N.) : 92, 311-317.
 KOSZUL (Jean-Louis) : 72.
 KOYRÉ (Alexandre) : 3.
 KUHN (Thomas) : 45.
L
 LACAILLE (Nicolas Louis de) : 41.
 LACROIX (Sylvestre François) : 121, 125.
 LAGARRIGUE (André) : 10, 17, 23, 64, 101, 103-105, 107-113, 115-117, 167-171, 177, 187, 218, 220-222, 225, 227.
 LAGRANGE (comte Louis) : 45.
 LAMIRAND (Jean) : 158-160, 163.
 LANGEVIN (Paul) : 1, 3, 59, 61, 113.
 LANSON (Gustave) : 21.
 LAPLACE (Pierre Simon de) : 45, 47, 50.
 LATOUR (Bruno) : 86.
 LAVOISIER (Antoine Laurent) : 50.
 LAYMAN (J.W.) : 293.
 LAZARSFELD (Paul) : 81.
 LAZERGES (Guy) : 149.
 LEBESGUE (Henri) : 70, 92.
 LE CHATELIER (Henry) : 113, 162
 LECOURT (Dominique) : 11.
 LEGENDRE (Adrien Marie) : 121, 125, 261.
 LEGRAND (Louis) : 24.
 LEHMANN (Daniel) : 185.
 LE LIONNAIS (François) : 89.
 LELONG (Pierre) : 185.
 LELONG-FERRAND (Jacqueline) : 185.
 LEMOINE (Jules) : 161.
 LENGER (Frédérique) : 319.
 LENNÉ (H.) : 303.
 LERAY (Jean) : 70, 185.
 LEROY-LADURIE (Emmanuel) : 21.
 LE ROY (Édouard) : 32.
 LEVI (Beppo) : 263-264.
 LEVI STRAUSS (Claude) : 82-84.
 LEVY LEBLOND (Jean-Marc) : 84.
 LEWIS (John) : 283.
 L'HOSPITAL (Michel de) : 214.
 LIARD (Louis) : 31, 107, 111, 154, 170, 175.
 LICHNEROWICZ (André) : 2, 17-18, 23, 77, 79-81, 86, 90, 101, 109, 112, 181-189, 196, 207, 233.
 LIETZMANN (Walter) : 237-239, 246.
 LIGNY (Claude) : 85.
 LINDEMANN (Frederick) : 59.
 LINDENFELD (Peter) : 292.
 LIONS (Jean-Louis) : 75, 81.
 LIONS (Pierre-Louis) : 93.
 LIOUVILLE (Joseph) : 49.
 LIPPMANN (Gabriel) : 49, 116, 170.
 LITTRÉ (Émile) : 43.
 LORENTZ (Hendrik Antoon) : 59.
 LORIA (Gino) : 124, 262.
 LYOTARD (Jean-François) : 131, 132.
M
 MACH (Ernst) : 44.
 MAGNIER (André) : 182, 190, 208.
 MAÎTRE (Jacques) : 84.
 MAKARYTCHEV (U.N.) : 312.
 MANDELBJOIT (Szolem) : 71.
 MANEGOLD (Karl-Heinz) : 245.
 MANEUVRIER (G.) : 177.
 MARKOUCHEVITCH (Alexeïev I.) : 312, 314.
 MARCOLONGO (Roberto) : 264.
 MARCUSE (Herbert) : 190.
 MAROTTE (Francisque) : 125.
 MARTINAND (Jean-Louis) : 104, 150, 225.
 MASLOVA (G.G.) : 312.
 MARX (György) : 279.
 MASCART (Éleuthère-Élie) : 51.
 MASSAIN (R.) : 148.
 MATHIAS (Émile) : 55, 232.
 MATHIEU (Émile) : 48-49.
 MAXWELL (James Clerk) : 47, 57.
 MAY (Robert) : 93.
 MAYER (Julius Robert) : 41.
 MÉRAY (Charles) : 123-124.

- MERMET (Achille) : 157-158, 160-161.
 MICHELS (Walter) : 290.
 MILLIKAN (Robert Andrews) : 280, 290.
 MONGE (Maurice) : 206-207.
 MONTEL (Paul) : 92.
 MOORE (Eliakim Hastings) : 250-251.
 MORGENSTERN (Oskar) : 82.
 MORIN (Arthur) : 168.
 MORLET (J.) : 93.
 MORRISON (Philip) : 288.
 MOTHES (J.) : 84.
 MOTT (Sir Nevil) : 274.
 MOURGUES (Éva) : 161.
- N**ASH (John E.) : 93.
 NASTASI (P.) : 267.
 NATUCCI (A.) : 262-263.
 NECHKOV (K.I.) : 312.
 NÉEL (Louis) : 187.
 NEKRASSOV (P.A.) : 311.
 NERNST (Walther) : 59.
 NEWTON (Isaac) : 47-48, 170, 192, 200, 316.
 NIEL (Paul) : 156-157.
 NIKOLSKI (Sergei M.) : 316.
 NIMIER (Jacques) : 191.
 NOËL (Guy) : 231, 233, 319.
 NOETHER (Emmy) : 61.
 NOLLET (Abbé Jean-Antoine) : 147.
 NORDON (Didier) : 86.
- O**GBORN (Jon) : 231, 233-235.
 OHM (George Simon) : 144, 149, 157.
 OLBERS (Wilhelm) : 41.
 OLLIVE (J.) : 148.
 OLLIVIER (Héloïse Henri) : 56.
 OLMER (L.-J.) : 62, 148.
 OMNÈS (Roland) : 112, 115.
 ONG (Walter J.) : 250.
 OSGOOD (William F.) : 255.
 OSTENC (Michel) : 259.
 OSTWALD (Wilhem) : 55, 113.
- P**ALBRAND (George) : 129, 292.
 PAPY (Georges) : 319-323.
 PARSHALL (K.H.) : 250.
 PASSERON (Jean-Claude) : 29.
 PASTEUR (Louis) : 49.
 PAUL (Harry W.) : 45.
 PAULI (Wolfgang) : 58, 62.
 PEANO (Giuseppe) : 92.
 PÉCHARD (Louis) : 108.
 PEPE (Luigi) : 259.
 PERRIN (Jean) : 59, 108, 113.
 PESSIN : 222.
- PESTRE (Dominique) : 51.
 PETROVA (Svetlana) : 231-232, 235.
 PIAGET (Jean) : 82-83, 91, 128-129, 132, 181-182, 207, 233, 277.
 PICARD (Émile) : 32, 55-56, 113.
 PICARD (Nicole) : 182.
 PICOUX (Robert) : 221.
 PIONCHON (Joseph) : 145.
 PLANCK (Max) : 56-60, 276.
 PLATON : 43.
 PLÜCKER (Julius) : 244.
 POGORELOV (Alexeïev V.) : 316-317.
 POINCARÉ (Henri) : 1-3, 43, 49, 51, 59, 70, 90, 199, 201.
 POINCARÉ (Lucien) : 55, 108-110, 113, 154-155, 175.
 POISSON (Siméon Denis) : 45, 107.
 PONTRIAGUINE (Lev S.) : 315-316.
 POSSÉ (Konstantin A.) : 311.
 POSSEL (René de) : 71.
 PROST (Antoine) : 9, 34-35, 104.
 PROVOST (Pierre) : 112, 171, 222.
 PURCELL (Edward) : 288.
- Q**UETELET (Adolphe) : 81.
- R**ATNAIKA (Jay) : 276.
 REGNAULT (Victor) : 90.
 RÉGNIER (André) : 50.
 RENAN (Ernest) : 11.
 RÉSAL (Henry) : 47, 49.
 REVUZ (André) : 12, 80, 90, 127, 183-184, 203, 207.
 RIBOT (Alexandre) : 31.
 RICCO (Graciela) : 139.
 RIEMANN (Bernhard) : 209, 213.
 RIESZ (Frédéric) : 92.
 ROGERS (Éric) : 283.
 ROLLE (Michel) : 209.
 ROSENSTIEHL (Pierre) : 84
 ROSSIGNOL (J.) : 148.
 ROUCHE (Nicolas) : 125, 131, 208.
 ROY (Bernard) : 84.
 RUBENS (Henri) : 59.
 RUMFORD (Benjamin Thompson, Count) : 290.
 RUTHERFORD (Ernest) : 59-60.
 RUTHERFORD (James) : 64, 281.
- S**ALEM (Raphaël) : 92.
 SALTIEL (Édith) : 102-103.
 SAMUEL (Pierre) : 85.
 SARRAU (Émile) : 48-49.
 SAVARY (Alain) : 23.

- SCHILTZ (Marie-Ange) : 77, 79, 81, 183, 187, 190, 192.
 SCHIMMACK (Rudolf) : 238.
 SCHNEIDER (Werner) : 231, 235.
 SCHRÖDINGER (Erwin) : 58, 60.
 SCHUBRING (Gert) : 231-233, 235, 239-240, 242, 246.
 SCHWARTZ (Laurent) : 81, 90.
 SEARS (Francis W.) : 293.
 SEGRÉ (Emilio) : 58.
 SEIGNOBOS (Charles) : 213.
 SEMOUCHINE (A.D.) : 312.
 SERRE (Jean-Pierre) : 72, 90.
 SERVAIS (Willy) : 319.
 SEVERI (Francesco) : 264-265.
 SEXL (Roman U.) : 286.
 SHANNON (Claude E.) : 82.
 SIBONY (Daniel) : 85.
 SIGURDSON (S.E.) : 251, 252.
 SIROTA (Régine) : 139.
 SKOPETS (Z.L.) : 314.
 SMITH (A.) : 232.
 SMITH (David Eugène) : 237-238, 251-252, 254-255.
 SOBOLEV (Serge L.) : 315.
 SOLVAY (Ernest) : 59.
 SOMAGLIA (A.) : 261-262.
 SOMMERFELD (Arnold) : 59-60.
 STÄCKEL (Paul) : 247.
 STANIC (G.M.A.) : 252, 254, 256.
 STEEN (Lynn Arthur) : 197.
 SWETZ (F.) : 251.
- T**
 TANNERY (Jules) : 202.
 TANNERY (Paul) : 202.
 THENARD (Paul) : 107.
 THOM (René) : 85, 90.
 THOMSON (George Paget) : 60.
 THOMSON (Joseph John) : 290.
 THOMSON (William) : voir KELVIN
 THUILLIER (Pierre) : 86.
 TIBERGHIEU (Andrée) : 139, 235, 287.
 TIKHONOV (Andreï N.) : 315-316.
 TISSERAND (François Félix) : 202.
 TOMASI (R.) : 265.
 TORRICELLI (Evangelista) : 156.
 TOUREN (Charles) : 62.
 TRABAL (Patrick) : 104, 189, 193.
 TREVELYAN : 146.
- V**
 VAILATI (Giovanni) : 239, 263, 269-270.
 VALÉRY (Paul) : 113.
 VALIRON (Georges) : 90, 181.
 VAN DER WAERDEN (Bartel-Leendert) : 70.
 VAN HISE (Y.) : 294.
 VATTIMO (G.) : 264.
 VERDET (Émile) : 50.
 VIAL (Francisque) : 33.
 VINOGRADOV (Ivan M.) : 316.
 VIOLLE (Jules) : 108.
 VISSIO (P.) : 188.
 VITA (V.) : 259.
 VIVIANI (Vicenzo) : 261.
 VLADIMIROV (Vasilii S.) : 315.
 VOISIN (Eugène) : 148.
 VOLTERRA (Vito) : 92, 264.
 VON NEUMANN (Johann) : 82, 92.
- W**
 WALLON (Étienne) : 200.
 WALRAS (Léon) : 81.
 WALUSINSKI (Gilbert) : 127-128, 184.
 WARBURG (Otto Heinrich) : 59.
 WATSON (Fletcher G.) : 64, 281.
 WEBER (Wilhelm) : 47.
 WEIERSTRASS (Karl) : 244.
 WEIL (André) : 69, 71-72, 80, 89.
 WEISZ (George) : 45.
 WENHAM (Ted) : 283.
 WHEELER (D.) : 249.
 WHITE (Stephen) : 288-289.
 WIEN (Wilhelm) : 59.
 WIENER (Norbert) : 92.
 WIGDERSON (Avi) : 93.
 WIGNER (Eugene) : 93.
 WILSON (B.) : 254.
 WOJCIECKOWSKA (A.) : 249.
- X**
 XENOPHON : 262.
- Y**
 YAGLOM (Isaac M.) : 312.
 YOCCOZ (Jean-Christophe) : 93.
 YOUNG (Jacob William Albert) : 251-252, 255.
- Z**
 ZACHARIAS (Jerrold R.) : 276, 280, 286, 288, 290-294.
 ZAMANSKY (Marc) : 90.
 ZAY (Jean) : 22, 34.
 ZEEMAN (Christopher) : 96.
 ZELMANOV (Efin) : 93.
 ZOUCKERMANN (R.) : 148.

Les sciences au lycée

Sous la direction de
Bruno Belhoste, H el ene Gispert et Nicole Hulin

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

Deux grands moments marquent l'histoire de l'enseignement des sciences au XX^e siècle : les années 1900 où les réformes décisives voient le jour dans de nombreux pays, et les années 1960-70 où, dans le monde entier, l'enseignement des mathématiques et de la physique est radicalement rénové.

Quand, pourquoi et comment décide-t-on ainsi de modifier les programmes scolaires ? Au fil du siècle qu'a-t-on vraiment changé dans l'enseignement des mathématiques et de la physique au lycée ?

En quoi ces réformes reflètent-elles les grands bouleversements scientifiques de l'âge moderne ?

Quel est le poids des particularités nationales dans ces changements ?

Confronter les époques et réfléchir aux réformes passées pour mieux appréhender les questions posées aujourd'hui, tel est l'objectif de ce livre où les diverses approches possibles sont intimement mêlées, qu'elles soient d'ordre historique, philosophique, scientifique ou didactique.



Ouvrage réalisé par le



Service d'histoire de l' ducation

VUIBERT : ISBN 2 7117 8899 7 • INRP : ISBN 2 7342 0514 9

