DEUXIÈME PARTIE

Les réformes en France : principes et réalités

Introduction

Les commissions de réforme nommées par les pouvoirs politiques — la commission de rénovation des programmes de sciences de 1902, avec ses sous-commissions de mathématiques et de physique, les commissions Lichnerowicz et Lagarrigue dans les années 1960-1970 — ont toutes abouti, quelle que soit leur mission initiale, à la rédaction de nouveaux programmes d'enseignement, fixant ainsi dans des contenus d'enseignement les intentions des promoteurs des réformes. Ces différentes réformes de l'enseignement scientifique — qui sont, nous l'avons vu, des processus sociaux complexes, traversés d'enjeux très divers — s'identifient donc, de fait, à des rénovations de contenus.

Une question s'impose alors naturellement : quels sont les changements majeurs qui surviennent en France dans l'enseignement secondaire des mathématiques et de la physique au cours de ce siècle ? Les évolutions profondes des contextes depuis les années 1900 (voir la première partie) laissent en effet augurer des transformations importantes, voire même radicales.

Mais comment les repérer ? Dans les intentions, les discours, les principes ? Nous trouvons là des éléments de réponse, mais non les plus déterminants. Qu'en est-il en effet de la réalité scolaire ? Cette question, incontournable, est particulièrement difficile en ce qui concerne le début du siècle. Les outils de nos investigateurs — didacticiens, qui ont élargi leur réflexion à l'ensemble du siècle, historiens des sciences — sont, pour l'essentiel, les manuels et les programmes ; c'est donc d'une réalité toute théorique qu'il est ici question.

PERMANENCES ET DÉCALAGES

Examinant le cas de la physique, Nicole Hulin propose à notre première question une réponse en deux temps : à la notion de changement elle substitue celles de permanences et de décalages [1] ; permanences remarquables dans l'énoncé de principes

(1)Cette problématique est exposée dans Hulin (N.), « Faire une histoire de l'enseignement scientifique », *Didaskalia*, 2, 1993, pp. 61-72.

et d'objectifs au cours du siècle, mais décalages — sur le long terme — de leurs significations et des motivations qui les provoquent. Il en est ainsi de l'unité de la science avec ses deux pôles — expérimental et abstrait —, de la conception des lois et des théories physiques, de l'insistance sur le caractère expérimental de la physique, de l'adéquation nécessaire de la physique enseignée à la physique savante, etc.

S'attachant à la présentation de points particuliers des différents programmes de physique dans un certain nombre de manuels — étude des circuits électriques, principe d'inertie et les expériences qui l'accompagnent —, Samuel Johsua et Édith Saltiel illustrent la pertinence de cette problématique. S'ils identifient, chacun, des changements significatifs provoqués, dans le premier cas, par les choix successifs des notions à introduire expérimentalement ou mathématiquement et, dans le deuxièmes cas, par des différences d'objectifs pédagogiques induits par les réaménagements opérés dans la discipline, ils insistent sur la permanence de certaines options de base qui, dans des contextes différents, paraissent être à chaque étape les ressorts mêmes du changement.

Rudolf Bkouche et Michèle Artigue traitent de l'enseignement de la géométrie et de l'analyse dans une autre perspective ; l'accent est mis sur les ruptures, dans les principes comme dans les programmes, de l'enseignement mathématique au cours de ce siècle et jusque dans les années 1980. Une première rupture radicale concerne la place de la géométrie dans les différentes réformes. Participant à la fois de la méthode rationnelle et de la méthode expérimentale, la géométrie a une place cruciale dans les réformes d'inspiration positiviste du début du siècle ; il n'en est plus de même avec le point de vue structural : la géométrie, comme science autonome, ayant achevé son histoire, l'apprentissage de la géométrie élémentaire devient un simple chapitre de l'algèbre linéaire. Les ruptures concernant l'enseignement de l'analyse en 1902, dans le début des années 1960, puis en 1970, beaucoup plus locales et discrètes, n'en furent pas moins importantes. La réforme de 1902 marque, par exemple, l'acte de naissance de l'enseignement du calcul différentiel et intégral dans l'enseignement secondaire ; la réforme des années 1960 correspond plutôt à la volonté de replacer cette analyse algébrisée dans le monde des concepts et des modes de pensée de l'analyse qui fait alors son entrée dans les classes terminales des lycées.

La problématique des permanences et des décalages se retrouve par contre dans l'analyse que font Rudolf Bkouche et Michèle Artigue des nouvelles ruptures proposées par la contre-réforme des années 1980 avec la promotion du retour au concret. Rapprochant cette démarche de celle du début du siècle, ils soulignent à leur tour les profonds décalages dans les intentions comme dans les contextes, le moment des mathématiques modernes ne pouvant, en aucun cas, être réduit à une parenthèse.

ENSEIGNEMENT CONCRET OU EXPÉRIMENTAL, ENSEIGNEMENT THÉORIQUE

L'enseignement secondaire de la physique doit être concret et expérimental ; il complète, ou il s'oppose, en cela à l'enseignement de mathématiques qualifiées d'abstraites : tel est, nous l'avons dit, l'un des principes affirmés tout au long du siècle par les physiciens. Une telle dichotomie ne rend compte en fait, comme le montrent les différents articles de cette deuxième partie, ni de la complexité ni de la réalité des deux disciplines et de leurs enseignements.

Au niveau des principes, tout d'abord, l'articulation entre le concret et l'abstrait, l'expérimental et le théorique se situe au cœur de l'enseignement de chaque discipline. Les physiciens de la Commission Lagarrigue qui soulignent la nécessaire « interaction dialectique » (voir la contribution de Nicole Hulin dans cette partie) entre l'expérience et la théorie, l'affirment évidemment avec beaucoup plus de netteté que les réformateurs de 1902 qui se font les promoteurs de la méthode inductive ; certains, parmi ces derniers, regrettent cependant que l'aspect déductif ne soit pas assez pris en compte (voir la contribution de Claudette Balpe). Les mathématiciens, de façons diverses, veulent également faire vivre dans l'enseignement de leur discipline cette interaction dialectique entre le concret et l'abstrait, entre l'observation, l'expérience et la nécessaire abstraction : en 1902, l'insistance est mise sur le caractère expérimental de l'enseignement qui, tout en étant rigoureux, doit s'appuyer sur l'expérience sensible (contributions de Rudolf Bkouche et Michèle Artigue) ; dans les années 1960, si le recours à l'abstraction est revendiqué pour tout enseignement des mathématiques, les réflexions des réformateurs ne font pas l'impasse sur la nécessité d'une « expérience concrète, riche et variée, voire nécessaire à l'abstraction » pour reprendre les termes du colloque de l'OECE de 1961 auquel participent activement des mathématiciens français (contribution de Patrick Trabal).

Cela dit, une fois les principes posés, qu'en est-il de leur mise en œuvre ? Édith Saltiel et Claudette Balpe relèvent les limites et l'ambiguïté du caractère concret et expérimental de l'enseignement de la physique tel qu'il est présenté dans des manuels du début du siècle comme des années 1970. Les expériences de cours servent en fait à vérifier — et non à démontrer expérimentalement comme c'est affirmé — les différentes lois des programmes ; expériences « théoriques » recourant à des phénomènes physiques très épurés, elles font l'impasse sur tout phénomène concret correspondant de la vie quotidienne dont se réclament pourtant les programmes. Quant aux exercices pratiques, création de la réforme de 1902, la démarche expérimentale qu'ils doivent promouvoir paraît occultée au profit de mesures ou de protocoles expérimentaux à accomplir. Le champ du réel et du concret que s'autorise l'enseignement de la physique semble, de fait, limité à ce qui est objet de calculs, de formules mathématiques et de mesures.

Cette consommation importante d'outils mathématiques dont la seule fonction, dans l'enseignement, est de fournir une langue à la physique, conditionne profondément les rapports entre les deux disciplines scolaires. Dans l'harmonie positiviste des réformes du début du siècle les programmes de mathématiques et de physique paraissent s'épauler mutuellement. Il n'en est plus de même quelques décennies plus tard avec les programmes de « mathématiques modernes » qui ne répondent plus directement aux demandes de la physique scolaire : dans des déclarations polémiques, des physiciens de la Commission Lagarrigue dénoncent alors la vague de formalisme et d'abstraction la plus délibérée qui déferle sur l'enseignement des mathématiques et le rend inopérant pour toute application. Phénomène spécifique à l'enseignement des mathématiques, les réalités de la réforme des mathématiques modernes — celles des programmes, des manuels, des classes — ont fini, non seulement par déformer, mais par oblitérer les intentions originelles des réformateurs. Patrick Trabal s'attache à les reconstituer, révélant et analysant alors l'ampleur des « effets pervers » que dénoncèrent d'ailleurs, très vite, les promoteurs mêmes de la réforme.

Les dérapages de cette période mettent en avant une dérive constante de l'enseignement des mathématiques en France — plus facile, manifestement, à dénoncer qu'à éviter —, celle du formalisme, perversion d'un enseignement théorique. Mais, les contributions consacrées à l'enseignement de la physique le montrent, cette dérive n'est pas spécifique aux mathématiques. Jean-Louis Martinand souligne, dans l'analyse qu'il fait des débats de la Commission Lagarrigue sur la technologie, cette tendance scolaire permanente au formalisme à laquelle n'échappe pas l'enseignement de la technologie : de façon générale, remarque-t-il, la présence des techniques dans l'enseignement scientifique secondaire a de tout temps interrogé les enjeux du système scolaire, alimentant les débats entre la critique de l'utilitarisme et la promotion des savoirs théoriques d'une part, la critique du formalisme et l'incitation à prendre en compte les applications d'autre part.

BILAN DES RÉFORMES : ÉCHEC OU RÉUSSITE ?

Permanences — bien que décalages — dans les intentions, écarts et effets pervers dans leur mise en œuvre ; une question légitime se pose : les différentes réformes de l'enseignement scientifique de ce siècle en France n'ont-elles été que des échecs ?

Répondre à cette question oblige, nécessairement, à en préciser le sens. Quels seraient donc, en effet, les critères de réussite d'une réforme ? La tenue des objectifs annoncés — mais pour combien de temps ? La réduction maximale des écarts entre les intentions et la réalité ? Ou bien l'absence apparente de polémiques autour de leur mise en place ? Mais, en ce cas, la réforme doit-elle convenir à l'échelle de la société ? des enseignants ? des élèves, « acteurs muets » de ces réformes qui, comme le rappelle Antoine Prost, font et défont les réformes ?

Les devenirs contradictoires des réformes de l'enseignement de la géométrie et de l'analyse de 1902 relativisent la pertinence de quelques-uns de ces critères. Dans les deux cas les objectifs annoncés sont tenus, dans les contenus des programmes comme dans les nouvelles générations de manuels ; cependant, si l'introduction du calcul différentiel et intégral est qualifiée de succès — absence de polémiques, estime internationale, longévité des programmes —, la réforme de la géométrie, très vite objet de polémiques, peut être considérée comme un échec, dans la mesure où elle est remise en cause dès les années 1920. Pourquoi cette différence ? L'étude des réformes de l'analyse conduit Michèle Artigue à préciser certains facteurs du succès de 1902 : le public culturellement adapté, un corps enseignant qualifié, la qualité des nouveaux manuels, le caractère mesuré et local des changements proposés. On comprend *a contrario* les multiples difficultés de la réforme des mathématiques modernes dont chacun s'accorde à reconnaître l'échec.

L'exemple de la mise en place des exercices pratiques de physique en 1902 montre qu'il est cependant possible qu'une réforme qui provoque des changement radicaux — créant une rupture importante dans la fonction professorale — soit jugée réussie par les différentes autorités du système scolaire, les parents et le monde savant. L'analyse que fait Claudette Balpe infirme quelque peu la satisfaction des acteurs dans la mesure où ces travaux pratiques — dont l'introduction a été effectivement réalisée à grande échelle dans un temps étonnamment court — ne remplissent pas le rôle pédagogique et didactique qui leur était dévolu : une « réforme réussie » peut-elle se solder par un échec ?

La prise en compte des questions d'ordre didactique ont, de fait, avec le développement de la didactique des mathématiques et de la physique dans les années 1970, changé radicalement les réflexions sur les réformes de l'enseignement. Elles ont même été, dans le cas des mathématiques, à l'origine de la « contre-réforme » des années 1980 qui condamne sans appel les choix précédents de la réforme des mathématiques modernes. Les jugements de la plupart des physiciens ou des didacticiens sur la réforme Lagarrigue apparaissent beaucoup plus mesurés : il n'est question ni d'échec, ni de contre-réforme. Le constat d'échec qu'en dresse Michel Hulin [1], un des principaux acteurs de cette réforme, dès le début des années 1980 est donc particulièrement remarquable.

(1)Voir en particulier, la communication de Michel Hulin de novembre 1985 « L'enseignement de la physique dans le secondaire : faire le point après 25 ans de réformes » publiée dans son ouvrage *Le Mirage et la nécessité*, Presses de l'École normale supérieure et Palais de la découverte, Paris, 1992, pp. 137-145.

cri d'alarme des physiciens

« La science moderne est aussi étrangère à nos contemporains que l'étaient les idées de Galilée aux hommes de son temps. »

Galilée par Daumier (collection Viollet). D'après *L'Usine nouvelle* du 1er juillet 1971

L'enseignement de la physique : d'une réforme à l'autre, permanences et décalages

Nicole HULIN

Nous nous proposons de comparer ici la réforme de 1902 et la réforme préparée par la Commission Lagarrigue dans les années 1970, en rapprochant quelques éléments qui caractérisent ces réformes, soulignant les évolutions, les analogies et les différences.

Après la réforme novatrice de 1852 qui instaurait dans le secondaire, avec la « bifurcation des études » [Hulin N.,1989], deux filières — l'une littéraire, l'autre scientifique — équivalentes par la durée ainsi que par la sanction des études et instituait un baccalauréat ès sciences indépendant du baccalauréat ès lettres, la réforme de 1902 constitue une étape essentielle dans l'évolution de l'enseignement secondaire. Avec l'établissement d'une « quadrifurcation » dans les études, dont l'une des branches, distinguée dès la 6e, est constituée par l'enseignement moderne, cette réforme réalise l'unité de l'enseignement secondaire [Liard, 1902, p. 126] ; elle introduit un nouvel esprit dans l'enseignement scientifique que l'on souhaite constituer en véritables « humanités scientifiques » [Liard, 1904, p. vi], soulignant l'importance des sciences dans la culture.

À ces dates déterminantes pour l'enseignement scientifique dans son ensemble, il convient d'ajouter, pour la physique, les années 1970 avec la rénovation profonde des contenus de l'enseignement des sciences physiques préparée par la Commission Lagarrigue, commission d'études pour l'enseignement de la physique, de la chimie et de la technologie (technologie dans le premier cycle [Hulin M., 1992, pp. 78 et 110], sciences physiques dans le second cycle).

Nous centrons ici notre intérêt sur l'enseignement de la physique qui est liée à la chimie au sein des sciences physiques depuis 1840, lorsque les positions défendues par le chimiste Thenard l'ont emporté sur le point de vue du physico-mathématicien Poisson [Hulin N., 1989].

CONTEXTE GÉNÉRAL

Entre la réforme de 1902 et les travaux de la Commission Lagarrigue, le contexte a évolué notablement. Nous en citerons quelques éléments.

D'abord, les effectifs du secondaire se sont considérablement accrus, passant de la centaine de mille à plusieurs millions, et ceci pour des raisons diverses : augmentation du nombre des naissances, développement de l'enseignement féminin (1924-1928), instauration de la gratuité dans le secondaire (1930), scolarité obligatoire établie jusqu'à 16 ans (décision de 1959 avec effet en 1967). Initialement réservé à une élite, l'enseignement s'oriente donc vers un enseignement de masse.

Ensuite, en 1902 les programmes de mathématiques et de physique sont révisés conjointement et la réforme est effectuée dans le cadre de la restructuration opérée dans l'enseignement secondaire alors qu'en 1971, la Commission Lagarrigue débute ses travaux après que l'enseignement des mathématiques ait été profondément rénové dans les années 1960 et doit s'occuper des programmes de sciences physiques dans une structure déjà existante de l'enseignement secondaire ; ce n'est qu'en cours de travaux que la Commission Lagarrigue doit faire face à des réformes (projet de réforme Fontanet en 1974, réforme Haby 1976 [Hulin M., 1992, pp. 80-85 et 119]).

Les origines de ces mouvements de rénovation de l'enseignement secondaire des sciences physiques ne sont pas de même nature. Certes, si dans les années 1970 on dénonce la vétusté des programmes quasiment inchangés depuis le début du siècle, malgré les formidables avancées de la physique, le même type de constat existe en 1902 où l'enseignement secondaire est jugé dépassé dans ses contenus. Mais à la fin des années 1960 on s'inquiète de la désaffection vis-à-vis des sections scientifiques, qui atteint le premier cycle des facultés, et la diminution du nombre d'élèves scientifiques dans le second degré est dénoncée au Colloque de Caen en 1966 [*RES*, 1966]. De plus, il apparaît alors un décalage important avec l'enseignement supérieur qui vient d'être réformé ; la réforme Fouchet-Aigrain de juin 1966 a institué un premier cycle de faculté en deux ans (DUES) pour lequel ont été établis de nouveaux programmes modernisés.

LES COMMISSIONS DE RÉFORME

La révision des programmes de sciences qui accompagne la réforme de 1902 est effectuée par une commission [Belhoste, 1990] nommée en février 1901 ; elle a un caractère exclusivement parisien. La sous-commission de sciences physiques comprend huit membres : d'une part, deux inspecteurs généraux, Jules Joubert et Lucien Poincaré ; d'autre part, six enseignants du supérieur (deux chimistes : Albin Haller, Louis Péchard ; et quatre physiciens : Henri Abraham, Paul Janet, Jean Perrin, Jules Violle). Tous, sauf un (Albin Haller), sont normaliens.

Dans cette sous-commission il convient de noter l'influence normalienne (en rapport avec une montée en puissance de l'École normale supérieure) ainsi que la présence nombreuse de physiciens pour décider de l'enseignement de leur discipline dans le secondaire. Soulignons que les instructions pour l'enseignement de la physique et de la chimie dans l'importante réforme de 1852 avaient été rédigées par le *chimiste* Jean-Baptiste Dumas et que ces instructions ont marqué l'enseignement de la physique jusqu'à la fin du XIX^{e} siècle.

Avec la Commission Lagarrigue on passe en 1971 à une commission beaucoup plus large, comprenant cinquante-deux membres, avec une forte représentation parisienne (17 % de provinciaux) ; sa composition reflète un souci d'ouverture sur le monde industriel (Thomson CSF, Institut Français du Pétrole) ainsi qu'un désir d'équilibre entre les divers ordres d'enseignement (secondaire, supérieur, technique). Soulignons aussi la présence de mathématiciens (André Lichnerowicz). Le souci d'équilibre apparaît aussi dans la composition du Bureau constitué à la demande du Président Lagarrigue ; il comprend, outre le président et le vice-président Dechêne, doyen de l'inspection générale, cinq membres dont le représentant de l'Union des physiciens (UdP) : son président Georges Guinier, et le représentant de la Société française de physique (SFP) : son secrétaire Michel Hulin.

Une originalité de la commission est de se doter d'un groupe de travail permanent, de six personnes (vingt en 1973) animé par Goéry Delacôte. Le premier cycle sera le domaine de ce groupe qui aura pour vocation de préparer des modules d'enseignement et de les expérimenter. En outre, à la rentrée 1971, deux groupes de travail sont formés, l'un en physique, l'autre en chimie, pour préparer les programmes du second cycle.

LES SOCIÉTÉS SAVANTES ET LA RÉFORME

En 1902 un changement important est opéré dans l'organisation de l'enseignement de la physique avec l'institution de travaux pratiques obligatoires ce qui transforme les conditions du professorat de physique. Pour aider les professeurs, dès avril 1902, le Conseil de la SFP, où siège Lucien Poincaré, étudie un projet de livre d'expériences de physique qui sera publié [Abraham, 1904] sous le nom du secrétaire général de la SFP Henri Abraham. Cet ouvrage est réalisé grâce à la collaboration d'une centaine de professeurs du secondaire. Apparaît alors l'intérêt de constituer une « Mutuelle des Idées » qui conduit à la création de l'UdP en 1906 et à la publication du Bulletin de l'UdP, *BUP*.

Ainsi la réforme de 1902 bénéficie de l'aide de la SFP et entraîne la création de l'UdP. Et ces deux sociétés, collaborant avec la Société chimique de France, vont jouer un rôle moteur [Hulin N., 1991] pour la constitution de la commission ministérielle qui sera présidée par André Lagarrigue dans les années 1970. En effet, en février 1969, est créée la Commission d'enseignement de la SFP sous la présidence de Georges Guinier, président de l'UdP ; le secrétaire de ladite commission, Michel Hulin, est secrétaire de la SFP et élu au Conseil de l'UdP en 1969. Ainsi s'instaure une *coopération entre le secondaire et le supérieur* dont André Lagarrigue souligne l'importance devant le

Conseil de la SFP [*Archives SFP*] où il a été élu en 1967. Les travaux de la Commission d'enseignement de la SFP vont aboutir à un rapport en avril 1970 [*BUP*, 1970] initiateur de la création de la Commission Lagarrigue.

Notons des différences importantes entre les deux commissions en ce qui concerne la durée de leurs travaux et leur mode de fonctionnement. La première commission, nommée en février 1901, se réunit en juin 1901, les programmes sont arrêtés le 31 mai 1902 et le début d'application a lieu à la rentrée 1902. La Commission Lagarrigue est instituée en octobre 1970 et installée en mai 1971. À la rentrée 1972 une phase d'expérimentation, qui constitue une originalité de la réforme Lagarrigue, commence avec les programmes de seconde dans un certain nombre d'établissements pour aboutir à l'organisation d'un baccalauréat expérimental en 1975 (la généralisation a lieu en 1981). Puis, de 1977 à 1979, sont produits les programmes qui vont de la 6^{e} à la terminale et qui accompagnent la mise en place de la réforme Haby.

Il convient de souligner une autre différence importante : les travaux des commissions aboutissent à des programmes qui sont accompagnés : en 1902, de quelques conseils généraux et quelques remarques sur des points particuliers ; dans les années 1970, de commentaires copieux et détaillés sur les différentes parties.

Dans ce qui suit nous limiterons notre propos à l'enseignement de la physique dans le second cycle. Notons cependant qu'avec la réforme Haby (1976) la décision est « prise brusquement d'installer physique et chimie dans l'enseignement de la 6^{e} à la 3^{e} (ce qui avait été, à la fois, une demande constante de la commission, et l'objet d'un refus définitif des autorités) » [Hulin M., 1992, p. 119] ; notons aussi que, dans la réforme de 1902, physique et chimie étaient enseignées dans la division scientifique du premier cycle. Dans ce qui suit, nous prendrons pour textes de référence — en ce qui concerne la Commission Lagarrigue — des textes de la période 1971-1974 [*Doc. CL*].

LES OBJECTIFS

Dans les deux réformes on affirme que le but n'est pas de former des physiciens ou des chimistes [*B.A.*, 1902, pp. 822, 831 ; Poincaré, 1904, p. 49 ; *Doc. CL*, 1971, p. 34 et 1973, p. 40 ; *Arch. CL*, 1971]. En 1902 on explique que l'objectif est de faire connaître les grandes lois de la nature (la loi naturelle étant la relation des faits individuels entre eux) ainsi que de permettre aux élèves de se rendre compte de ce qui se passe autour d'eux [*B.A.*, 1902, p. 822]. Au début des années 1970 on indique qu'il s'agit d'« apporter un élément de culture générale à des élèves très divers » [*Doc. CL*, 1971, p. 34] et d'« informer les adolescents de réalités (techniques, conceptuelles, méthodologiques) qui leur sont, jusqu'ici, restées insuffisamment familières alors qu'elles sont une des caractéristiques fondamentales de notre temps » [*Doc.CL*, 1973, p. 40]. Cependant il faut noter que les programmes Lagarrigue vont faire disparaître des chapitres de la physique proches des applications, présents dans les programmes de 1902 : résistance de l'air, optique et acoustique physiologiques, machines thermiques... [Hulin M., 1992, p. 38].

Louis Liard affirme, en 1904, que désormais les sciences seront « des instruments de culture » ; les études scientifiques doivent « contribuer à la formation de l'homme » et « sont donc, à leur façon, des "humanités" », dit-il [Liard, 1904, p. v et vi]. En 1974, d'une manière étonnamment proche, un rapport des trois sociétés (SFP, UdP, SCF) insiste sur la richesse culturelle des sciences expérimentales, fait l'inventaire du bagage nécessaire au « jeune Français moyen » des années 1980, traçant « les voies d'un humanisme moderne » [*Doc. CL*, 1974, p. 110] avant de conclure :

> « Et tout ceci, qui prend beaucoup de temps et demande beaucoup d'efforts n'a jamais pu être réellement tenté. Aura-t-on enfin la volonté politique, le courage, de respecter cette nouvelle exigence de l'humanisme? »

L'UNITÉ DE LA SCIENCE, L'UNITÉ DE LA PHYSIQUE

Au souci des réformateurs de 1902 de faire comprendre l'unité de la science [Ascoli, 1904, p.497] — mais sans inclure dans la conception générale du projet les sciences naturelles —, répond le souhait des années 1970 d'une réforme harmonieuse de l'étude des mathématiques et des sciences expérimentales, ces dernières comprenant physique, chimie, biologie, disciplines techniques et constituant une discipline fondamentale ; et la demande est faite de la création d'une commission de rénovation des sciences naturelles [*Arch. CL*, 1971]. On insiste sur le nécessaire équilibre entre les deux pôles — mathématiques et sciences expérimentales — dans la formation, leur indissociabilité et leur complémentarité.

Il s'agit ici, dans les années 1970, d'affirmer l'importance des sciences expérimentales pour qu'elles figurent avec un horaire suffisant de la 6^{e} à la terminale après avoir dénoncé « l'envahissement par les mathématiques délibérément les plus abstraites » [*BUP*, 1970, p. 100]. Lorsqu'en 1904, on souligne l'apport spécifique des sciences expérimentales [Liard, 1904, p. xii], on justifie ainsi la place qui vient de leur être faite aux côtés des « mathématiques abstraites ».

La préoccupation de montrer l'unité de la science apparaît dans les programmes de 1902 [*B.A.*, 1902, pp. 823, 830, 832, 840 et 841 par exemple]. Si la « notion expérimentale de travail » est introduite dans le cours de physique de seconde, le cours de mathématiques des terminales scientifiques traite le sujet d'une manière générale en incluant l'unité de travail et l'évaluation graphique. C'est ce même cours de mathématiques qui introduit la notion d'erreur absolue et d'erreur relative. Quand on recommande au professeur de physique, dès la seconde, pour l'étude des lois, d'avoir recours à la représentation graphique, on souligne que c'est une manière de familiariser les élèves avec les idées importantes de fonction et de continuité ; l'étude des fonctions est introduite dans le cours de mathématiques où on fait tracer des graphes de courbes, et il y a même une référence concrète dans les programmes de la classe de philosophie

— (courbe de température et courbe de poids sont proposées pour illustrer la variation d'un phénomène qui dépend d'une seule variable).

Sur ce point on trouve une analogie avec les avant-projets de programme pour la classe de seconde préparés en 1972 : on recommande le recours à la représentation graphique ; en mécanique les graphes obtenus à partir du repérage des mobiles sont exploités pour la définition et la mesure des vitesses. « Ceci, dit-on, constitue d'ailleurs, en accord avec les mathématiciens, une approche de la dérivée en un point » [*Doc. CL*, 1973]. Mais dans les années 1970 le problème est d'étudier les difficultés posées aux enseignants de sciences physiques par la réforme de l'enseignement des mathématiques : c'est la mission confiée à deux membres de la Commission Lagarrigue, Roland Omnès et Pierre Provost. En effet la coordination physique-mathématiques se complique : à côté du décalage dans le temps entre l'enseignement de mathématiques et les besoins de l'enseignant de physique, il existe un décalage entre les « mathématiques modernes enseignées » et les « mathématiques applicables » utilisées dans l'enseignement de la physique [Omnès, 1973 ; Hulin M., 1992, p.100]. Un groupe sera créé, à la charnière de la Commission Lagarrigue et de la Commission Lichnerowicz, pour étudier les relations entre les deux enseignements.

Toujours dans ces années 1970, on juge essentiel de montrer l'unité de la physique et son aspect synthétique ; on se propose « d'abandonner un enseignement du type cloisonné entre les diverses parties de la physique » [*Doc.CL*, 1973, p. 43]. En effet, avec l'avènement de la mécanique quantique (à partir de 1920), puis l'orientation très large de la physique vers le microscopique (développement de la physique atomique, de la physique du solide, de la physique nucléaire et des particules à partir de 1935-1945), se sont opérés des réaménagements dans la discipline [Hulin M., 1988*b*] ; « c'est avec la mise en œuvre de la mécanique quantique que s'est généralisée l'intervention de la théorie des groupes en physique, s'accompagnant d'une attention accrue accordée aux problèmes de symétrie, eux-mêmes liés aux problèmes d'invariance et de conservation » [Hulin M., 1991, p. 247].

> « On parlera ainsi de "superlois" — (invariance, conservation, symétrie) — au dessus des "lois physiques" proprement dites, elles-mêmes diverses, (certaines expriment des liens de causalité, par exemple, tandis que les "relations constitutives" n'ont de valeur qu'essentiellement phénoménologique, et décrivent les comportements particuliers de certaines classes de systèmes physiques). Les superlois sont directement reliées au processus même de formalisation mathématique [...]. » [Hulin M., 1992, p. 150]

PHYSIQUE ENSEIGNÉE, PHYSIQUE SAVANTE

Dans les années 1970 on veut donc initier les élèves aux concepts fondamentaux, aux principes fondamentaux qui guident le physicien — les "superlois" (lois de conservation, d'invariance, de symétrie) — ainsi qu'aux modèles microscopiques qui décrivent la constitution et le comportement de la matière [*Doc. CL*, 1973, p. 40]. On cherche à restituer la physique dans son authenticité :

> « Les élèves devraient parvenir au niveau de la terminale conscients de l'intérêt qui s'attache à rechercher des invariants, des lois de conservation, à préciser des lois de transformation dans certaines opérations de symétrie, etc. ; or ce sont là précisément les "réflexes" qui ont permis aux physiciens de "s'en sortir" dans l'exploration du domaine microscopique. » [Hulin M., 1973]

Or, d'une manière générale, l'évolution de la physique enseignée est directement liée à l'évolution de la physique savante. Ainsi, dans la deuxième moitié du XIX^e siècle, la physique se constitue et accumule des résultats expérimentaux ; ces connaissances sont exposées dans les traités dans un ordre historique en s'attachant aux détails d'appareillage [Poincaré, 1904, p. 54]. Paul Valéry écrit à ce propos dans *Au sujet d'Eurêka* :

> « Ils aimaient les robinets à trois voies, les hémisphères de Magdebourg, et les laborieux et frêles raisonnements que leur inspirait le problème du siphon. »

La réforme de 1902 restructure le cours et donne de l'importance au principe de conservation de l'énergie [*B.A*, 1902, pp. 826, 847], une de ces grandes coordinations qui commandent aujourd'hui les sciences expérimentales explique Lucien Poincaré [1904, pp. 63-64], ajoutant qu'une fois introduite « il ne faudra pas craindre de prendre ce principe comme nouveau point de départ et d'y rattacher systématiquement les faits que l'on rencontrera » ensuite. Le principe de conservation de l'énergie avait déjà été inséré dans les programmes de 1891 de l'enseignement classique et, dès 1894, Henry Le Chatelier soulignait l'intérêt d'introduire dans l'enseignement secondaire les principes fondamentaux de l'énergétique dont « l'embryon » [Picard, 1914, p. 135] a été en quelque sorte la thermodynamique. C'est ce même type de position, d'ailleurs, qui est adopté par le chimiste Wilhem Ostwald [1895, pp. 954, 956 et 957] quand il explique que toutes les lois naturelles se ramènent à la même forme : « trouver un invariant », que l'invariant le plus général est l'énergie. Mais ici le terme « invariant » est utilisé dans un contexte conceptuel bien différent de celui de la physique moderne (avec d'un côté, le rejet de tout ce qui n'est pas réalité observable — conduisant W. Ostwald au refus de l'atomisme —, et de l'autre, la primauté accordée aux « superlois » liées aux traitements mathématiques et structurant la discipline).

Si cette position est bien éloignée de celle des physiciens modernes, il convient de souligner qu'elle est aussi fort différente de celle de Paul Langevin [1904, p. 82] qui, dans les principes généraux qui dominent toute science expérimentale, inclut, outre le principe de conservation de l'énergie, le principe de symétrie — qui sera plus tard introduit dans les programmes Lagarrigue [Hulin M., 1975, pp. 99-101 ; 1988, p. 111] —, ainsi que les idées atomistiques qu'il fait passer du domaine des hypothèses à celui des principes. Pour Jean Perrin [1913, p. 11], de même, « c'est expliquer du visible compliqué par de l'invisible simple » ; et, Paul Langevin [1904, p. 89] insiste sur l'intérêt pédagogique de l'introduction de ces idées :

> « Il suffit, d'ailleurs, de voir avec quelle avidité de bon aloi les élèves assimilent les quelques indications bien vagues que l'on peut se permettre à ce sujet, où ils trouvent avec joie le support qui leur manque, pour être convaincu qu'on se prive volontairement dans l'enseignement secondaire d'un levier bien puissant, par un scrupule de rigueur tout à fait exagéré, et par suite du discrédit injuste dans lequel ces hypothèses sont tombées ».

Mais les réticences vis-à-vis des idées atomistiques vont marquer durablement l'enseignement puisqu'au début des années 1950 les conceptions atomiques sont encore présentées comme une *hypothèse* et non comme une *théorie*.

UNE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE

Dans les deux réformes on trouve une même insistance sur le caractère expérimental [Hulin N., 1992*a*] de l'enseignement de la physique, en y incluant une initiation à la mesure.

Au début du siècle, on recommande de dispenser un « enseignement très pratique fondé sur les expériences » [*B.A.*, 1902, pp. 822-823, 831] et, dans le libellé des programmes, il est fait un usage répétitif du mot « expérimental » : étude purement expérimentale des miroirs, notion expérimentale de la différence de potentiel, comparaison expérimentale des intensités de deux sources lumineuses, définition expérimentale du champ magnétique. On souligne la nécessité d'habituer les esprits à s'incliner toujours devant une preuve et d'apprendre à observer, à classer, à remonter d'un fait à une loi, à vérifier une hypothèse.

Ces recommandations se concrétisent avec l'institution des manipulations pour les élèves, une mesure que suggérait, dès 1847, J.-B. Dumas en la présentant comme indispensable pour une étude sérieuse des sciences physiques [Dumas, 1847, pp. 409-410]. Cette introduction, en 1902, de travaux pratiques pour les élèves des lycées est suivie, en 1904, par l'instauration du montage de physique au concours d'agrégation de sciences physiques. Cette épreuve consiste à rassembler le matériel nécessaire pour les expériences devant illustrer une leçon et à les exécuter.

Dans les années 1970 on recommande une « démarche partant du concret, de l'observation, de l'expérimentation ». Le discours est apparemment semblable à celui du début du siècle où « la physique faisait profession de positivisme absolu » [Bachelard, 1965, p. 92] mais, ici, l'objectif est de présenter l'« interaction dialectique » entre théorie et expérience [*Doc. CL*, 1973, p. 40] et une place de choix est réservée à la physique microscopique. Par exemple, alors que dans la première moitié du siècle le courant continu est introduit et caractérisé par ses effets électrolytique, calorifique, magnétique, il est désormais présenté comme un flux d'électrons. Cependant, dans les épreuves spéciales du baccalauréat organisées à partir de 1975 dans le cadre de l'expérimentation [Hulin M., 1992, p. 123] des programmes, se manifeste une évolution de la question de physique [Hulin N., 1992*b*] qui se constitue alors en un ensemble d'exercices indépendants ; c'est ainsi l'occasion de laisser une part d'initiative au candidat comme celle de se donner soi-même une application numérique simple montrant qu'il maîtrise les ordres de grandeur.

Dans les deux périodes on demande de ne pas insister sur les détails expérimentaux, on formule une même critique du caractère faussement déductif de l'enseignement. On veut montrer l'originalité des sciences physiques par rapport aux mathématiques abstraites, en insistant sur leur caractère expérimental mais sans toutefois « approfondir les modalités précises de l'intervention de cette composante nécessaire au niveau proprement pédagogique. » [Hulin M., 1992, pp. 97-98]

La référence à l'histoire des sciences

En 1902, au programme des terminales scientifiques est jointe la recommandation aux professeurs
— de faire connaître la vie de quelques grands savants en soulignant non seulement l'importance de leurs travaux, « mais surtout la grandeur morale de leur dévouement à la science » [*B.A.*, 1902, p. 848]. (Les hagiographies vont fleurir !)
— de lire aux élèves quelques pages caractéristiques de leurs œuvres.

Lucien Poincaré insiste sur ces deux points dans sa conférence au Musée Pédagogique. Le passage concernant les mémoires originaux des savants est repris dans l'introduction de la collection des « Classiques de la science » dont la publication commence en 1914.

Avec les travaux de la Commission Lagarrigue, dès le rapport d'orientation de 1971 (présenté par Michel Hulin), est évoquée une collaboration pluridisciplinaire, impliquant historiens et philosophes, qui pourrait être « particulièrement fructueuse dans les sections littéraires » ; mais on souligne immédiatement l'utilité de préparer « à l'intention des professeurs un ouvrage de références traitant de l'histoire des sciences physiques et des techniques » [*Doc. CL*, 1971]. Lors de la présentation orale du rapport la proposition est encore plus nette : « pour les élèves des sections littéraires il *faut* essayer de faire passer l'histoire des sciences ».

L'idée réapparaît dans l'introduction du rapport de 1973 [*Doc. CL*] rédigée par Michel Hulin à la demande d'André Lagarrigue. Si l'objectif est d'initier les élèves aux concepts fondamentaux, aux principes généraux qui guident le physicien, aux modèles microscopiques, on souhaite donner « des indications suffisantes sur les aspects historiques de leur élaboration et de leur évolution ». On a donc ici une orientation fort différente de celle de 1902.

Ainsi, dans l'esquisse de programme de terminale littéraire qu'il propose en février 1974, Roland Omnès introduit [*Arch. CL*, 1974*a*] dans certains thèmes un bref historique. En mai 1974 le groupe de travail de physique formule ses observations ; s'il juge « souhaitable de faire appel à l'histoire des sciences », il rejette « des exposés purement historiques, des études de documents anciens où le vocabulaire scientifique est assez incorrect » et recommande l'emploi des « ouvrages modernes de vulgarisation traitant de l'histoire des sciences » [*Arch. CL*, 1974*b*].

PERMANENCES ET DÉCALAGES

À partir de ces éléments de comparaison des deux réformes on note une permanence dans certains des discours tenus ou des objectifs assignés à l'enseignement, mais leur analyse fait apparaître des décalages divers d'une période à l'autre.

Resterait bien évidemment à prendre en compte les réalités d'application et celles-ci feraient apparaître, pour chacun des moments de réforme, d'autres décalages tel celui entre la formation des professeurs et le contenu des réformes — qui a conduit à des opérations de recyclage des enseignants dans les années 1970. Il conviendrait aussi de considérer le décalage entre « la physique enseignée et la physique pratiquée quotidiennement et telle qu'elle se manifeste en permanence, *via* ses applications technologiques », décalage que pointait en 1970 le communiqué des trois sociétés savantes [*BUP*, 1970, p. 102].

Enfin, si « l'ignorance du public dit *instruit* » en matière de sciences est dénoncée par Gabriel Lippmann [1904, p. 42] dans sa conférence au Musée Pédagogique, le rapport de 1974, préparé par les trois sociétés savantes, remarque que « se perpétue une situation étonnante : *dans son ensemble, notre pays reste fondamentalement "prénewtonien" et même "prégaliléen", en même temps d'ailleurs que s'élargit le fossé entre "techniciens" et "honnêtes gens"* [*Doc. CL*, 1974, p. 104]. Or, dès 1970, ce problème d'une large diffusion de la culture scientifique, était abordé dans le texte qui a servi de base pour le communiqué des trois sociétés savantes ; dans un passage, supprimé dans la version publiée, il était souligné « qu'il importerait d'intégrer au plus tôt au savoir de base du public, et principalement du public jeune, les connaissances fondamentales qui puissent lui assurer une certaine maîtrise intellectuelle des phénomènes techniques » car autrement « comment éviter qu'à brève échéance, notre société ne se cloisonne irrémédiablement : d'un côté ceux qui participent au progrès technique, [...] d'un autre, ceux qui subissent ce progrès ? » [Hulin M., 1992, p. 47].

Cette comparaison en termes de permanences et de décalages, que nous avons menée pour la réforme de 1902 et celle des années 1970, peut être utilement prolongée avec la prise en compte des nouveaux programmes de 1992 en faisant apparaître des *glissements* dans les intentions affirmées.

Ces derniers programmes reprennent certaines orientations présentes dans les travaux de la Commission Lagarrigue avec, par exemple, la recommandation d'inclure « la dimension historique de l'évolution des idées en physique » ou l'affirmation que « cet enseignement ne se limite pas à former de futurs physiciens » mais doit « développer chez l'ensemble des élèves les éléments d'une culture scientifique ». Mais désormais les objectifs poursuivis par l'enseignement font apparaître un glissement dans les orientations. En 1992 l'un des objectifs désormais assignés à l'enseignement est de préparer les élèves à participer aux « choix politiques, économiques, sociaux, voire d'éthique » auxquels doivent procéder nos sociétés en leur fournissant « *un mode d'emploi des sciences et des techniques* ». Cette idée s'est construite dans une réflexion critique de la réforme Lagarrigue que mena Michel Hulin [1985, p. 145 ; 1988*a*, p. 29]. À la *compétence* scientifique largement partagée doit se substituer la *capacité* à gérer le savoir scientifique.

Bibliographie

Arch. CL (Archives de la Commission Lagarrigue, Centre des Archives contemporaines de Fontainebleau, cote 940636/1 et 2), Lettre d'André Lagarrigue au recteur R.Weil, 10 décembre 1971.

Arch. CL (Archives de la Commission Lagarrigue, *ibid.*), Esquisse pour un programme de terminale littéraire par Roland Omnès, 1974*a*.

Arch. CL (Archives de la Commission Lagarrigue, *ibid.*), Examen du projet de programme de terminale littéraire par le groupe de travail de physique, mai 1974*b*.

Arch. SFP (Archives de la Société française de physique), Notes prises aux séances du Bureau et du Conseil par le secrétaire général Francis Netter, 1969.

Abraham (H.), *Recueil d'expériences élémentaires de physique*, Paris, Gauthiers-Villars, 1904.

Ascoli (M.), « Les sciences mathématiques et physiques dans l'enseignement secondaire d'après les conférences au Musée pédagogique », *Revue générale des sciences pures et appliquées*, 1904, pp. 496-505.

Bachelard (G.), *L'activité rationaliste de la physique contemporaine*, Paris, PUF, 1965.

B.A (Bulletin administratif), n° 71, 7 juin 1902, programmes, pp. 739-856.

Belhoste (B.), « L'enseignement secondaire et les sciences. La réforme de 1902 des plans d'études et des programmes », *Revue d'histoire des sciences*, t. XLIII, n° 4, 1990, pp. 371-399.

BUP (Bulletin de l'Union des physiciens), Rapport de la Commission « enseignement » de la Société française de physique : « La nécessaire réforme de l'enseignement des sciences physiques dans le second degré », n° 528, octobre 1970, pp. 99-108.

Doc. CL (Les documents de la Commission Lagarrigue publiés dans *BUP*, n° 597, octobre 1977), Rapport d'orientation présenté par Michel Hulin (octobre 1971), pp. 27-38.

Doc. CL (Les documents de la Commission Lagarrigue, *ibid.*), Évaluation du coût de la réforme (janvier 1973), pp.39-60.

Doc. CL (Les documents de la Commission Lagarrigue, *ibid.*), L'insertion de la réforme de l'enseignement des sciences physiques (mars 1974), pp.101-110.

Dumas (J.-B.), « Rapport présenté au Ministre », *Journal général de l'Instruction publique*, 19 mai 1847, vol.16, pp. 403-417.

Hulin (M.), « Quelques suggestions relatives au programme de physique des terminales scientifiques » (octobre 1973), *Archives personnelles* (extrait publié dans Hulin M., 1992, pp. 69-70).

Hulin (M.), « Quelques suggestions relatives à l'enseignement de la physique dans le second degré » (novembre 1975), publié dans Hulin (M.), 1992, pp. 97-108.

Hulin (M.), « L'enseignement de la physique dans le secondaire : faire le point après 25 ans de réformes » (1985), *ibid.*, pp. 137-145.

Hulin (M.), « Les leçons de la déconvenue » (1988*a*), *ibid.*, pp. 19-24.

Hulin (M.), « De l'activité scientifique au paradigme de l'enseignement » (1988*b*), *Revue du Palais de la Découverte*, n° spécial 40 (actes du colloque « Un siècle de rapports entre la physique et les mathématiques »), 1991, pp.101-113.

Hulin (M.), en collaboration avec O. Betbeder, *Théorie des groupes appliquée à la physique*, Paris, Éditions de physique, 1991.

Hulin (M.), *Le Mirage et la nécessité. Pour une redéfinition de la formation scientifique de base*, Paris, Presses de l'École normale supérieure et Palais de la découverte, 1992.

Hulin (N.), *L'Organisation de l'enseignement des sciences*, Paris, Comité des travaux historiques et scientifiques, 1989.

Hulin (N.), « La constitution et les débuts de la Commission Lagarrigue (1969-1971) ou Du rôle moteur des sociétés savantes », *BUP*, n° 730, janvier 1991, pp. 11-29.

Hulin (N.), « Caractère expérimental de l'enseignement de la physique. XIX^e-XX^e siècles » (1992*a*), *BUP*, n° 748, novembre 1992 et n° 749, décembre 1992, pp. 1403-1415 et 1565-1580.

Hulin (N.), « Le problème de physique : forme, rôle et objectifs. XIX^e- XX^e siècles » (1992*b*), *Histoire de l'éducation*, n° 54, mai 1992, pp. 39-58.

Langevin (P.), « L'esprit de l'enseignement scientifique », *Conférences au Musée pédagogique*, Paris, Imprimerie nationale, 1904, pp.73-95.

Le Chatelier (H.), « Physique générale. La science de l'énergie dans le secondaire », *Revue scientifique (Revue Rose)*, 1894, 4^e série, t. 1, pp. 641-653.

Liard (L.), « Le nouveau plan d'études de l'enseignement secondaire », *Bulletin de l'enseignement secondaire de l'Académie de Toulouse*, 11^e année, n° 8, 1902, pp. 125-133.

Liard (L.), « Les sciences dans l'enseignement secondaire », *Conférences du Musée pédagogique*, Paris, Imprimerie nationale, 1904, pp. v-xiv.

Lippmann (G.), « Le but de l'enseignement des sciences expérimentales », *Conférences du Musée pédagogique*, Paris, Imprimerie nationale, 1904, pp. 29-45.

Omnès (R.), « L'enseignement de physique et celui des mathématiques », *BUP*, n° 552, février 1973, pp. 533-542.

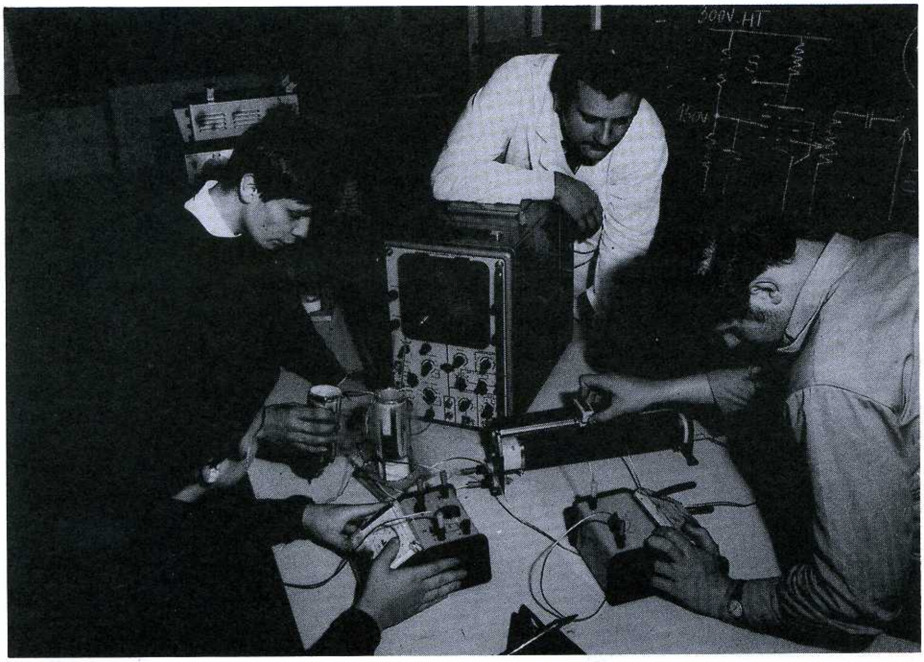
Ostwald (W.), « La déroute de l'atomisme contemporain », *Revue générale des sciences pures et appliquées*, 1895, pp. 953-958.

Perrin (J.), *Les Atomes* (1913), réédition PUF, Paris, 1948.

Picard (É.), *La Science moderne et son état actuel*, Paris, Flammarion, 1914.

Poincaré (L.), « Les méthodes d'enseignement des sciences expérimentales », *Conférences du Musée pédagogique*, Paris, Imprimerie nationale, 1904, pp. 47-70.

RES (*Revue de l'enseignement supérieur*), « Le colloque de Caen », n° 4, 1966, pp. 47-179.



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

La place de la géométrie dans l'enseignement des mathématiques en France : de la réforme de 1902 à la réforme des mathématiques modernes

Rudolf BKOUCHE

La place d'une discipline dans l'enseignement peut être considérée de deux points de vue, d'un point de vue interne et d'un point de vue externe. Le point de vue interne porte sur la discipline à la fois comme domaine particulier de la connaissance et dans ses rapports avec les autres domaines de la connaissance. Le point de vue externe porte sur la signification *sociale* du domaine de la connaissance concernée, en particulier la façon dont celui-ci est perçu à travers les divers lieux où il est censé intervenir (que cette intervention soit réelle ou fantasmatique). Ces deux points de vue ne sont pas sans relations, en ce sens que, d'une part, les conceptions du milieu savant marquent la façon dont est pensé un domaine de la connaissance, d'autre part, ce milieu savant est lui-même influencé par les idéologies qui se développent autour de ce même domaine de la connaissance. C'est à partir de ce double point de vue que l'on peut essayer de comprendre la place des mathématiques dans les réformes de l'enseignement scientifique de ce siècle, de comprendre ce que ces deux réformes ont de commun et ce qui les différencie.

Depuis les Grecs, la géométrie est le modèle de la construction de la rationalité, et par cela même le lieu privilégié de la pensée démonstrative. Les grands traités d'enseignement, en particulier les deux grands manuels de géométrie qui marquent l'enseignement français jusqu'à la réforme de 1970, celui de Legendre et celui de Lacroix écrits dans la dernière décennie du XVIII^{e} siècle, restent fidèles à cette tradition. C'est par rapport à une telle tradition qu'il faut situer la place de la géométrie dans les réformes de 1902 et de 1970, d'autant que, dans les deux cas, l'enseignement de la géométrie se définit en réaction contre elle. Ces remises en question se situent cependant dans des problématiques différentes, autant du point de vue interne que du point de vue externe.

La réforme de 1902

Outre le rôle de la géométrie dans la construction de la connaissance rationnelle, la réforme de 1902 prend en considération son caractère expérimental (E. Borel demanda même l'institution de travaux pratiques de mathématiques dans un article de 1904 [Borel, 1904]), lequel s'inscrit dans le développement scientifique qui se poursuit depuis le XVII^e^ siècle. La géométrie participe ainsi des deux grandes méthodes de l'activité scientifique : la méthode rationnelle et la méthode expérimentale. Ce point de vue se trouve renforcé en 1905, comme le montrent les instructions accompagnant la nouvelle rédaction des programmes :

> « L'enseignement de la géométrie (dans le premier cycle) doit être essentiellement concret [...]. Au point de vue de l'explication des faits, le professeur devra faire appel à l'expérience et admettre résolument comme vérité expérimentale tout ce qui semble évident aux enfants [...] on peut, et cela est désirable, faire sentir dans certains cas, la nécessité d'une démonstration ; mais il ne faut donner cette dernière que si l'élève est convaincu qu'elle est indispensable. On aura ainsi l'occasion de montrer qu'il y a deux certitudes d'ordres différents ; l'une expérimentale, qui appartient aux sciences physiques ; l'autre logique qui est celle des vérités mathématiques ; mais il y aurait un grave inconvénient à donner à cette dernière une importance qu'elle n'a pas dans la réalité et à jeter le discrédit sur la première qui, il faut bien l'avouer, est la seule que nous possédions, puisque les principes mathématiques n'ont pas d'autres fondements, tout au moins pour les élèves. » [Belhoste, 1995, p. 673]

Le texte précise : « Ce qu'il importe de faire ressortir, c'est l'importance du raisonnement logique, pour réduire au minimum les faits expérimentaux », mettant ainsi en avant le rôle organisateur de la logique.

Ce double caractère de la géométrie est marqué, dans l'enseignement d'icelle, par deux points qui apparaissent comme autant de transgressions de la tradition grecque : l'introduction du mouvement dans la géométrie et la fusion de la géométrie plane et de la géométrie dans l'espace.

La géométrie et le mouvement

Le mouvement a été écarté de la géométrie par les Grecs, moins pour des raisons proprement scientifiques que pour des raisons d'ordre métaphysique (encore qu'il ne soit pas facile de distinguer, dans la pensée grecque, le scientifique et le métaphysique). Celles-ci concernent la distinction entre l'être et le devenir, entre ce qui peut être l'objet d'une connaissance rationnelle et ce qui échappe à la rationalité. On peut considérer que le principe fondamental de la géométrie d'Euclide, c'est-à-dire le principe de l'égalité par superposition [1], s'appuie sur le mouvement tout en donnant le moyen de

(1)Dans la traduction de J. Hoüel : « Les grandeurs que l'on peut faire coïncider l'une avec l'autre sont égales entre elles » [Hoüel, 1867, p. 13].

l'évacuer de la géométrie (avec les classiques « cas d'égalité » des triangles) [Bkouche, 1991, p. 187]. Le mouvement reste néanmoins présent dans la géométrie grecque, sinon dans l'exposé dogmatique, du moins dans l'étude des grands problèmes pour lesquels les géomètres grecs introduisent diverses courbes engendrées par le mouvement d'un point [Delattre et Bkouche, 1993].

C'est avec la mathématisation de la mécanique au XVII^e siècle que le mouvement prend sa place dans les sciences rationnelles, intervenant en tant que tel dans le raisonnement géométrique comme on peut le voir par exemple dans le problème des tangentes [Barbin et Itard, 1993]. Cette mathématisation rend possible, au XIX^e siècle, une étude purement géométrique du mouvement, considéré d'abord indépendamment de ses causes (c'est la cinématique [Ampère, 1834, p. 52]), puis en dehors de tout cadre temporel. Cette dernière étude « ne peut pas dépendre d'une autre science que la géométrie » comme l'explique Hoüel qui précise : « Il est avantageux d'introduire cette idée de mouvement géométrique le plus tôt et le plus explicitement possible » [Hoüel, 1867, p. 59].

De telles considérations conduisent Charles Méray à introduire explicitement le mouvement dans ses *Nouveaux Éléments de Géométrie* [Méray, 1874, chapitres III et IV]. Quant aux réformateurs de 1902, en proposant d'exposer la géométrie élémentaire à partir des translations et des rotations [Bkouche, 1991, p. 209-211], ils replacent le mouvement dans le contexte du Programme d'Erlangen qu'ils interprètent comme une conception « dynamique » de la géométrie opposée au point de vue « statique » des Anciens. Ce point de vue, lié à la théorie des groupes, est d'ailleurs vivement critiqué par C. Méray qui n'y reconnaît pas les conceptions développées par lui quelque trente ans plus tôt [Méray, 1907].

La fusion de la géométrie plane et de la géométrie dans l'espace

Notons la dissymétrie entre les deux expressions « géométrie plane » et « géométrie dans l'espace » : la première fait référence au plan, la seconde moins à l'espace lui-même qu'à ce qui a lieu dans l'espace. Si, dans la tradition grecque, le plan est défini en tant qu'objet géométrique, l'espace n'y intervient jamais en tant que tel. Il faut attendre le XVII^e siècle, avec les théories perspectivistes et la géométrisation de la mécanique, pour que celui-ci apparaisse ; encore est-il moins un objet géométrique que le lieu des phénomènes géométriques. « Il [l'espace] ne fait que fournir les lieux que les corps occupent et remplissent » explique Euler dans ses *Lettres à une Princesse d'Allemagne* [Euler, 1772, volume 1, p. 271]. En outre, dans la construction euclidienne, la géométrie plane précède l'étude des situations spatiales, celle-ci s'appuyant sur les résultats de celle-là ; cet ordre euclidien se retrouve dans les grands traités de géométrie élémentaire.

C'est la mise en évidence de « l'alliance intime et systématique entre les figures à trois dimensions et les figures planes » [Chasles, 1837, p. 191] qui a conduit à remettre en cause l'ordre traditionnel. La géométrie des « situations spatiales » apparaît alors plus « naturelle », d'autant qu'elle est celle de la vie pratique (en particulier de la vie professionnelle) comme l'expliquent les partisans de la fusion. Celle-ci est introduite en France par C. Méray dans ses expériences d'enseignement dans les écoles normales de l'Académie de Dijon [Méray, 1874] et, de façon plus systématique, en Italie par L. Cremona qui écrit un ouvrage de géométrie projective à l'intention des élèves des Instituts techniques italiens [Cremona, 1873 ; Candido, 1899 ; Loria, 1905 ; Brussotti, 1950].

La réforme de 1902 adopte la fusion, mais avec modération ; d'une part celle-ci est contraire à la tradition géométrique, d'autre part la géométrie dans l'espace, considérée comme plus difficile que la géométrie plane, ne peut être enseignée que dans un second temps. C'est la position que défend J. Hadamard dans l'avertissement de la seconde édition de ses *Leçons de géométrie élémentaire* publiée à l'époque de la réforme :

> « Que cette fusion soit préférable au point de vue logique, je le veux bien. Mais il me paraît que, pédagogiquement, nous devons penser tout d'abord à diviser les difficultés. Celle de "voir dans l'espace" en est une sérieuse par elle-même, que je ne considère pas comme devant être ajoutée tout d'abord aux autres ». [Hadamard, 1906, p. v]

Le caractère expérimental de la géométrie

Le caractère expérimental de la géométrie marque sa place parmi les sciences de la nature. C'est là un des points forts de la réforme de 1902. Cette conception, que l'on retrouve chez J. Hoüel [Hoüel, 1867, *op. cit.*] comme chez C. Méray, et plus tard dans divers textes de C. Bourlet et de E. Borel, affirme à la fois la part d'empirisme de la connaissance géométrique et le rôle de la rationalité dans le développement de cette connaissance. Elle permet de relier l'aspect théorique et l'aspect pratique de la géométrie, et plus généralement les mathématiques pures et les mathématiques appliquées. Dans une conférence au titre significatif : « La pénétration réciproque des mathématiques pures et des mathématiques appliquées dans l'enseignement secondaire » [Bourlet 1910], prononcée devant la Commission Internationale sur l'Enseignement des Mathématiques (fondée en 1908 sous l'impulsion de F. Klein), C. Bourlet, revenant sur les principes de la réforme de 1902, explique comment les deux courants qui marquent l'activité scientifique se sont rejoints, « l'un partant de l'observation, l'autre du symbolisme pur ». Les mathématiques sont devenues « indispensables à la science appliquée », mais cela n'est que « juste retour » si l'on sait que « c'est dans la Nature qu'elles ont trouvé leurs sources les plus fécondes ». Et C. Bourlet termine sa conférence par ces mots :

> « La limite entre les mathématiques pures et les mathématiques appliquées n'existe pas, car ces deux sciences, loin d'être séparées, doivent sans cesse s'entr'aider et se compléter ».

La fin de la réforme de 1902

La réforme de 1902 subit plusieurs critiques. On peut en avoir une vue d'ensemble dans le débat sur l'enseignement de la philosophie organisé par la Société Française de Philosophie en 1907. La critique principale porte sur le « manque de rigueur » d'un enseignement de la géométrie trop expérimental. Dans l'autre sens, Francisque Marotte reproche aux réformateurs de n'être pas allé assez loin, donnant comme l'exemple des *Élémens de géométrie* de Clairaut [Bourlet et al., 1907].

Les nouveaux programmes de 1923 reviennent à une conception plus classique. En ce qui concerne la géométrie, une place importante est laissée aux transformations dans les classes de mathématiques élémentaires, introduisant à ce que l'on appelait alors la « géométrie moderne » qui s'ajoute ainsi au corpus mis en place par Legendre et Lacroix. Quant à la fusion, qui a été peu acceptée, elle disparaît complètement : la géométrie dans l'espace est étudiée après la géométrie plane et s'appuie sur celle-ci. L'enseignement de la géométrie conserve cependant sa place privilégiée, car il reste, jusqu'à la réforme des mathématiques modernes, le lieu essentiel de la démonstration.

LA RÉFORME DES MATHÉMATIQUES MODERNES

La réforme dite des mathématiques modernes se situe dans un tout autre contexte que celle de 1902, ce que reflète la place (ou la non-place) accordée à la géométrie dans l'enseignement des mathématiques.

Si la géométrie occupe une place cruciale dans la réforme de 1902, c'est qu'elle se situe au carrefour des sciences mathématiques et des sciences de la nature. Le contexte est tout autre dans la seconde moitié du XX^{e} siècle, autant pour des raisons d'ordre interne au domaine mathématique que pour des raisons d'ordre externe ; d'une part la pensée mathématique se renouvelle profondément dans la première partie de ce siècle avec les travaux de l'école hilbertienne et la synthèse bourbakienne, d'autre part se développe une « idéologie des mathématiques partout » [Bkouche, Charlot, Rouche, 1991, première partie]. Cette idéologie, qui voit dans les mathématiques le modèle de toute connaissance, se propose de reconstruire, sur le mode mathématique, les divers domaines du savoir.

Le renouvellement de la pensée mathématique

Les problèmes posés par les géométries non-euclidiennes d'abord, la théorie des ensembles ensuite, ont mis l'accent sur la forme du langage mathématique, et ont laissé en retrait, du moins sur le plan des fondements, le sens des problèmes et des théories. C'est ainsi que D. Hilbert construisit une axiomatique de la géométrie élémentaire d'une façon purement syntaxique, éliminant, en droit sinon en fait, tout recours à ce que F. Gonseth a appelé « les significations extérieures » [Gonseth, 1936]. Seules interviennent dans la construction hilbertienne les assertions primitives de la théorie (les axiomes) et les règles formelles du raisonnement : une assertion énoncée dans le langage de la théorie est valide si et seulement si elle résulte d'une démonstration s'appuyant sur les axiomes et les assertions antérieurement démontrées et sur les règles du raisonnement, à l'exclusion de tout recours à l'intuition [Hilbert, 1899]. Une telle conception conduit à mettre en valeur « l'architecture des mathématiques » : la construction des mathématiques se réduit à la mise en place des grandes structures, les « structures-mères » (structures d'ordre, structures algébriques, structures topologiques), et l'activité du mathématicien consiste à étudier les interactions entre ces diverses structures [Bourbaki, 1948].

Dans cette nouvelle mathématique, les objets disparaissent derrière les relations. Si les mathématiques classiques s'intéressaient aux objets (que ceux-ci participent des idées platoniciennes ou soient issus de l'expérience sensible importe peu ici), en s'efforçant de mettre à jour leurs relations, les mathématiques contemporaines issues des travaux de D. Hilbert se préoccupent essentiellement des relations elles-mêmes, les objets n'étant définis que par ces relations. On est ainsi passé du primat des objets au primat des relations. C'est en ce sens qu'on peut parler de formalisme. Mais celui-ci est d'abord un formalisme méthodologique : il a permis de répondre à « la crise des fondements », laquelle fut d'abord, une crise de légitimité du raisonnement [Cavaillès, 1937]. Ainsi s'impose un nouveau mode de légitimation du raisonnement mathématique intégrant et renouvelant les mathématiques classiques et ouvrant de nouveaux champs de recherches, comme le montre le développement des mathématiques au XX^{e} siècle.

Pourtant, derrière le discours, les significations extérieures sont restées présentes. C'est ce qu'explique F. Gonseth lorsqu'il se propose de définir le degré d'autonomie du théorique par rapport à la connaissance intuitive et à la connaissance expérimentale [Gonseth, 1936]. C'est encore ce qu'explique D. Hilbert dans un ouvrage trop longtemps méconnu en France (il ne fut jamais traduit en français !) dont le titre *Anschauliche Geometrie* (traduction anglaise : *Geometry and Imagination*) est significatif [Hilbert, Cohn-Vossen, 1932] ; D. Hilbert y parle des deux tendances du développement scientifique, d'une part « la tendance vers l'abstraction » avec l'étude des relations logiques qui structurent et ordonnent le matériau étudié, d'autre part « la tendance vers la compréhension intuitive » des objets étudiés.

Ce double aspect des mathématiques a été ignoré lors de la réforme des mathématiques modernes. Les aspects formels ont pris une place prépondérante, voire la seule, dans l'enseignement des mathématiques. Il est vrai que l'efficacité et la fécondité des méthodes formalistes dans le développement des mathématiques au XX^{e} siècle pouvaient conforter une telle position. Il faut y ajouter la lecture formaliste des ouvrages de Bourbaki par des étudiants enthousiastes qui découvraient, dans les années cinquante et soixante, après une formation classique, le nouveau paysage mathématique, ces étudiants qui sont devenus les enseignants des années soixante-dix.

Le problème qui se posait alors était celui du renouvellement de l'enseignement pour permettre un accès rapide à cette nouvelle mathématique, « la mathématique vivante », pour reprendre une expression d'A. Revuz, l'un des pères de la réforme en France [Revuz, 1963]. G. Walusinski, présentant le courant réformateur, expliquait la nécessité de « diminuer l'écart entre la mathématique qui s'enseigne et la mathématique qui se crée par la recherche » [Walusinski, 1970, p. 35]. Cet appel à enseigner la mathématique vivante nous amène à considérer les raisons d'ordre idéologique et culturel qui justifiaient la réforme.

L'idéologie des mathématiques partout

On ne peut comprendre en effet la réforme des mathématiques modernes en s'en tenant au seul point de vue interne. Ce qui marque la réforme, c'est ce que j'ai appelé ci-dessus l'idéologie des mathématiques partout « Aujourd'hui, ce qui est devenu difficile, c'est de trouver une activité où l'on soit assuré de ne jamais avoir recours à quelque idée, à quelque technique mathématique », affirme G. Walusinski [Walusinski, 1970, p. 9]. Par cela même leur apprentissage devient nécessaire pour comprendre le monde.

À l'origine de cette idéologie des mathématiques partout, notons, entre autres, le développement des sciences humaines et le désir d'icelles d'affirmer leur scientificité en mimant les sciences de la nature, en particulier en recourant aux mathématiques. Signe de ce désir de scientificité, paraît en 1967 l'ouvrage *Mathématiques et Sciences Humaines* de Marc Barbut. Dans la préface de ce livre, le psychologue Paul Fraisse explique d'une part la nécessaire mathématisation des sciences humaines et d'autre part l'adéquation des mathématiques contemporaines (celles des structures) à ces sciences humaines [Barbut, 1967].

La réforme de 1902 consacrait la place des mathématiques dans la connaissance de la nature ; la réforme de 1970 insiste, elle, sur le rôle que jouent les mathématiques dans la connaissance elle-même.

Si les mathématiques deviennent la condition de cette connaissance, le langage mathématique doit prendre une place essentielle dans l'élaboration de la connaissance, se situant, selon G. Walusinski, parmi les quatre langages fondamentaux du monde moderne : langue maternelle, langues étrangères, langage de la technologie et mathématique considérée comme la langue universelle [Walusinski, 1970, p. 17] ; l'enseignement des mathématiques devient ainsi l'apprentissage d'un langage, langage universel de la connaissance. Cette universalité affirmée des mathématiques est l'un des points fondamentaux de la réforme. Les mathématiques sont considérées comme un instrument essentiel de la compréhension et de la maîtrise du monde ; c'est pourquoi elles doivent être enseignées à tous, et cela dans leur version moderne, celle des structures. Cette idéologie des mathématiques partout et des mathématiques pour tous est confortée par les découvertes de la pédagogie scientifique. G. Walusinski évoque ainsi « [...] l'heureuse conjonction des idées dites modernes, en mathématiques, et des découvertes des sciences de l'éducation sur la formation des concepts dans l'esprit de l'enfant ainsi que sur les techniques des divers apprentissages » [Walusinski, 1970, p. 20]. Cette pédagogie scientifique qui affirme une harmonie entre la construction de la pensée chez l'enfant et « la mathématique moderne » est fondée sur l'épistémologie génétique de J. Piaget.

L'épistémologie génétique de Piaget

Avec l'épistémologie génétique, J. Piaget entend faire entrer l'épistémologie dans le domaine scientifique. Dans la préface de son ouvrage *L'Épistémologie génétique*, il rappelle que la psychologie expérimentale, la sociologie et la logistique (la logique algébrique) se sont déjà émancipées de la philosophie pour se constituer en sciences. Il se propose alors d'examiner « à quelles conditions il pourrait en être ainsi de l'épistémologie génétique, ou théorie de la connaissance scientifique fondée sur l'analyse du développement même de cette connaissance », ce qui implique « de chercher s'il est possible d'isoler l'objet d'une telle discipline et de constituer des méthodes spécifiques, propres à trouver la solution de ses problèmes particuliers ». [Piaget, 1950, tome 1, p. 13]

L'épistémologie génétique, constituée comme approche scientifique de la connaissance, doit donc délimiter l'objet qu'elle étudie. C'est ce qui amène J. Piaget à élaborer un modèle de sujet connaissant, sujet réduit à un ensemble de processus cognitifs, ensemble organisé par la théorie des stades [Piaget, 1970]. Dans ce cadre, J. Piaget met l'accent sur l'analogie entre les structures qui sous-tendent le développement des connaissances mathématiques chez l'enfant et les structures mathématiques telles qu'elles sont définies par N. Bourbaki dans son article-programme de 1948 [Bourbaki, 1948] ; les structures-mères de Bourbaki deviennent ainsi la marque de structures cognitives profondes. Il suffit de lire les textes de J. Piaget et de J. Dieudonné dans l'un des premiers ouvrages où se dessine une réflexion sur la réforme [Piaget et al., 1955] pour comprendre comment s'est mise en place cette analogie qui n'est peut-être qu'un profond malentendu sur l'usage du terme et de la notion de structure.

L'harmonie entre le développement des mathématiques contemporaines et l'apprentissage des mathématiques, qui semble ainsi se dégager, conduit J. Piaget et ses disciples à chercher dans la construction bourbakienne les éléments d'une pédagogie des mathématiques. Cette construction y apparaît moins comme un moment de l'histoire des mathématiques que comme le mode de structuration de la pensée mathématique elle-même. L'apprentissage des mathématiques passe ainsi par l'apprentissage des structures-mères à la base des mathématiques selon Bourbaki.

J. Piaget peut alors expliquer la construction de la connaissance géométrique chez l'enfant d'un point de vue structural : les structures topologiques précèdent les structures projectives, lesquelles précèdent les structures métriques. La connaissance géométrique se construit ainsi selon un schéma correspondant au Programme d'Erlangen. Les mathématiques contemporaines en adoptant le point de vue structural retrouvent l'ordre naturel de la construction de la connaissance, contrairement à l'ordre historique qui s'est d'abord appuyé sur la géométrie grecque. J. Piaget justifie l'antériorité des structures sur les éléments qu'elles ordonnent :

> « Si, historiquement, ces éléments semblent donnés antérieurement à la découverte de la structure, et si cette dernière joue ainsi essentiellement le rôle d'un instrument réflexif destiné à dégager leurs caractères les plus généraux, il ne faut pas oublier que, psychologiquement, l'ordre de la prise de conscience renverse celui de la genèse : ce qui est premier dans l'ordre de la construction apparaît en dernier à l'analyse réflexive, parce que le sujet prend conscience des résultats de la construction mentale avant d'en atteindre les mécanismes intimes ». [Piaget et al., 1955, p. 14]

Un enseignement conforme aux conceptions piagétiennes privilégie les structures au dépens des contenus. C'est dans ce contexte qu'il faut comprendre l'enseignement (ou le non-enseignement) de la géométrie.

La place de la géométrie

Avec le point de vue structural la géométrie élémentaire devient un simple chapitre de l'algèbre linéaire. Cette approche, préconisée pour l'apprentissage de la géométrie, pose le problème des moyens pédagogiques pour y parvenir [Choquet, 1964 ; Dieudonné, 1964]. G. Choquet cherche à mettre en place une axiomatique à la portée des élèves, tandis que J. Dieudonné, plus radical dans sa présentation de la géométrie, renvoie à une première approche expérimentale au sens de G. Papy [Papy, 1963].

Selon Bourbaki, la géométrie a achevé son histoire comme science autonome, se transfigurant « en un langage universel de la mathématique contemporaine, d'une souplesse et d'une commodité incomparables » [Bourbaki, 1974 p. 172]. La géométrie est cependant bien plus qu'un simple langage. Elle a permis, comme l'explique J. Dieudonné, le développement de nouvelles formes d'intuition par lesquelles se réalise « la domination universelle de la géométrie » [Dieudonné, 1980]. Mais cette nouvelle forme d'universalité de la géométrie s'inscrit dans sa propre histoire avec la linéarisation de la géométrie élémentaire, ce qui permet en retour la géométrisation des divers domaines des mathématiques dans lequel intervient le linéaire [Bkouche, 1992a]. Cela permet de comprendre la place restreinte et pourtant essentielle de la géométrie dans l'enseignement des mathématiques : restreinte, car la géométrie élémentaire disparaît derrière sa représentation structurale, son enseignement s'intégrant au lycée dans un enseignement de l'algèbre linéaire ; essentielle, car elle devient une clé de lecture des mathématiques contemporaines.

Si un tel enseignement occultait les raisons de ce dernier aspect de la géométrie — et cette occultation constituera l'une des difficultés de la réforme —, il s'appuyait sur deux des principes qui guidaient la réforme. D'une part, il fallait arriver de la façon la plus économique à la mathématique d'aujourd'hui et la présentation de la géométrie *via* l'algèbre linéaire permettait cette économie ; d'autre part, l'analogie piagétienne entre le point de vue structural des mathématiques et la construction de connaissance justifiait cette présentation.

L'enseignement des mathématiques modernes

Les programmes mis en place par la réforme s'articulent essentiellement sur l'ordre structural [Bkouche, 1992b]. La mathématique unifiée par le point de vue structural s'appuie sur la théorie des ensembles. L'enseignement du collège développe « une théorie naïve des ensembles » (opérations sur les ensembles, relations et applications). L'exposé se réduit cependant à la mise en place d'un vocabulaire que l'on s'efforce d'illustrer par des exemples concrets qui ont souvent bien peu de rapport avec les mathématiques, mais qui participent de l'universalité affirmée des mathématiques. L'algèbre ensuite est privilégiée, dans la mesure où elle est censée fonder l'activité mathématique contemporaine. On enseigne ainsi, dès le collège, la notion de loi de composition, en particulier la notion de groupe, et l'on subordonne l'enseignement de la géométrie à l'algèbre. Enfin, on introduit au collège la notion de nombre réel, un nombre réel étant défini comme une suite décimale limitée ou illimitée. C'est seulement après avoir introduit **R** que l'on peut définir la notion de droite et développer la géométrie et, au lycée, les éléments d'analyse.

Un tel programme a abouti à l'échec que l'on sait, échec qui a été diversement interprété. Certains réformateurs l'ont mis sur le compte d'un manque de préparation des enseignants, malgré l'effort de recyclage entrepris par les nouveaux Instituts de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques (IREM) mis en place pour accompagner la réforme. D'autres, telle l'Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public, ont rejeté la responsabilité de l'échec sur l'institution. Celle-ci aurait détourné les idées de la réforme vers un formalisme stérile pour faire des mathématiques un instrument de sélection (ce que l'enseignement des mathématiques est effectivement devenu dans les années soixante-dix, mais cela était déjà inscrit dans la réforme Fouchet de 1963 avec la création des terminales C).

Formalisme stérile, transformation des mathématiques en instrument de sélection, comment la réforme a-t-elle pu produire des effets si contraires aux intentions des réformateurs ? Si l'institution a pu utiliser la réforme pour mettre en place une sélection par les mathématiques, c'est que, d'une certaine façon, elle s'y prêtait en prônant les mathématiques partout et les mathématiques pour tous. D'une part, le point de vue formaliste réduisait l'enseignement à la seule présentation du « bon » discours, ce que j'ai appelé « l'illusion langagière », occultant ainsi le sens des mathématiques enseignées. D'autre part l'échec en mathématiques est devenu un échec social : si les mathématiques sont partout, celui qui échoue en mathématiques est incapable de comprendre le monde et ne peut que dépendre de ceux qui possèdent ce savoir fondamental, paradoxe d'un humanisme qui fonde ses valeurs sur la seule connaissance scientifique [Bkouche, Charlot, Rouche, 1991, première partie].

L'après-réforme

Au milieu des années soixante-dix on prend peu à peu conscience, d'une part du rôle joué par les mathématiques dans l'échec scolaire et le renforcement de la sélection, d'autre part de la perte de sens d'un enseignement qui privilégie les structures au dépens des contenus. Il faut y ajouter la marque d'une idéologie du « retour au concret », idéologie qu'il faut relier à ce que Jean-François Lyotard a appelé la fin des grands récits [Lyotard, 1985 ; Bkouche 1992*b*].

L'enseignement de l'après-réforme est le produit d'une contre-réforme. Elle oppose aux excès de la réforme ses propres excès, tendant à une dé-théorisation de l'enseignement des mathématiques. La réforme des mathématiques modernes a conduit à confondre développement théorique et construction axiomatique, réduite à son seul aspect hilbertien ; une telle confusion a abouti à nier tout caractère théorique aux constructions ne relevant pas d'une axiomatique de type hilbertien. En refusant, non sans raison, un enseignement fondé sur une telle axiomatique, la contre-réforme a minimisé, sinon éliminé, tout aspect théorique de l'enseignement des mathématiques. Elle oubliait ainsi l'histoire des mathématiques et, pour ce qui concerne l'enseignement de la géométrie, une tradition bien antérieure à la réforme de 1970 [Bkouche, Charlot, Rouche, 1991, chapitre 4].

On constate ainsi une perte progressive de la cohérence globale au profit d'une définition des programmes années par années. Mais l'enseignement donné pendant une année n'a de sens que dans le projet global dans lequel il s'inscrit. Si les non-dits s'accumulent, chaque année impose sa marque à l'année suivante, ce qui se traduit essentiellement par des allègements de programmes. Ces allègements ne rendent pas toujours facile la tâche des élèves, tant ils leur enlèvent les moyens d'une activité mathématique quelque peu consistante.

Du point de vue pédagogique, le retour au concret prôné par la contre-réforme marque la fin de l'illusion langagière qui portait la réforme des mathématiques modernes, et s'accompagne d'une nouvelle forme de pédagogie que l'on pourrait appeler l'activisme pédagogique [Bkouche, 1992*b*].

L'illusion langagière naît de la croyance que la bonne forme du discours suffit pour en assurer la compréhension ; c'est cette illusion qui a provoqué la réforme des mathématiques modernes. Il suffisait en effet que le langage soit en forme. On demandait en fait seulement aux enseignants de s'appuyer sur la mise en forme que le renouvellement hilbertien avait permis.

L'activisme pédagogique, par réaction contre cette illusion, propose au contraire de mettre l'accent sur l'activité des élèves. Au « dire » du professeur, on oppose le

« faire » des élèves, sans que le statut de ce faire soit bien défini. Les contenus perdent ainsi de leur importance au profit des méthodes. Mais dans cet enseignement des méthodes, contrairement à l'époque des mathématiques modernes, c'est l'activité des élèves qui est mise en avant. Le sujet cognitif « à la Piaget » semble avoir disparu pour laisser la place a un nouveau sujet cognitif, lequel construit de la connaissance *via* la réalisation de tâches bien définies. Avec la fin du grand récit de la science, le paradigme piagétien laisse ainsi la place aux divers paradigmes liés au développement des nouvelles sciences cognitives et à l'influence de l'informatique sur les conceptions pédagogiques.

C'est dans ce contexte que l'on assiste au retour de la géométrie dans l'enseignement, sensible à la lecture des programmes issus de la dernière en date des réformes (la réforme Chevènement mise en chantier en 1984).

L'élimination de la géométrie, réduite à un chapitre de l'algèbre linéaire dans les programmes des mathématiques modernes, a été ressentie comme un manque dans une formation mathématique cohérente, d'autant que les mathématiques contemporaines ainsi que les nouvelles technologies informatiques font appel à des connaissances géométriques sophistiquées. Mais l'enseignement de la géométrie de l'après-réforme, marqué par l'activisme pédagogique, manque de cohérence comme le montre une lecture attentive des programmes et des commentaires qui les accompagnent. Certaines pratiques pédagogiques nous obligent à nous interroger sur la signification d'un tel enseignement : acquisition d'une connaissance de la géométrie élémentaire ou simple prétexte à pédagogie ? Quant à l'insistance sur le concret et à la méfiance envers toute théorisation qui se manifestent autant dans les discours sur l'enseignement que dans certaines pratiques pédagogiques, elles posent la question même du sens d'un enseignement scientifique [Bkouche, 1992*a*].

Par ailleurs, la nécessaire critique de l'idéologie des mathématiques partout s'est trop souvent exprimée par une méfiance envers les mathématiques elles-mêmes, voire envers l'abstraction, mettant ainsi en cause la définition même d'une formation scientifique. De ce point de vue, la fin du grand récit, au sens de Jean-François Lyotard, marque une remise en cause, dans l'enseignement, de la tradition scientifique elle-même, autant celle du mathématisme grec que celle de l'empirisme des Lumières où caractère expérimental et mathématisation s'appuyaient l'un sur l'autre. On notera que cette critique de la place des mathématiques dans l'enseignement se situe dans une société marquée par un développement technique qui repose lui-même sur l'abstraction et la mathématisation. Autant dire que c'est la démocratisation de l'enseignement scientifique qui est en cause, nous y reviendrons.

COMPARAISON DES PRINCIPES DES DEUX RÉFORMES

D'une certaine façon, l'enseignement de la géométrie nous éclaire sur les points de convergence et les points de divergence des deux réformes. Les réformateurs de

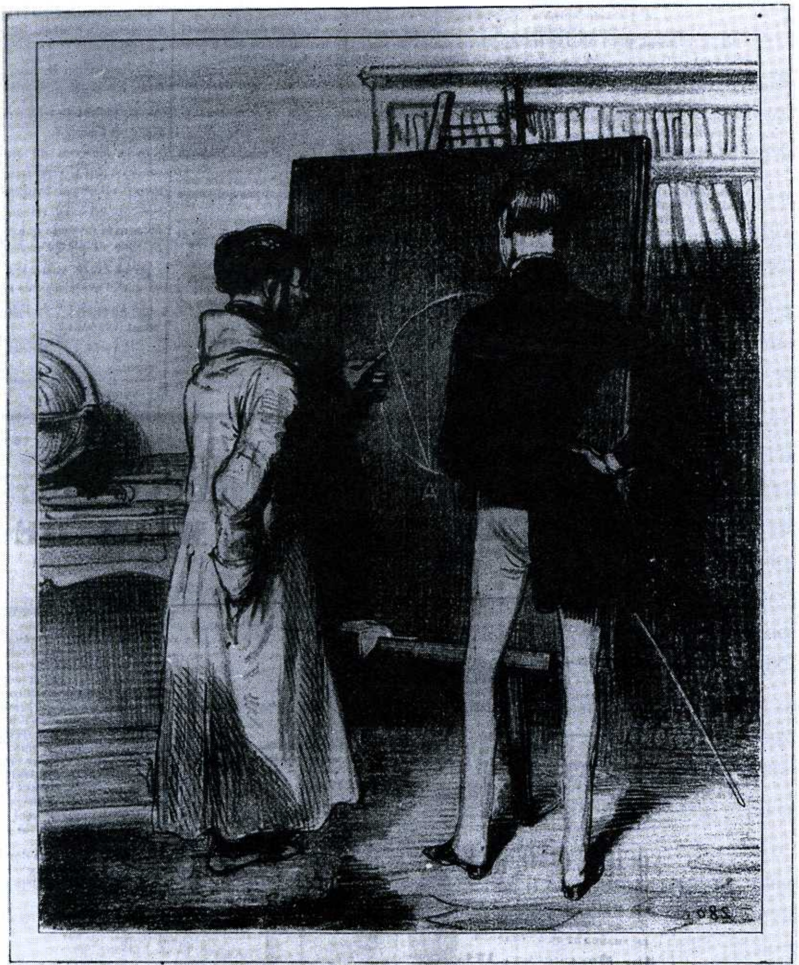
1902 se montraient proches de l'empirisme des Lumières lorsqu'ils insistaient sur le caractère expérimental des mathématiques. Les mathématiques participent des sciences de la nature non seulement parce qu'elles permettent la connaissance du monde mais parce que c'est à travers l'étude de la nature que se construisent les mathématiques. La géométrie qui constitue l'ossature de l'enseignement des mathématiques participe ainsi autant des sciences physiques que des sciences mathématiques. Il y a adéquation entre sciences mathématiques et sciences de la nature et cette adéquation doit être prise en compte par l'enseignement des sciences.

C'est une toute autre conception qui anime les réformateurs de 1970, dans laquelle nous distinguerons trois points forts. Le premier, l'efficacité du formalisme hilbertien, a permis l'explosion mathématique que l'on sait. Le pas fut vite franchi qui voulut voir dans le formalisme, bien plus qu'une méthode, l'essence même des mathématiques ; l'enseignement des mathématiques s'en trouvait par là même transformé. Le second point fort, l'unification des mathématiques, apporte une meilleure compréhension d'icelles ; cela implique que les principes de l'unité des mathématiques apparaissent dans l'enseignement, conformément au dogme piagétien sur l'analogie entre structures mathématiques et structures cognitives. Enfin, l'idéologie des mathématiques partout s'appuie sur une distinction entre les mathématiques et leurs applications, distinction elle-même liée à la conception formaliste : l'adéquation ne se situe pas dans la réalité empirique mais dans la forme du discours. Les mathématiques se présentent ainsi comme le langage adéquat pour le développement de la connaissance.

Cependant, malgré ces différences de conception, ces deux réformes relèvent toutes deux d'un humanisme scientiste ancré dans la tradition des Lumières. D'abord, les réformateurs de 1902 comme ceux de 1970 considèrent que les mathématiques participent de la compréhension du monde. En ce sens, elles doivent être enseignées à tous. Ensuite, les deux réformes s'inscrivent dans une tradition selon laquelle l'économie d'une société industrialisée exige une qualification qui soit à la fois d'un niveau élevé et largement partagée. S'affirme un principe d'harmonie entre le progrès des connaissances, le progrès économique et l'humanisme [Condorcet, 1791] dont les réformateurs se réclament aussi bien en 1902 qu'en 1970. Les deux réformes revendiquent ainsi un même idéal de partage du savoir et de démocratisation de l'enseignement. Reste que le développement industriel semble avoir montré le peu de pertinence du principe d'harmonie, que ce soit avec le développement du taylorisme ou avec le développement de l'informatisation. La question se pose alors de savoir dans quelle mesure ce principe d'harmonie correspond à la réalité ou relève du mythe ou de l'utopie sociale.

Si la réforme de 1902 a vu le jour à une époque où le principe d'harmonie gardait encore sa force idéologique, il n'en est plus de même à l'époque des mathématiques modernes. Cette dernière réforme s'est réalisée dans le cadre de la réforme Fouchet, laquelle marque une première rupture avec le principe d'harmonie ; c'est cette réforme qui institue les mathématiques comme instrument de sélection scolaire, sélection bien plus forte que la classique sélection par les humanités dans la mesure où, représentant l'instrument de la modernité technique, les mathématiques apportent une justification rationnelle à la hiérarchie sociale. À cet égard, la réforme Fouchet marque un arrêt dans la démocratisation de l'enseignement (si l'on considère que la démocratisation de l'enseignement est d'abord partage du savoir), ouvrant la voie à l'école duale d'aujourd'hui.

Si l'École de la Troisième République distinguait deux réseaux d'enseignement, le réseau Secondaire-Supérieur et le réseau Primaire-Professionnel [Baudelot-Establet, 1970], ces deux réseaux étaient cependant chacun porteurs de savoirs, socialement hiérachisés il est vrai, le savoir du baccalauréat et des études universitaires pour les uns, le savoir du certificat d'études pour les autres, mais savoirs réels. L'École duale d'aujourd'hui marque, quant à elle, la distinction entre une école dispensatrice de savoir, qui se donne pour objectif la formation des élites, et une école-garderie, qui distribue une illusion de savoir. C'est ainsi la place du savoir dans l'enseignement qui est en question. La réforme des mathématiques modernes dans l'enseignement est l'une des dernières grandes manifestations de la tradition des Lumières. C'est aussi la fin de cette tradition. Et l'on a dit combien la contre-réforme participe de cette remise en question de la tradtion des Lumières, mais ce n'est pas ici le lieu de développer ce point.



Chez Bauger R. du Croissant 16. Imp. d'Aubert & Cie

Supplice de la Géométrie.

APPLIQUÉ A UN JEUNE CHRÉTIEN QU'UNE VESTALE ATTENDAIT AU CIRQUE.

« Nous Allons voir maintenant qu'un angle BAC, dont le sommet A est à un point de la circonférence, à pour mesure la moitié de l'arc CB compris entre ses côtés. Et nous passerons aux théorèmes suivans... »

collection Roger Viollet

Bibliographie

Ampère (A.-M.), *Essai sur la Philosophie des Sciences*, Paris, 1834 ; rééd. Bruxelles, 1966.

Barbin (É.) et Itard (G.), « Le courbe et le droit » in Commission Inter-IREM Épistémologie, *Histoires de Problèmes, Histoire des Mathématiques*, Ellipses, Paris, 1993, pp. 113-137.

Barbut (M.), *Mathématiques des Sciences Humaines*, PUF, Paris, 1967.

Baudelot (C.) et Establet (R.), *L'École capitaliste en France*, Maspéro, Paris, 1970.

Belhoste (B.), *Les Sciences dans l'Enseignement Secondaire Français: textes officiels*, tome 1: 1789-1914, INRP et Éditions Économica, Paris, 1995.

Bkouche (R.), « Variations autour de la réforme de 1902/1905 », in H. Gispert et al., *La France mathématique*, Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences, n° 34, Paris, 1991, pp. 181-213.

Bkouche (R.), « Le retour de la géométrie » in *Universalia*, 1992*a*, pp. 293-295.

Bkouche (R.), « L'enseignement des mathématiques en France, 1970-1990 » in *La Science au Présent*, volume 2, Encyclopédia Universalis, Paris, 1992*b*, pp. 491-493.

Bkouche (R.), Charlot (B.), Rouche (N.), *Faire des mathématiques : le plaisir du sens*, Armand Colin, Paris, 1991.

Borel (É.), « Les exercices pratiques de mathématiques dans l'enseignement secondaire », in Conférences du Musée pédagogique, Paris, 1904, pp. 107-131, rééd. in *Œuvres*, tome 4, CNRS, Paris, 1972, pp. 2225-2254.

Bourbaki (N.), « L'architecture des mathématiques », in *Les grands courants de la pensée mathématique* (présentés par François Le Lionnais), Cahiers du Sud, Paris, 1948 ; réimpr. Blanchard, Paris, 1962, pp. 35-47.

Bourbaki (N.), *Éléments d'histoire des mathématiques*, Hermann, Paris, 1974.

Bourlet (C.), « La pénétration réciproque des mathématiques pures et des mathématiques appliquées dans l'enseignement secondaire » (conférence à la réunion de la Commission internationale sur l'enseignement des mathématiques), *L'Enseignement mathématique*, tome 12, 1910, pp. 372-387.

Bourlet (C.) et al., « L'Enseignement de la géométrie », *Bulletin de la Société française de philosophie*, tome 7, 1907, pp. 225-261.

Brussotti (L.), « Questioni Didattiche » in *Enciclopedia delle Matematiche Elementari*, vol. III, parte II, a cura di Luigi Berzalari, Ulrico Hoepli, Milano, 1950.

Candido (G.), « Sur la fusion de la planimétrie et de la stéréométrie », *L'Enseignement mathématique*, tome 1, 1899, p. 204.

Cavaillès (J.), *Méthode axiomatique et formalisme*, Paris, 1937 ; rééd. Hermann, Paris, 1981.

Chasles M.), *Aperçu historique sur l'origine et le développement des méthodes en géométrie*, Paris, 1837 ; rééd. Gabay, Paris, 1989.

Choquet (G.), *L'Enseignement de la géométrie*, Hermann, Paris, 1964.

Condorcet, « Cinq mémoires sur l'instruction publique », *Bibliothèque de l'homme public*, 1791, rééd. GF-Flammarion, Paris, 1994.

Cremona (L.), *Elementi di Geometria Projettiva*, Rome, 1873 ; traduction française par Dewulf, *Éléments de Géométrie Projective*, Gauthier-Villars, Paris, 1875.

Delattre (J.) et Bkouche (R.), « Pourquoi la règle et le compas » in Commission Inter-IREM Épistémologie, *Histoires de Problèmes, Histoire des Mathématiques*, Ellipses, Paris, 1993, pp. 87-112.

Dieudonné (J.), *Algèbre linéaire et géométrie élémentaire*, Hermann, Paris, 1964.

Dieudonné (J.), *The Universal Domination of the Geometry*, International Congress of Mathematical Education, Berkeley, 1980.

Euler (L.), *Lettres à une Princesse d'Allemagne*, 1772 ; rééd. précédées de l'Éloge d'Euler par Condorcet et annotées par Cournot, 2 vol., Hachette, Paris, 1842.

Gonseth (F.), *Les Mathématiques et la réalité,* 1936 ; rééd. Blanchard, Paris, 1974.

Hadamard (J.), *Leçons de géométrie élémentaire,*2 vols, 2e édition, Armand Colin, Paris, 1906.

Hilbert (D.), *Grundlagen der Geometrie*, Leipzig, 1899, 7e éd. 1930, trad. française (7e éd.) : *Les Fondements de la géométrie,* Dunod, Paris, 1971.

Hilbert (D.) et Cohn-Vossen (S.), *Anschauliche Geometrie,* 1932, trad. anglaise *Geometry and Imagination,* Chelsea, New York, 1952.

Hoüel (J.), *Essai critique sur les principes fondamentaux de la géométrie élémentaire*, Gauthier-Villars, Paris, 1867.

Loria (G.), « Sur l'enseignement des mathématiques élémentaires en Italie », *L'Enseignement mathématique*, tome 7, 1905, p. 11.

Lyotard (J.-F.), « Histoire universelle et différences culturelles », *Critique*, n° 456, 1985.

Méray (C.), *Nouveaux Éléments de géométrie*, Savy, Paris, 1874 ; rééd., Jobard, Dijon, 1903.

Méray (C.), « Mes "Nouveaux éléments de géométrie" », *Revue Scientifique* (Revue Rose), 5e série, tome 7, 1907, pp. 103-198 et 231-247.

Papy (G.) et Papy (F.), *Mathématique moderne*, I, Didier, Bruxelles et Paris, 1963.

Piaget (J.), *Introduction à l'épistémologie génétique*, PUF, Paris, 1950 ; rééd. 1973.

Piaget (J.), *L'Épistémologie génétique*, Que sais-je ?, PUF, Paris, 1970.

Piaget et al., *L'Enseignement des mathématiques*, publié par la CIEAEM (Commission International pour l'étude et l'Amélioration de l'Enseignement des Mathématiques), Delachaux et Niestlé, Neuchâtel Paris, 1955.

Revuz (A.), *Mathématique moderne, Mathématique vivante*, OCDL, Paris, 1963.

Walusinski (G.), *Guide Blanc : pourquoi une mathématique moderne ?* Armand Colin, Paris, 1970.

L'évolution des conceptions des physiciens et l'enseignement des circuits électriques

Samuel JOHSUA

Dans l'histoire d'une « discipline scolaire », au sens de A. Chervel [1988], peut-on se contenter de suivre les formulations successives des programmes et instructions officiels d'un côté, les élaborations des pédagogues de l'autre ? N'y a t-il pas quelque intérêt à considérer aussi ce qui se passe à l'interface de ces deux institutions, dans cet entre-deux que Y. Chevallard [1985] appelle la *noosphère*, sphère qui regroupe « ceux qui pensent les problèmes d'enseignement ? »

Au moins pour une discipline comme la physique, hautement complexe et structurée, on peut s'attendre en effet à une alchimie particulière ayant cours dans la dite noosphère, avec — c'est le point important ici — une influence marquée des « savants », c'est-à-dire des spécialistes non-scolaires de la discipline. Sinon de leur influence directe et personnelle, au moins de celle de leurs porte-parole, et des idées dominantes qu'ils colportent sur la « nature profonde » de la discipline. Des études de ce type existent en mathématiques [Chevallard et Johsua, 1982], en biologie [Grobois, Ricco et Sirota, 1992]. Concernant les sciences physiques, les travaux de Nicole Hulin [Hulin, 1982 ; 1984 par exemple] nous fournissent un bon cadre d'ensemble qui permet d'essayer de mener des micro-études, plus pointues, sur un objet d'enseignement précis.

C'est ce que nous essaierons de faire ici, dans le domaine restreint des *circuits électriques*. Ce choix est motivé par deux types de raison :

— l'objet « circuits électriques » a une longévité certaine sur la période considérée, présent qu'il est dans tous les programmes depuis 1902 ;

— les travaux de didactique ont bien balisé les obstacles cognitifs liés aux concepts mis en jeu dans le domaine (parmi une très riche littérature, on pourra consulter [Tiberghien et Delacôte, 1976 ; Closset, 1983 ; Dupin et Johsua, 1986]). Tout en se gardant de tout anachronisme, cela permet de questionner d'un point de vue nouveau des affirmations pédagogiques plus anciennes.

Précisons d'emblée ici les points marquants qui vont être développés. De 1902 à nos jours, on peut noter au moins quatre façons différentes d'aborder l'étude des « circuits électriques ». Pourtant, tout au long de la période qui nous intéresse, certaines options de base demeurent communes aux auteurs, et cela explique sans doute que des traits caractéristiques puissent demeurer inchangés. Il y a en fait certains traits communs à toutes ces introductions. De même, il y a en permanence des pressions pour des changements, mais seuls certains changements sont permis, s'appuyant sur certains critères de sélection. Parmi les traits communs, certains sont liés à de véritables règles de changement, que nous chercherons à définir au mieux, à partir des débats qui ont présidé au passage du programme de 1902 à celui de 1925.

LES QUATRE INTRODUCTIONS DE L'ÉLECTROCINÉTIQUE

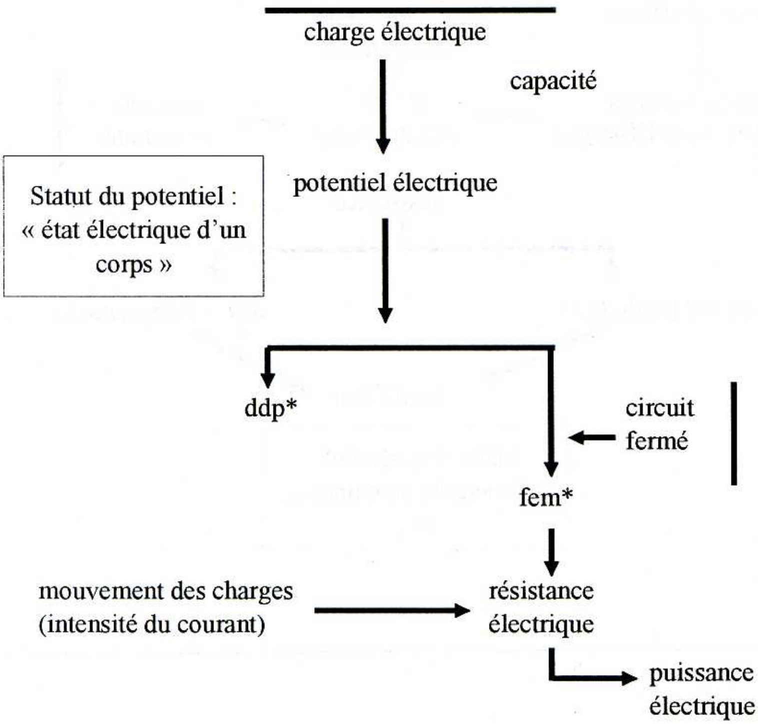
Nous donnons ci-après, sous une forme schématique, les quatre introductions de l'électrocinétique, telles qu'elles furent majoritairement pratiquées dans chaque cas, en France, entre 1902 et 1980. Notons d'abord que la dissociation d'un modèle (ici celui de l'électrocinétique) en concepts réputés indépendants et que l'on met ensuite en relation, paraît inhérente à tout projet didactique [Johsua, 1985]. Ce processus ne peut pas reproduire le cheminement historique, puisqu'il est inévitablement finalisé dans un cadre scolaire : il s'agit de construire une modélisation précise et connue d'avance. Ce processus crée un cadre épistémologique artificiel, tout à fait spécifique du projet didactique. Dans celui-ci, on doit s'attendre à ce que le sens pris par un concept soit notablement différent de celui qu'il occupe dans telle ou telle conception du physicien, ou dans tel autre cadre artificiel scolaire. Mais, en même temps, l'enseignant dispose d'une latitude de choix, latitude dont il peut légitimement jouer en fonction de critères qui ne sont pas tous liés à la physique du physicien (de plus amples détails sur cette question peuvent être trouvés dans [Johsua et Dupin, 1993]).

Dans les descriptions données schématiquement ci-dessous, on pourra vérifier que le statut épistémologique effectif attribué à chaque notion est fort différent selon les introductions choisies (le cas du concept de potentiel est plus spécialement mis en exergue). On pourra se persuader de l'importance de cette remarque en la rapprochant du fait qu'un élève normal, qui ne poursuivra pas des études spécialisées en physique, ne sera jamais mis en contact avec un autre cadre que celui qui lui est présenté à l'école.

L'introduction « électrostatique » (du nom qui fut le sien jusqu'en 1925)

Dans cette présentation, la notion de charge électrique est introduite « expérimentalement » ; celle de potentiel lui est « liée », et peut être conçue ultérieurement comme cause du déplacement de charges. La résistance est ensuite définie mathématiquement. La liaison avec la puissance est rare, mais possible grâce à la loi de Joule.

L'introduction « électrostatique » (de 1902 à 1925)

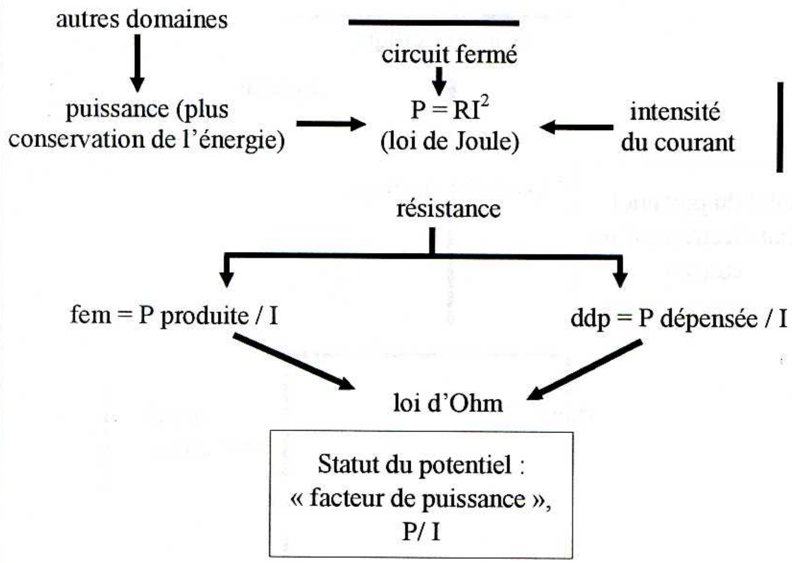


* Dans tout le reste du texte, ddp = différence de potentiel et fem = force électromotrice

L'introduction énergétique (du nom qui lui est classiquement donné dans la littérature française)

La relation avec l'électrostatique n'existe pas. Le courant électrique est introduit « expérimentalement, par ses effets ». Les notions de puissance et d'énergie y sont centrales, supposant, implicitement ou non, la référence au principe de conservation de l'énergie. La résistance est définie à l'aide de la loi de Joule, puis le potentiel est défini à son tour mathématiquement (voir graphique page suivante).

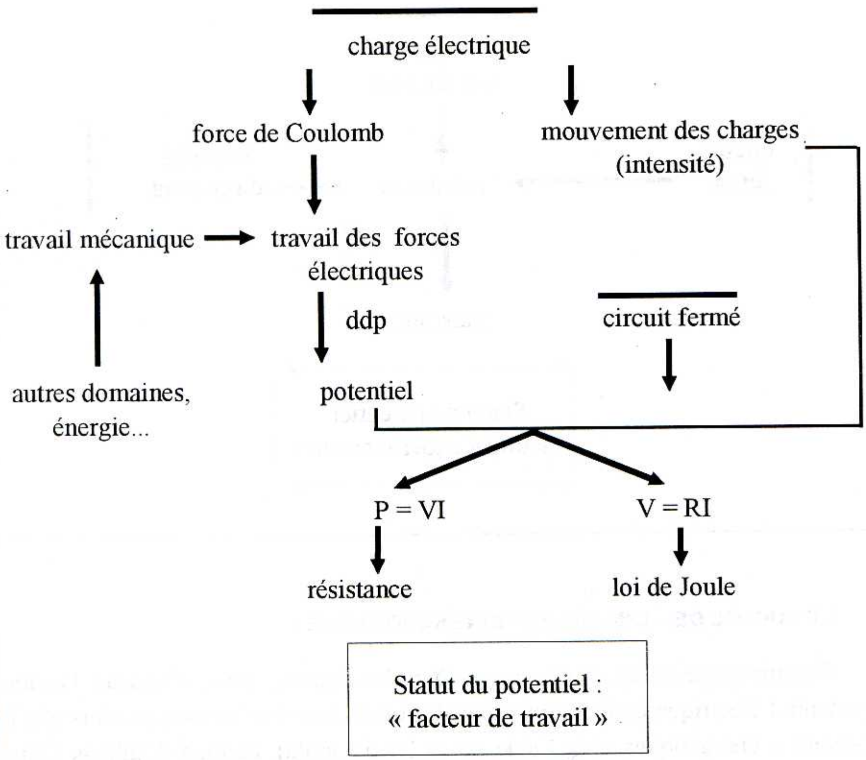
L'introduction « énergétique » ou « par le courant »
(de 1925 à 1966, voire 1978)



L'introduction « travail des forces électriques »

Elle fut peu usitée, mais proposée régulièrement au cours du siècle, et pratiquée couramment dans certains programmes étrangers. Elle combine des notions d'électrostatique (la charge) et des arguments d'ordre énergétique (travail des forces électriques). Le potentiel est défini mathématiquement par la relation $w = q\ (V_a - V_b)$. Deux possibilités existent ensuite, donnant une importance plus ou moins grande aux questions énergétiques. Dans les deux cas, la résistance est définie mathématiquement (voir graphique page suivante).

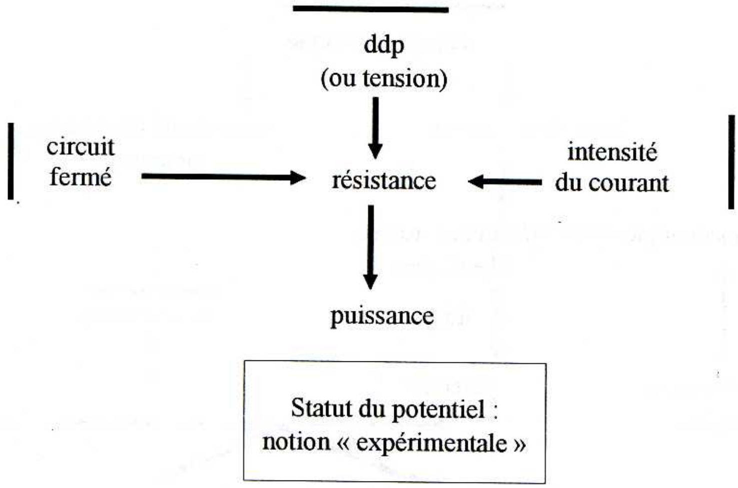
L'introduction « travail des forces électriques » (de 1966 à 1978)



L'introduction « sui generis », ou « V/I/R »

Il s'agit de l'introduction de l'électrocinétique « en soi », sans référence à d'autres domaines de la physique. La plupart des notions sont introduites « expérimentalement », et indépendamment les unes des autres. C'est la situation qui prévaut actuellement dans l'enseignement français (voir graphique ci-après).

L'introduction V / I / R (à partir de 1978)



LE SUCCÈS DE « L'INTRODUCTION ÉNERGÉTIQUE »

Comme on peut s'en rendre compte dans le schéma présenté plus haut, la notion de potentiel électrique était centrale dans l'introduction électrostatique, alors que les questions « énergétiques » (à l'aide de la loi de Joule), comme d'ailleurs l'étude systématique des circuits électriques (à l'aide de la loi d'Ohm), étaient, en fait, à peine effleurées [Belin, 1898 ; Bouant, 1903 ; Drincourt, 1903]. Or, il est en général admis que le concept de potentiel est relativement difficile d'accès. Il s'agit d'une grandeur introduite par Kirchhoff en 1848, assez tard dans l'histoire de l'électricité (et d'une manière assez abstraite), une fonction décrivant « l'état électrique » d'un corps. Cette difficulté intrinsèque fournit l'argument premier des partisans de l'option énergétique, qui critiquèrent sans relâche l'option électrostatique.

> « Pour la plupart des auteurs, le potentiel électrique est la propriété mystérieuse qui règle les déplacements des quantités d'électricité. La plupart des personnes d'instruction moyenne, non spécialisées dans l'électricité, reconnaissent que la notion de potentiel leur paraît à peu près incompréhensible. » [Devaud, 1912, p. 154]

De plus, pourquoi diable s'embarrasser d'une telle conceptualisation, alors qu'un simple changement de vocabulaire permet de s'en passer ?

> « La notion de potentiel, familière depuis longtemps aux mathématiciens, a été introduite tout naturellement dans les théories de l'électricité, parce que la

principale propriété des phénomènes électriques est de servir à la production de travail, et que le potentiel est le travail rapporté à une certaine unité. L'expression « volt » se présente ainsi comme simple abréviation de Joules/Coulomb. » [Devaud, 1921, p. 71]

Voici donc comment on peut éliminer une difficulté pédagogique majeure...

Par ailleurs, le débat se concentre sur une autre question importante, le degré « d'expérimentalisme » comparé entre les diverses introductions. Il n'est guère possible d'échapper à ce débat, puisque tous les protagonistes de l'époque partagent l'opinion que la physique doit s'enseigner « à partir de l'expérience ». Or, justement, voilà que la notion d'énergie paraît bien peu « expérimentale » aux partisans de l'électrostatique, qui soupçonnent leurs adversaires d'un « rationalisme » abusif :

> « Je vois avec regret l'enseignement élémentaire de la physique prendre chaque jour un peu plus ce caractère rationnel au grand détriment des concepts empiriques qui en forment le fondement. Peu à peu les réalités s'en vont ; les résistances, les capacités, les potentiels, etc... ne sont plus que des rapports abstraits. Gardons donc le contact avec la réalité si nous voulons montrer aux jeunes esprits comment les faits nous conduisent à énoncer les principes indémontrables et à créer les concepts. » [Fournier, 1916, p. 55]

Mais qu'est-ce donc que cette « réalité expérimentale » que se disputent les protagonistes de la polémique ? Pour les énergétistes, il est clair que le point central qui permet de faire la différence est la place que l'on peut donner à la *mesure* :

> « Il est illusoire, dans ces conditions, de chercher à définir la différence de potentiel par le rapport de deux grandeurs chimériques. On ne peut davantage demander à un élève une notion durable de la capacité ; comment pourrait-il comprendre une loi de proportionnalité entre des grandeurs dont il n'a même pas pu concevoir la mesure ? » [Guinchant, 1909, p. 187]

Or comment prétendait-on « mesurer » les potentiels ? En établissant « une échelle de potentiel » à l'aide d'électroscopes, expérience abondamment décrite dans les manuels. Mais voilà que J. Pionchon montre, en 1916, que ladite « expérience » néglige les trop importantes capacités des « fils de jonction », si bien que l'échelle en question ne mesure plus rien... On peut d'ailleurs montrer que ladite « expérience » n'était probablement pas du tout mise en œuvre dans les établissements [Johsua, 1985], pas plus qu'une série d'autres pourtant très souvent citées.

> « En définitive, [...] pour des raisons que je viens d'indiquer, je ne crois pas possible d'établir par voie expérimentale, la notion de potentiel en un point d'un conducteur ou d'un champ électrique. » [Pionchon, 1916, p. 127]

À partir de ce verdict, l'introduction électrostatique est atteinte au cœur ; sauf à produire une autre « introduction expérimentale » qui soit au moins correcte dans son principe. On voit bien ici que la non-concordance « scientifique » avec l'opinion de la « science savante » est un argument dont on ne peut négliger la portée. Il y a bien une autorité extérieure qui tranche certains débats au moins.

Si en plus on prend en compte l'image vieillotte de l'électrostatique et de l'attirail désuet qui accompagne son exposition dans les manuels, l'argumentation de ses critiques devient serrée :

> « Le tourniquet électrique, la torpille électrique, la machine de Ramsden et les boules en cuivre me semblent devoir être enfermés avec la fontaine de Héron et l'appareil de Trevelyan dans les collections de jouets amusants : puisse-t-on y enfermer aussi la grenouille du Dr Galvani. » ([Guinchant, 1909, p. 187] ; voir aussi [Fabry, 1913 et Devaud, 1917])

Le débat est-il clos pour autant ? La notion de potentiel est délicate, soit. On ne peut l'introduire sérieusement « expérimentalement », soit encore. Mais alors, qu'en est-il de celle d'énergie qui doit soutenir la nouvelle introduction ? Surtout qu'il faut impérativement y ajouter une sorte de principe de conservation. Les élèves peuvent-ils y trouver leur compte ? [Delvalez, 1912 ; Dumas, 1913]. Aucun problème, affirme C. Fabry [1913, p. 106] puissant soutien des énergétistes, et physicien déjà réputé. Aucune difficulté, car tout cela ressort du « sens commun » : « l'exposé des phénomènes électriques donne une occasion excellente pour les leur présenter comme des vérités de sens commun ». Difficile de suivre sans hésitations cet argument d'autorité. D'ailleurs, là n'est sans doute pas le fond de la question pour C. Fabry et les siens. Quelle que soit la façon dont on s'y prend, il faut en passer par l'énergie, car là résident les fondements les plus importants de la physique :

> « Les notions fondamentales sont évidemment celles de travail puis, celles des grandeurs électriques proprement dites : coulomb, ampère, volt, enfin les phénomènes d'induction. Quand on commence par l'électrostatique, ces notions n'apparaissent que tardivement et d'une façon souvent nuageuse. Aucune expérience sérieuse sur le travail n'est possible qu'avec les courants. » [Devaud, 1917, p. 163]

QUEL JUGEMENT PORTER SUR LES ARGUMENTS ÉCHANGÉS ?

Le plus ou moins grand degré « d'expérimentalisme » paraît être un des critères principaux parmi les arguments utilisés. Un coup rude de ce point de vue a été porté à « l'expérience mesurant le potentiel » dans l'introduction électrostatique. Mais comment ne pas aussi prendre en compte les commentaires émis contre l'introduction « expérimentale » de l'énergie dans la présentation énergétique ? À moins de se contenter de l'argument d'autorité de C. Fabry, selon lequel ce principe serait tout « naturellement » admis... En fait, tout laisse penser qu'avec le degré « d'expérimentalité » on dispose d'un terrain de polémique, non d'un critère de jugement. D'où une première conclusion : toute proposition de modification doit se présenter comme renforçant la base expérimentale du domaine considéré. Mais cette condition nécessaire n'est pas suffisante. En effet, la pratique effective de l'expérimental ne bouge guère durant ces années, de même que les présupposés idéologiques partagés en fait par tous les partenaires. Le type de recours à l'expérience risque fort d'être fondamentalement semblable pour tout le monde. Il n'y a pas vraiment moyen de trancher sur ce seul critère [Johsua, 1985 ; 1990].

Où donc faut-il chercher les moteurs réels du changement ? Il semble que l'on puisse avancer les hypothèses suivantes :

i) L'obsolescence de l'ancien objet d'enseignement est avérée aux yeux d'une fraction suffisamment influente de la noosphère. L'électrostatique « de l'Abbé Nollet », comme dit Devaud, a fait son temps, en même temps que le vocabulaire et le matériel qui l'accompagnent. Le système scolaire se doit de présenter régulièrement du nouveau, de combler l'écart inévitable avec la société savante, voire avec l'état de la culture dans la société tout court.

ii) La conception générale des structures de la physique est elle-même en évolution. Or non seulement celle-ci conditionne nettement le type d'innovation possible, mais elle induit une pression permanente de « mise en conformité » du contenu présenté à l'école avec l'épistémologie savante dominante d'une époque. Dans le cas qui nous occupe, l'idée de base des énergétistes est que le concept d'énergie est au cœur de la physique. Il doit en conséquence dominer tous les domaines d'enseignement. C'est une pression constante, qui peut céder à regret devant des impossibilités pédagogiques palpables, mais non sans avoir durement bataillé.

UN FLEURON DE L'ENSEIGNEMENT DE LA PHYSIQUE AU LYCÉE

L'introduction « énergétique » ou « par le courant », bien que directement atteinte par de vives critiques (et ce dès son introduction officielle) va pourtant subsister jusqu'en 1978. Comment expliquer une telle longévité ?

Envisageons d'abord la nature des critiques. De nombreux auteurs mettent en cause la prétention de l'introduction énergétique à exposer toute l'électrocinétique à l'aide des seules notions de courant et d'énergie, le reste se résumant à des définitions et des démonstrations :

i) La nécessité de travailler dans un circuit fermé — hypothèse dont l'acceptation par les élèves est loin de constituer une banalité pour la recherche en didactique contemporaine — est en fait rarement soulignée. Seule une minorité d'auteurs s'attache à la justifier [Ginat, 1934, par exemple].

ii) La « loi des nœuds » (dite « loi des courants dérivés ») soulève plus de critiques explicites. D'après G. Bruhat [1931, p. 325], critique constant de l'introduction « par le courant », « il ne résulte pas directement de la définition que la chute de potentiel soit la même le long des divers conducteurs en dérivation [...]. Il [...] semble donc que les exposés énergétiques conduisent nécessairement à considérer la loi des courants dérivés comme une loi nouvelle, qu'on établira directement par l'expérience ».

iii) De plus, comment établir les règles formelles de combinaison de résistances sans disposer de la loi d'Ohm ?

iv) Les difficultés les plus importantes concernent toutefois les notions de force électromotrice, de tension, de potentiel [Zouckermann, 1930 ; Rossignol, 1932 ; Bruhat, 1931]. Retour au débat antérieur : les partisans de la nouvelle introduction ne voient aucune difficulté à définir différence de potentiel et force électromotrice comme « facteur de puissance » [Voisin, 1930].

En plus de ces difficultés, internes en quelque sorte à l'introduction énergétique, cette dernière doit faire face à des critiques plus générales, visant à en contester globalement le bien-fondé. En sus de la difficulté déjà amplement soulignée qui s'attache à la notion d'énergie [Rossignol, 1932 ; Massain, 1932], surgit une deuxième série de remarques émises cette fois-ci au nom d'une conception nouvelle de la physique, laquelle s'attache beaucoup plus aux mécanismes cachés (atomistique, modèle de l'électron, etc.), avec G. Bruhat par exemple, qui « d'une façon générale [...] reproche aux exposés énergétiques de ne nous donner aucune idée du mécanisme des phénomènes » [Bruhat, 1931, p. 327] ou R. Massain [1932, p. 289], qui lui aussi « [recherche] les définitions qui laissent voir le mécanisme des phénomènes ». Mais il s'agit là de positionnements assez isolés, qui ne deviendront marquants au niveau pédagogique qu'après la guerre [Johsua, 1985].

On peut maintenant retourner à la question posée ci-dessus : pourquoi l'introduction énergétique s'est-elle révélée si résistante ? On peut d'abord noter des adaptations partielles aux critiques émises. On tente de prendre au sérieux l'introduction de la notion d'énergie. Cela se fait dès 1925, quand la notion de travail mécanique est introduite en seconde. On insiste sur « le principe de la conservation du travail » [Ollive, 1927], et on fait précéder à l'occasion l'électrocinétique par un chapitre entier prétendant à la généralisation de la conservation de l'énergie [Voisin, 1945]. Les programmes de 1945 officialisent le traitement de « l'équivalence chaleur-travail » en classe de seconde. On tente parallèlement d'assouplir la sécheresse de l'introduction du potentiel en recourant à force métaphores analogiques [Olmer, 1929 ; Cessac et al., 1959]. Même les électrons vont quitter la série des « annexes » et des « théories modernes », pour entrer de plain pied dans le programme.

Mais le corps de l'introduction énergétique tiendra bon. C'est, qu'en effet, il n'y pas de critiques portées en tant que telles aux deux expériences majeures de « l'introduction par le courant ». La première de celles-ci montre les « effets du courant ». Un générateur est monté en série avec un (ou deux) voltamètre(s) (bacs à électrolyse), et une résistance ohmique. Une boussole, montée sur pivot, est placée à proximité du circuit. On « définit » ainsi « le courant par ses effets ». Un courant existe quand des gaz se dégagent aux électrodes des bacs à électrolyse (effet électrochimique), quand de la chaleur se dégage (effet Joule), quand l'aiguille aimantée dévie (effet électromagnétique). Cette expérience, véritable stéréotype, se retrouve dans tous les manuels de l'époque considérée. La deuxième « expérience » sert à établir la loi de Joule : on y mesure le dégagement de chaleur d'une résistance, plongée dans un calorimètre. Ces expériences sont bien adaptées aux canons de l'époque. Les « phénomènes » sont aisés à montrer, les mesures ne soulèvent pas de difficultés insurmontables, les « lois » à atteindre sont de formulation simple (unicité du courant dans le circuit série), ou, au moins, accessibles (loi de Joule).

En définitive, on peut avancer quelques éléments d'explications qui rendent compte de la longévité de l'introduction énergétique.

i) Le premier tient au poids des options « inductivistes » [Johsua, 1990 ; Johsua et Dupin, 1993]. Une évolution vers une plus grande importance donnée aux mécanismes et au niveau microscopique est contraire à cette démarche toute descriptive et phénoménologique. De plus, les expériences sont jugées raisonnablement claires, et fournissant l'occasion de nombreuses mesures, point considéré comme pédagogiquement décisif [Lazerges, 1953].

ii) Ni le matériel ni le vocabulaire n'apparaissent vieillis au regard de la culture. Au contraire, le public est de plus en plus familier avec les piles, accumulateurs, etc. Et cela sans que l'attrait de la nouveauté soit encore passé.

iii) De plus, l'électronique n'est pas encore assez développée, qui exigerait de donner plus d'importance à la loi d'Ohm qu'à la loi de Joule dans l'étude des circuits complexes.

iv) Le seul point vraiment important en définitive, c'est le poids accordé par des physiciens de plus en plus nombreux aux modèles particulaires, ici aux électrons. Cette pression venant de la « science savante » ne peut être négligée, d'où des réformes touchant cette partie.

DES RÈGLES DE CHANGEMENT ?

Nous pouvons ici essayer de regrouper quelques hypothèses concernant les moteurs et les conditions du changement de transposition didactique, concernant l'électrocinétique.

i) En aucun cas les critiques « internes » à un traitement donné ne suffisent à produire un changement, même s'il peut y être répondu (souvent indirectement) par des adaptations isolées.

ii) Une modification doit toujours se présenter comme « plus concrète » et « plus expérimentale ». Mais il faut bien comprendre qu'il s'agit là plutôt d'un terrain commun de débat que d'un véritable critère opérationnalisable, du moins dans la plupart des cas.

iii) Les points qui apparaissent majeurs relèvent plutôt de deux domaines. Celui du vieillissement de l'objet d'enseignement. Ceci peut concerner soit un vieillissement interne au système scolaire, qui a besoin de renouvellement périodique, soit un vieillissement externe par rapport à la culture moyenne extérieure à ce système. Cependant, il ne suffit pas que le remplacement de l'objet vieilli apparaisse comme nécessaire. Il faut aussi qu'il soit possible, c'est-à-dire que la pratique d'enseignement qui en résulterait corresponde aux présupposés inductivistes. Enfin, le système ne semble pas pouvoir tolérer durablement un trop grand écart entre l'objet d'enseignement et le discours moyen de la science savante.

Dans toute cette période, on ne trouve pas d'influence réelle de la prise en compte des processus de raisonnement des élèves. Ou plutôt c'est uniquement dans une adaptation du texte du savoir qu'on prétend trouver des issues aux difficultés pédagogiques, si même celles-ci n'interviennent pas en fait comme prétexte. Sauf dans la toute dernière période, avec l'influence de l'approche technologique des circuits électriques, on ne remarque pas non plus de prise en compte d'autres modes de traitement du même domaine, d'autres « pratiques de référence » [Martinand, 1982] que celles de la « physique savante » d'un côté, de la « pratique scolaire » de l'autre. C'est dans la dialectique entre ces deux références que se joue l'évolution.

Il resterait à analyser si tout ceci est caractéristique d'une part d'une période, longue peut-être, mais en voie d'achèvement, et de l'autre de traditions propres à la France.

Bibliographie

Belin Frères, *Cours résumé de physique élémentaire (enseignement secondaire classique et moderne) à l'usage des candidats à l'École militaire de Saint-Cyr*, Paris, 1898.

Bouant (É.), *Éléments de physique*, Paris, Alcan, 1903.

Bruhat (G.), « À propos de la loi d'Ohm », *Bulletin de l'Union des physiciens*, mai-juin 1931, pp. 321-327.

Cessac et al. (Cessac J., Pecot S. et Treherne G.), *Physique, Première A, B*, Paris, Nathan, 1959.

Chervel (A.), « L'histoire des disciplines scolaires », *Histoire de l'éducation*, n° 38, 1988, pp. 59-119.

Chevallard (Y.), *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*, Grenoble, La Pensée Sauvage, 1985, 1ère édition. La deuxième édition (1991) comporte une postface.

Chevallard (Y.) et Johsua (M.-A.), « Un exemple d'analyse de la transposition didactique : la notion de distance », *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 3, n° 2, 1982, pp. 159-239.

Closset (J.-L.), *Le raisonnement séquentiel en électricité,* Thèse 3e cycle, Université Paris VII, 1983.

Delvalez (G.), « La notion de potentiel », *Bulletin de l'Union des physiciens*, mai 1912, pp. 186-188.

Devaud (J.), « La loi d'Ohm », *Bulletin de l'Union des physiciens*, avril 1912, pp. 154-155.

Devaud (J.), « Quelques notes sur l'enseignement de l'électricité », *Bulletin de l'Union des physiciens*, avril-mai 1917, pp. 122-127.

Devaud (J.), « Sur la notion de potentiel et la loi d'Ohm », *Bulletin de l'Union des physiciens*, janvier 1921, pp. 71-72.

Drincourt (É.), *Physique, Première A ,B*, Paris, A. Colin, 1903.

Dumas (H.), « Sur la loi d'Ohm », *Bulletin de l'Union des physiciens*, février 1913, pp. 118-119.

Dupin (J.-J.) et Johsua (S.), « L'électrocinétique du collège à l'université : évolution des représentations des élèves et impact de l'enseignement », *Bulletin de l'Union des physiciens*, n° 683, 1986, pp. 779-800.

Fabry (C.), « Sur l'exposé des lois fondamentales du courant et de l'énergie électrique », *Bulletin de l'Union des physiciens*, février 1913, pp. 105-110.

Fournier (M.), « Encore à propos du potentiel », *Bulletin de l'Union des physiciens*, décembre-janvier 1916, pp. 54-59.

Ginat (M.), *Cours de physique, première*, Paris, Éd. Bailière et fils, 1934.

Grobois (M.), Ricco (G.) et Sirota (R.), *Du Laboratoire à la classe, le parcours du savoir. Étude de la transposition didactique, du concept de respiration*, Paris, ADAPT, 1992.

Guinchant (J.), « Réponse à la question 104 », *Bulletin de l'Union des physiciens*, juillet 1909.

Hulin (N.), « Une étape dans l'évolution de l'enseignement scientifique secondaire : la réforme de la "bifurcation" », 1852-1854. *Revue d'histoire des sciences*, XXXV/ 3, 1982, pp. 217-245.

Hulin (N.), « Science qui se fait, science qui s'enseigne. À propos d'un document sur l'agrégation de sciences physiques ». *Histoire de l'éducation*, n° 21, 1984, pp. 37-58.

Johsua (S.) et Dupin (J.-J.), *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, Paris, PUF, 1993.

Johsua (S.), *Contribution à la délimitation du contraint et du possible dans l'enseignement de la physique (essai de didactique expérimentale)*. Thèse d'État, Aix-Marseille II, 1985.

Johsua (S.), « Le débat pédagogique à travers la lecture du *Bulletin de l'Union des physiciens* (1907-1980) », *Bulletin de l'Union des physiciens*, n° 726, 1990, pp. 871-887.

Lazerges (G.), *Conférence de Sèvres du 19 septembre 1953*. Éd. CNDP.

Massain (R.), « L'énergie et l'électrodynamique », *Bulletin de l'Union des physiciens*, avril 1932, pp. 286-292.

Ollive (J.), *Cours de physique, classes de première A, A', B'*, Paris, Vuibert, 1927.

Olmer (L.-J.), *Physique, classe de première*, Paris, Éd. J. de Gigord, 1929.

Pionchon (J.), « Sur une prétendue méthode expérimentale de la notion de potentiel dans les cours élémentaires d'électrostatique », *Bulletin de l'Union des physiciens*, avril-mai 1916, pp. 122-127.

Rossignol (J.), « Encore la loi d'Ohm ! », *Bulletin de l'Union des physiciens*, mai-juin 1932, pp. 346-352.

Tiberghien (A.) et Delacôte (G.), « Manipulations et représentations des circuits électriques simples par des enfants de 7 à 12 ans », *Revue française de pédagogie*, n° 34, 1976, pp. 32-44.

Voisin (E.), « Sur les notions de force électromotrice, de différence de potentiel et de résistance », *Bulletin de l'Union des physiciens*, octobre 1930, pp. 26-28.

Voisin (E.), *Cours de physique, première*, Paris, Éd. Laure, 1945.

Zouckermann (R.), « Sur la notion de différence de potentiel », *Bulletin de l'Union des physiciens*, janvier 1930, pp. 138-139.

Les exercices pratiques dans la réforme de 1902

Claudette BALPE

La réforme de 1902 marque une étape importante pour l'enseignement de la physique dans l'enseignement secondaire. Celle-ci occupe désormais, avec les mathématiques, une place égale à celle des lettres et surtout, son enseignement se transforme. Les changements introduits portent essentiellement sur le renouvellement des méthodes et la création d'exercices pratiques. Il s'agit là d'un des aspects les plus remarquables de la réforme qui donne ainsi à la physique scolaire ses caractères toujours actuels.

Pour saisir toute la portée de ces innovations, il importe de rappeler la situation antérieure de la physique dans les études classiques. Celle-ci est présente tout au long du XIX^{e} siècle dans l'enseignement secondaire, mais n'en demeure pas moins relativement marginale. L'horaire qui lui est imparti est faible et stagne jusqu'à la fin du siècle, la physique étant généralement repoussée au niveau des classes terminales. L'enseignement se caractérise alors par un mode dogmatique et déductif fondé sur un exposé magistral. En général, tout nouveau chapitre de cours commence par un énoncé liminaire de la loi — laquelle est parfois précédée d'un bref rappel historique. Puis, lorsqu'il y a lieu, le professeur décrit, pendant la majeure partie de la séquence, l'appareil ayant historiquement servi à l'élaboration de cette loi, comme pour insister sur un levier essentiel de la découverte. La suite des séquences est consacrée à la présentation de propriétés et d'applications soigneusement décrites dont la succession s'effectue sans formalisme ni raisonnement. Pour résumer, l'élève reçoit un enseignement basé principalement sur une accumulation de descriptions et sur leur mémorisation. La physique enseignée renvoie ainsi à une vision continue, progressive et hagiographique de la science.

Cette conception dominante est bouleversée par la modernisation de l'enseignement entreprise par la réforme. Désormais, il ne s'agit plus d'informer l'élève mais d'assurer son éducation. L'apprentissage des sciences expérimentales doit se fonder sur une logique scientifique et une pratique expérimentale de l'élève auxquelles concourrent les exercices pratiques. En étudiant la mise en oeuvre de ces exercices, entre 1902 et 1914, on comprend mieux les ambiguïtés du projet initial. Par ailleurs, il est intéressant de suivre, comme réponse à l'évolution de la profession, la création d'une structure nouvelle, l'Union des physiciens, qui résulte de l'instauration des exercices pratiques.

UNE INITIATION À LA MÉTHODE EXPÉRIMENTALE

La réforme de 1902 renforce le rôle joué par les sciences expérimentales dans l'enseignement secondaire : l'initiation à la méthode expérimentale participe de la formation de l'esprit. À l'inverse des pratiques antérieures, les sciences expérimentales doivent être désormais enseignées selon une démarche inductive où le professeur allant des faits aux lois, parvient à l'abstraction au lieu d'en partir. De plus, l'élève doit pouvoir conduire lui-même, seul, une démarche de recherche. D'où la création, en plus des enseignements magistraux, d'exercices pratiques. Conçus par le professeur et exécutés par les élèves, ils doivent permettre à ces derniers d'accéder concrètement au vrai caractère des sciences physiques par l'entraînement actif à la méthode expérimentale. Ressort essentiel des nouvelles méthodes en sciences physiques, les exercices pratiques offrent à l'élève, selon Louis Liard, le sens de la réalité, la notion de loi, et lui permettent d'entrevoir, entre les phénomènes en apparence les plus dissemblables, les rapports qui les unissent : « Ce sera en lui, avec des acquisitions durables, une philosophie immanente de la nature [...], l'éveil de sa curiosité [...], la mise en mouvement de ses énergies ». Non seulement l'élève devient actif, mais il s'exerce au raisonnement et acquiert un esprit critique, ce qui est « [l']une des fins, la fin principale de toute éducation, qui vise à autre chose qu'à former des esprits réceptifs et passifs » [Liard, 1904*b*, p. 191]. L'ambition est évidente : former des élèves capables d'exercer leur intelligence, et donc maîtres des savoirs qu'ils construisent. La place des exercices pratiques est à cet égard, décisive.

Les instructions officielles publiées en 1902, recommandent au professeur d'exposer les faits tels qu'ils sont alors compris, sans se préoccuper de l'ordre historique des découvertes et en débarrassant l'enseignement de beaucoup de « vieilleries » que la tradition conservait : appareils surannés, théories sans intérêt, calculs détachés de la réalité [*B.A.*, 1902, pp. 822-823, 831-832]. La nouveauté est d'importance au point que Lucien Poincaré, inspecteur général de sciences physiques, met l'accent dans ses conférences pédagogiques, sur l'obligation faite aux professeurs de renoncer aux fastidieuses descriptions d'appareils anciens souvent présentés derrière une vitrine : « on se complaisait dans cette description, on y insistait, et petit à petit, dans l'esprit de l'élève, l'appareil prenait des proportions énormes [...] ; il servait à vérifier une loi, il se substituait [...] à la loi elle-même » [Poincaré, 1904, p. 8]. Il cite alors en exemple : l'appareil de Haldat en hydrostatique, de Gay-Lussac pour la dilatation de l'eau, les anciens baromètres, les anciennes machines pneumatiques, les anciennes piles, etc. Il explique que les expériences doivent être simples et qu'elles doivent partir de faits d'observations dûment constatés permettant d'induire de manière raisonnée la loi recherchée. Par exemple, il convient d'établir à partir de l'expérience, au lieu de procéder par déduction à partir de lois abstraites, les règles de composition des forces, la loi de la chute des corps ou bien encore d'étudier les courants électriques avant l'électrostatique devenue obsolète. La loi apparaît ainsi détachée des dispositifs anciens qui l'ont faite découvrir.

Le professeur est invité à construire lui-même des appareils simples, appropriés à l'expérience qu'il veut étudier ou à l'exercice pratique qu'il envisage de monter. Il est même question de proposer aux élèves, lors des exercices pratiques, la réalisation de certains petits montages ou appareils simples. Pour cela, la simple salle de collection ou de préparation ne suffit plus. Le recours à l'outillage est nécessaire, et l'adjonction d'un atelier indispensable. Les professeurs sont invités à y songer : « là où l'on pourra utiliser un établi et quelques outils, [...] il sera aisé de construire soi-même des instruments avec des matériaux vulgaires et simples [...] ; dans l'enseignement élémentaire le véritable cabinet de physique doit être un atelier » [Poincaré, 1904, p. 12]. Pour renouveler un enseignement jugé trop qualitatif, la conduite d'observations précises et l'établissement de lois impliquent de mettre la mesure au premier plan de l'expérience. Or, comme le souligne Jules Joubert, inspecteur général de sciences physiques et membre,comme Lucien Poincaré, de la sous-commission des sciences physiques pour la réforme des programmes en 1902, « ce sont les nombreuses mesures de la fin du XIX^{e} siècle qui ont amené à la découverte et à l'extension du principe de conservation de l'énergie [...] ; d'ailleurs, (selon Lord Kelvin) on ne connaît bien un phénomène que lorsqu'il est possible de l'exprimer en nombre » [Joubert, 1903, p. 134]. L'accent est mis sur la précision, qu'il s'agisse de l'écriture des résultats avec un nombre convenable de chiffres significatifs ou de l'utilisation des instruments de mesure. Le réel intervient ainsi plus fortement avec l'initiation à l'ordre de grandeur.

L'étude du phénomène ne doit donc plus être simplement descriptive. En même temps, le professeur est invité à représenter graphiquement la loi au lieu d'en donner seulement une expression formelle. Il s'agit, avec cette nouvelle méthode, non seulement de familiariser l'élève avec un nouveau mode de représentation, mais aussi de renforcer chez lui les notions mathématiques de fonction et de continuité. L'expérience est mise ainsi au service des apprentissages mathématiques. L'aspect novateur de cette instruction est à souligner : les mathématiques interviennent dans les cours de physique par le tracé de courbes continues, ce qui constitue un outil nouveau et toujours actuel, caractéristique du travail dans le domaine des sciences expérimentales.

La création d'exercices pratiques est fondée sur la conviction que par leur exécution, l'élève s'initie mieux à la démarche expérimentale. Il doit apprendre ainsi à observer et surtout à mesurer : « Il faut que l'élève acquière nettement l'idée de ce qu'est une mesure, il faut qu'il en pratique lui-même » [Poincaré, 1904, p. 14]. Les professeurs doivent organiser des séances où l'élève, seul ou en groupe, conduit des activités expérimentales. Comme pour les expériences de cours, on recommande la simplicité pour les exercices pratiques :

« [on pourra] étudier les lois du pendule et déterminer à 1 % près la valeur de *g* avec un fil à plomb, un mètre et une montre ; construire des poids divisionnaires avec un fil métallique ; déterminer la densité d'un liquide à 1 % près avec une bouteille ordinaire et une balance du commerce ; vérifier le principe d'Archimède avec une balance ordinaire, des vases gradués [...] ; répéter l'expérience de Torricelli ; faire le vide avec la trompe à eau ; comparer la chaleur spécifique de l'eau avec celle du laiton ; déterminer les points de congélation et en déduire un poids moléculaire ; faire une mesure photométrique avec un crayon et une simple feuille de papier comme photomètre ; dessiner avec la chambre claire et le microscope ; enregistrer les vibrations d'un diapason ; [...] construire des résistances graduées avec du fil de maillechort ; s'en servir pour une mesure de résistance, etc. » [*B.A.*, 1902, p. 854]

Le texte souligne que « les exercices pratiques constituent le complément le plus utile de l'enseignement du professeur » [*B.A.*, 1902, p. 854]. En conclusion, le professeur est invité à « sortir de l'abstraction pour reprendre contact avec les réalités, abandonner l'esprit mathématique [déductif] pour adopter la vraie méthode des sciences physiques, la méthode inductive » [Joubert, 1903, p. 134]. En tant qu'inspecteur, Jules Joubert y voit un moyen de plus pour motiver les élèves en stimulant leur curiosité.

L'ORGANISATION DES EXERCICES PRATIQUES

Nous manquons malheureusement de cahiers d'élèves qui pourraient nous donner des témoignages directs sur les montages réalisés dans les classes. Quant aux manuels d'exercices pratiques, ils sont presque inexistants : entre 1912 et 1920, il en paraît seulement deux [Niel, 1912 ; Aubert, 1920]. Celui de Niel, publié dix ans après le lancement de la réforme, s'inspire des exercices que cet auteur a conçus et mis en place pour ses élèves du collège Chaptal à Paris. L'ouvrage, destiné aux classes de seconde et première C et D, comporte 39 exercices répartis en six thèmes :

Thème de l'exercice	Nombre d'exercices
Généralités	6
Hydrostatique	3
Chaleur	7
Optique	11
Électricité statique	6
Électricité dynamique	6

Les exercices relatifs aux généralités concernent des mesures de longueur, d'épaisseur, de volume, l'étude du ressort, la graduation de récipients. La moitié des 39 exercices sont des mesures de grandeur dont les modes opératoires sont soigneusement précisés. L'élève est guidé étroitement. Il n'a qu'à suivre une démarche indiquée en détail : mettre sur les plateaux, remplir un flacon, placer la lentille entre l'écran et la source lumineuse jusqu'à égalité de l'image et de la source, etc., autant de termes injonctifs qui ne lui laissent pas vraiment d'initiative. L'accent est mis sur l'utilisation des instruments usuels : balance, thermomètre, vases gradués. Le souci de précision dont l'apprentissage est tant revendiqué, se réduit à l'étude méthodique de deux instruments permettant de mesurer au dixième ou centième de millimètre (vernier, vis micrométrique). Il manque en revanche une discussion sur la précision des résultats obtenus expérimentalement dans la mesure des masses, des densités, des chaleurs spécifiques, etc., discussion qui pourrait aider l'élève à acquérir un certain esprit critique. Là encore, on passe à côté de l'un des objectifs visés.

Quant aux lois, il s'agit seulement de les vérifier, ceci dans quatre cas (réflexion, loi de Joule, lois de Faraday, loi d'Ohm). On est loin de la démarche inductive recommandée. En dépit des instructions officielles qui invitent à recourir à la représentation graphique, seulement deux exercices sont consacrés à des tracés de courbes (allongement d'un ressort, refroidissement). Enfin, sept exercices sont des expériences qualitatives pour observer un phénomène ou construire un instrument (photomètre, thermomètre, appareil photographique, électroscope, électophore, condensateur, voltamètre).

La comparaison des exercices proposés par P. Niel avec le texte des programmes montre la cohérence qui existe entre le contenu du cours de physique et les travaux pratiques. C'est en manipulant que l'élève se familiarise avec les phénomènes étudiés dans la leçon. En revanche, l'initiation à la méthode expérimentale se réduit à de simples exercices standardisés de mesure ou de vérification de lois. L'étude de la représentation graphique des phénomènes est sous-représentée, comme si la démarche allant de l'observation des faits à la loi était occultée au profit de mesures ou de protocoles expérimentaux. C'est donc une image relativement contrastée des exercices pratiques qu'offre le manuel de P. Niel. D'un côté l'approche dogmatique est abandonnée au profit d'une démarche inductive et d'une observation meilleure des phénomènes. Mais de l'autre, les expériences sont réduites à de simples manipulations qui laissent de côté la démarche de pensée spécifique de la méthode expérimentale.

Pour juger équitablement les exercices pratiques, il convient cependant de prendre en compte les difficultés que rencontrent les professeurs de physique pour appliquer les nouvelles directives de la réforme. Les travaux pratiques leur posent en effet de redoutables problèmes, dont les premiers numéros du *Bulletin de l'Union des physiciens* se font l'écho. L'un des plus importants vient de leur ignorance du travail des matériaux (bois, fer, carton) ; « ils éprouvent à chaque instant les plus grandes difficultés à transformer en appareil scientifique une foule d'objets hétéroclites dont l'achat est imposé par un budget trop modeste » [Mermet, 1907, p. 7]. Leurs demandes alimentent la rubrique « Service de renseignements » du *Bulletin*. Par exemple où peut-on trouver à bon marché des cuves de verre, lames à faces parallèles, résistances étalonnées ? Où trouver des ouvrages sur les piles sèches ? De plus, les constructeurs ne savent pas bien ce qu'attendent les professeurs. On compte de novembre 1907 à octobre 1908, huit notices recommandant des matériaux plus ou moins accessibles aux professeurs et des dispositifs parfois sophistiqués exigeant un bon atelier et un aide de laboratoire qui soit aussi bon ouvrier. Devant un tel besoin d'informations pratiques, le professeur se voit obligé de « fréquenter les ouvriers, [de] les interroger, [de] les voir travailler... », démarche encouragée par A. Mermet [1907, p. 9].

À tous ces problèmes de mise en œuvre, s'ajoutent les difficultés que posent les conditions matérielles du travail des matériaux. Pour y faire face, il serait nécessaire qu'un aide de laboratoire de physique compétent soit adjoint au professeur. Or, ceux qui ont quelque aptitude pour les travaux variés du laboratoire ou de l'atelier qui y est annexé sont peu nombreux ou ne restent pas (la faible rémunération est dissuasive, et un homme à tout faire ne présente souvent pas les compétences suffisantes). En général, cette fonction est assurée par un agent du service général, mis à la disposition du laboratoire quelques heures par jour. Mal payé, il doit aussi assurer un service d'entretien général, au détriment de ses activités au laboratoire. Seuls, les grands lycées seront dotés de préparateur, mécanicien et garçon de laboratoire. En 1905, aux lycées Louis-le-Grand, Janson de Sailly et à celui de Reims, un ouvrier-mécanicien est nommé à la place d'un préparateur ou d'un chargé de cours. Pour les autres lycées, souvent beaucoup plus petits, on réclame l'affectation exclusive d'un aide de physique au laboratoire. L'administration locale tarde à créer le poste et, en général, faute de moyens suffisants, la situation n'évolue pas. Quant aux locaux, ils sont souvent exigus ou mal situés, on manque de salles de travaux pratiques ; la situation ne s'améliore que dans les grands lycées parisiens, avec la construction de nouvelles salles et leur électrification. Par exemple, les lycées Saint-Louis, Michelet et Carnot reçoivent des installations électriques en 1905.

En dépit de ces difficultés, les professeurs font de gros efforts pour mettre en place les exercices pratiques, ainsi que le révèlent, au moins pour l'académie de Paris, les rapports sur les sciences physiques présentés entre 1905 et 1914 au Conseil académique par les trois inspecteurs Jules Faivre-Dupaigre, Michel Chassagny et Jean Lamirand [*A.N.*, rapports]. Ces rapports sont fondés sur les réponses à un questionnaire adressé par le vice-recteur aux chefs d'établissements. Dans celui de 1905, l'inspecteur Faivre-Dupaigre se plaît à souligner l'émulation qui règne à cet égard entre les professeurs des 19 lycées de Paris et départements de l'académie, ainsi que des 16 (sur 22) collèges. Il mentionne la participation importante des professeurs — surtout parisiens — à l'exposition organisée en 1905 au Musée pédagogique au cours de laquelle des dispositifs expérimentaux nouveaux et simples sont exposés. Néanmoins cette phase de démarrage connaît quelques dysfonctionnements : certains professeurs (Reims et Melun), du fait de l'existence des exercices pratiques, ne font plus d'expériences et ne présentent plus aucun matériel pendant le cours. Mais ce sont surtout les problèmes de locaux qui deviennent aigus : besoin de salles de travaux pratiques, d'équipement, de réorganisation de salles ; une commission du matériel scientifique, présidée par Jules Joubert, provoque et accueille les demandes d'installation ou d'instruments.

En 1906, l'administration des lycées dresse un bilan positif : « le succès de ces exercices a réalisé et dépassé peut-être les espérances qu'on avait formées » (réponse du proviseur du collège Rollin). Et dès 1907, soit cinq ans après le début de l'application de la réforme, la satisfaction est générale, l'enseignement de la physique-chimie est l'un de ceux qui donnent les meilleurs résultats : « Il n'y a pas d'ordre d'enseignement où le nombre d'élèves indifférents ou paresseux soit aussi limité » (proviseur du lycée Condorcet). On souligne l'effet bénéfique des exercices pratiques : « Les élèves commencent à comprendre la relation qui doit exister entre la précision d'une mesure et le résultat numérique qui le traduit, entre une formule algébrique et la réalité ». Les résultats des élèves scientifiques s'améliorent remarquablement : à Louis-le-Grand, la proportion d'élèves qui dépassent ou atteignent la moyenne varie de 6 % à 94 % dans les classes à exercices pratiques ; elle est de 77 % au collège Rollin ; on pense même que l'amélioration des résultats au concours d'entrée à l'École polytechnique leur est due. Personne ne demande un retour en arrière. Les difficultés de la phase de démarrage sont en passe de s'atténuer dans les grands lycées, mais tardent à se résorber dans les collèges.

En 1908, les trois-quarts des établissements (33 sur 43) du ressort de l'académie de Paris mettent en œuvre des exercices pratiques. Les locaux des lycées parisiens sont presque tous satisfaisants, les collèges conservant leur retard en ce domaine. On peut lire dans le rapport sur l'exposition franco-britannique de 1908 que « [la physique] est l'enseignement qui a réalisé le plus pleinement et le plus complètement son objet ». Il est intéressant de noter en même temps que, selon Edmond Bouty, professeur de physique à la faculté des sciences de Paris, les résultats se font aussi sentir dans l'enseignement supérieur. La satisfaction est donc assez générale, qu'il s'agisse des familles, de l'enseignement supérieur ou de l'administration. Ainsi, en 1914, la réforme de l'enseignement des sciences physiques s'est imposée, au moins dans l'académie de Paris. Les problèmes de matériel ne sont plus au premier plan, les administrations ayant peu à peu débloqué les crédits d'équipement et les exercices pratiques étant organisés dans tous les lycées et la plupart des collèges de l'Académie. Le rapporteur, l'inspecteur J. Lamirand, en signale les progrès constants, avec l'accroissement des ressources des laboratoires et la nomination plus fréquente d'aides de laboratoire. Notons également l'existence dans des collèges de jeunes filles, de travaux pratiques originaux, et en cela, particulièrement remarquables : « l'étude des principaux dissolvants et leur application au nettoyage des étoffes, la fabrication du vinaigre de toilette, la falsification du lait » [...], que J. Lamirand qualifie d'initiatives intelligentes. De même est mentionné en 1914 le cas d'élèves qui viennent spontanément à l'atelier du laboratoire s'initier à la télégraphie, construire des petits postes, faire des observations météorologiques. À partir de cette date, on ne signale plus de cours dictés. Les professeurs ont à peu près intégré cette nouvelle forme de travail, et selon J. Lamirand « les travaux pratiques sont mieux choisis, plus intéressants, plus accessibles et on tend à les exécuter dans les collèges avec une régularité jusqu'alors inconnue ».

Cependant, la phase d'installation des exercices pratiques étant terminée, on voit poindre quelques critiques. Par exemple J. Lamirand regrette que la présentation des lentilles reste trop qualitative, et voudrait que l'aspect déductif soit davantage pris en compte. Mais surtout, les exercices pratiques rencontrent un obstacle majeur : le trop grand nombre d'élèves compromet le bon déroulement du travail. J. Lamirand indique de nombreux dédoublements de classe. Ce problème durera de nombreuses années. En 1914, les exercices pratiques sont entrés dans leur phase de croisière. La parution du premier manuel en est une illustration. Leur utilité n'est plus discutée, ce qui les intègre définitivement dans l'enseignement expérimental. L'enseignement des sciences physiques comporte, désormais liés ensemble, des cours et des travaux pratiques. Un tel bilan pourrait se suffire à lui-même. Pourtant, au-delà de de ces constats, d'autres changements plus progressifs interviennent, modifiant le rapport du professeur à son enseignement. Une réflexion nouvelle sur la profession se fait jour, où la question pédagogique prend toute sa place.

UNE RÉFLEXION NOUVELLE SUR LA PROFESSION

Les dispositions nouvelles prises pour enseigner la physique entraînent une modification des conditions d'exercice du professorat de physique : « [avec] les travaux pratiques obligatoires, [la réforme de 1902] dédouble l'enseignement ancien et le partage entre l'amphithéâtre et le laboratoire, entre la théorie et la pratique » [Mermet, 1907, p. 4]. Cette dualité caractérise un professorat de type nouveau. Formé essentiellement pour enseigner magistralement les sciences aux élèves, le professeur doit, en plus de ses cours, mettre en scène des dispositifs expérimentaux modernes donc inédits, et concevoir des exercices pratiques : c'est là une rupture importante dans la fonction professorale. N'ayant pas été préparé à cette tâche, le professeur — bien que familier des instruments traditionnels de laboratoire et des travaux d'atelier, s'il est normalien — ne sait pas concevoir de dispositifs pratiques avec du matériel simple.

Les professeurs ressentent ces obligations de service comme un obstacle et sont d'abord surpris : « on a cherché les voies et les moyens pour organiser les travaux pratiques ; on s'est donné beaucoup de peine ; on s'est agité mais [...] il en est résulté à peu près partout une sorte d'indécision momentanée, et c'est tout » [Mermet, 1907, p. 4]. Leur hésitation se double d'inquiétude : ils doivent abandonner les vieilles méthodes et mettre en place des exercices pratiques par un choix d'expériences dans une « vague liste », alors qu'auparavant on attendait d'eux qu'ils appliquent une ligne bien définie. Jules Lemoine, professeur au Lycée Louis-le-Grand, explique que les professeurs déjà âgés ont perdu le bénéfice de leurs anciens cours, et qu'au milieu de leur carrière ils recommencent, jusqu'à un certain point, à apprendre leur métier tandis que les professeurs nouveaux ne sont pas guidés par une tradition ferme et indiscutable.

Pour la première fois, ils ont des initiatives à prendre sans disposer de repères sécurisants. L'union devient une double nécessité : pour conjuguer les efforts de tous, mais aussi pour assurer un contact en cas de difficultés du professeur devant l'organisation de dispositifs expérimentaux nouveaux.

Une première collaboration de 154 professeurs avec Henri Abraham, maître de conférences de physique à l'École normale supérieure, aboutit en 1904 à la publication du *Recueil d'expériences élémentaires de physique* (1904), destiné à aider les plus déconcertés. En 1906, à l'initiative de la Société française de physique, pour aider ceux qui éprouvent des difficultés à concevoir des expériences, une exposition est organisée au Musée pédagogique. Les professeurs qui ont des suggestions à proposer sont invités à présenter leurs appareils de manipulation. À l'occasion de cette manifestation est créée l'Union des physiciens, « pour se défendre et mieux servir la cause de la réforme » [Mermet, 1907, p. 6]. Cette société, à l'initiative d'un professeur de Rouen, A. Buguet, est formée par des professeurs de physique, chimie, histoire naturelle. Le président en est A. Mermet du lycée Charlemagne, la vice-présidente, É. Mourgues du lycée Fénelon, les secrétaires J. Lemoine du lycée Louis-le-Grand et E. Brucker du lycée de Versailles. En 1907 l'association comprend 277 membres dont H. Abraham, secrétaire général de la Société française de physique, ainsi que des chefs d'établissements. L'Union édite un *Bulletin* mensuel qui organise un « office des laboratoires » — sorte de mutuelle d'idées entre collègues —, publiant questions et réponses. Son influence va grandissant auprès des professeurs : toutes les circulaires et les réglements spéciaux concernant le personnel chargé de l'enseignement de sciences physiques et naturelles parues depuis 1886 sont publiées en juillet 1907 ; dans les cinq premiers numéros de mars à octobre 1907, 39 questions sont posées ; des rubriques spécialisées apparaissent, concernant par exemple, la question des garçons de laboratoire, la responsabilité au cours d'accidents. À Pâques 1907, le bulletin s'ouvre aux écoles primaires supérieures (EPS), aux écoles professionnelles, et aux professeurs de facultés des sciences enseignant au niveau du diplôme universitaire PCN (Physique-Chimie-(Sciences) Naturelles). Des rapports concernant les exercices pratiques en Angleterre montrent l'intérêt que les professeurs portent à l'enseignement des sciences à l'étranger.

Si des difficultés entravent leur mise en œuvre effective, les séances d'exercices pratiques vont néanmoins se développer peu à peu à l'initiative chaotique de quelques professeurs. La nouvelle organisation de l'enseignement modifie les conditions du professorat de physique : auparavant, le professeur concevait son enseignement d'une manière individualiste, n'ayant de comptes à rendre qu'à l'inspecteur qui le visitait. Avec la création des exercices pratiques et les exigences du nouvel enseignement, le besoin s'affirme d'un échange professionnel à travers le *Bulletin de l'Union des physiciens*. Chaque professeur, même seul en province, est désormais relié à un réseau d'échange. Les idées circulent et avec elles le changement des pratiques. Au départ, les questions sont simplement d'ordre technique, mais assez vite, dès 1907 et 1908, elles prennent un tour plus pédagogique : faut-il distribuer les feuilles d'exercices avant la séance ? Quelle forme donner aux cahiers d'exercices ? Quelle duplication est préférable ? Combien d'élèves par groupe ? Le professeur s'interroge sur l'organisation de son activité et, chose nouvelle, s'adresse aux autres. La profession change et s'organise collectivement. Des suggestions sur les pratiques apparaissent : tel professeur explique sa préférence pour la règle à calcul ; tel autre s'étend sur les mérites comparés de la rédaction avant ou après les travaux pratiques. Ainsi naît peu à peu une véritable réflexion pédagogique concernant les exercices pratiques. Au début, le matériel étant insuffisant, les exercices pratiques sont tournants (plusieurs exercices différents sont proposés par séance, et les groupes d'élèves passent successivement par chaque poste de travail) ; peu à peu, avec l'acquisition progressive de matériel, on est porté à s'interroger sur les mérites comparés des deux sortes d'exercices pratiques : tournants ou homogènes ? Quelle est la meilleure organisation d'une salle de travaux pratiques ? Quel rôle attribuer aux livres ? De véritables débats envahissent le *Bulletin*, commençant à révéler des préoccupations didactiques qui débordent les simples exercices pratiques.

Des expériences de travaux pratiques à la critique des cours, le pas est vite franchi, qui mène à des discussions de fond sur les méthodes utilisées : expériences guidées ou autonomes ? Résultats à découvrir ou à vérifier ? Évaluation des travaux ? Deux courants s'affrontent : les pragmatiques optent pour des séances homogènes permettant de minimiser la surcharge de travail, mais sacrifiant un véritable questionnement par l'élève ; les tenants des exercices pratiques dits « actifs » rappellent, en se référant aux textes de la réforme, que la méthode reine en sciences physiques est la démarche expérimentale et réclament une « véritable induction par les élèves ». La question est débattue avec ardeur d'octobre 1909 à juillet 1910. Chaque numéro, ou presque, présente alors un article général sur les exercices pratiques, soit huit articles au total dont la moitié consacrée aux exercices pratiques actifs. En mai 1910 Henry Le Chatelier, membre de l'Union des physiciens, va même jusqu'à affirmer que « l'utilité des cours de physique et chimie est très discutable au début de l'enseignement [...] ; que le seul objet de l'enseignement des sciences physiques jusqu'au baccalauréat première partie devrait être l'acquisition de notions précises sur les phénomènes naturels, et ces notions ne peuvent s'acquérir que par le travail personnel, c'est-à-dire le travail manuel » [Le Chatelier, 1910, p. 170].

C'est là, pour la profession, un véritable renversement des valeurs jusque là admises. Certains professeurs craignent d'ailleurs que leur enseignement ne dévie vers un enseignement de travaux manuels considéré comme inférieur. E. Bertinet, en 1905, s'interroge au Conseil académique de Paris : « [faut-il] supposer que l'administration entende faire dégénérer les exercices pratiques en travaux manuels ? »[*A.N.*, rapport de 1905]. Jusqu'alors, un professeur était considéré comme supérieur à l'ouvrier, d'où une inquiétude de voir son image sociale changer, avec les frustations qui en découlent et que l'on tente d'atténuer en évoquant l'exemple de Jean-Baptiste Dumas qui déclarait : « ne craignons pas de lire même les prospectus ».

Dans ces conditions, le choix des exercices pratiques est parfois à l'origine de conflits au sein d'un même établissement. La situation paraît suffisamment sérieuse pour que J. Lamirand juge nécessaire de l'évoquer dans son rapport de 1914 : « Vous m'avez entendu plusieurs fois, Messieurs, formuler des regrets au sujet d'un manque d'entente entre les physiciens d'une même maison. Le fâcheux état tend à disparaître de plus en plus ; plusieurs proviseurs déclarent en effet que le choix des exercices pratiques est arrêté en commun par les maîtres intéressés qui s'efforcent de donner la même orientation pédagogique à leur enseignement ».

Comme les exercices pratiques et la conduite des cours, les programmes suscitent des critiques. H. Dumas, professeur à Albi proteste : « comment peut-on concilier la méthode inductive avec les instructions et les programmes de 1902 ? » Sa lecture des intructions est que le professeur doit exposer les faits tels qu'ils sont compris à l'époque. Il se réfère pour cela à la démarche défendue par H. Bouasse, c'est-à-dire une démarche déductive à partir d'un principe général admis [Bouasse, 1901, p. 183]. Il note que l'exposé des programmes est en cohérence avec cette démarche, mais en contradiction avec l'exigence de la démarche inductive. On voit ainsi comment, tout en approfondissant leur compétence pédagogique, les professeurs prennent une position critique sur l'enseignement. Le choix des exercices se fait alors en commun : la notion d'équipe pédagogique se profile.

Le moment est propice aux innovations : la réflexion pédagogique devient plus générale. Des professeurs conçoivent d'autres façons de travailler ; certains font même découvrir les lois au cours de séances de travaux pratiques préalables au cours. L'impression s'impose alors d'un basculement possible du côté d'un enseignement fondé sur la pratique expérimentale inductive vécue par l'élève, ou du côté d'un enseignement centré sur le cours, avec des exercices pratiques plus systématisés. La bataille des arguments montre que le poids des raisons matérielles va l'emporter : la surcharge de travail, le manque de temps et les classes pléthoriques ont bientôt raison des puristes.

CONCLUSION

De cette étude sur l'innovation que constitue, après 1902, l'introduction des exercices pratiques dans l'enseignement secondaire, deux faits majeurs semblent se dégager.

Tout d'abord, en changeant le cadre de travail, c'est toute la profession — à travers la naissance de l'Union des physiciens — qui est modifié, voire le statut même du professeur de sciences physiques. La nouvelle pratique pédagogique du professeur, porteuse d'interrogations et de confrontation avec les pairs, l'attache toujours au savoir qu'il enseigne mais aussi aux méthodes de sa transmission. D'une pratique individuelle, la profession évolue vers une pratique plus collective. En ce sens, la création des exercices pratiques dépasse le simple niveau pédagogique. L'interaction des savoirs et des structures prend là toute sa force. D'autant, qu'à l'inverse, le poids des contraintes matérielles aura fait évoluer la nature même de ces exercices pratiques.

Même si les exercices pratiques suscitent une satisfaction presque unanime des autorités et des familles, il n'est pas sans intérêt de constater que, du point de vue pédagogique et didactique, dix ans après, prédominent des activités de simple mesure. Devenus ritualisés et fortement encadrés par le professeur débordé d'élèves, les exercices pratiques ne mettent l'accent que sur les activités d'exécution et favorisent plutôt l'habileté. En ce sens, ils constituent un progrès par rapport aux méthodes passives fondées sur la mémoire. Cependant, leur portée véritable peut être mise en cause. Car, si pour l'élève il en résulte une meilleure assimilation des connaissances et de meilleures performances aux examens, sa formation à la démarche scientifique et au processus de l'abstraction empirique n'est pas assurée, contrairement au but affiché de la réforme.

Bibliographie

A.N. (Archives nationales), Registres des procès-verbaux des séances du Conseil académique de Paris AJ 16 26842685.

A.N. (Archives nationales), Rapports au Conseil académique de Paris de 1902 à 1914 : séries AJ16 2689 ; AJ 16 2692 ; AJ 16 2697

Abraham (H.), *Recueil d'expériences élémentaires de physique*, Paris, Gauthier-Villars, 1904.

Aubert (A.), *Cahier de manipulations de physique*, Paris, Alcan, 1920.

B.A. (*Bulletin administratif*), n° 71, 7 juin 1902, programmes, pp. 739-856.

Balpe (C.), *Histoire de l'enseignement de la physique dans l'enseignement secondaire en France au XIX^e^ siècle,* Thèse de doctorat, Université Paris XI-Orsay, 1994, non publiée.

Belhoste (B.), « L'enseignement secondaire français et les sciences au début du XX^e^ siècle, la réforme des plans d'études et des programmes », *Revue d'histoire des sciences*, XLIII/4, 1990, pp. 372-400.

Berthelot (M.), « La crise de l'enseignement secondaire », *Revue des deux mondes*, 1891, pp. 338-374.

Bouasse (H.), « De l'enseignement des sciences expérimentales dans les lycées », *L'enseignement secondaire,* n° 11, 1901, pp. 183-186 et n° 12, 1901, pp. 203-206.

Ganot (A.), *Traité élémentaire de physique expérimentale et appliquée,* Paris, chez l'auteur, 1851 ; Paris, Hachette, 20^e^ édition, 1887.

Joubert (J.) (notes sur la conférence de), « L'enseignement des sciences physiques », *L'enseignement secondaire*, 24^e^ année, n° 8 du 15 avril 1903, pp. 133-135.

Le Chatelier (H.), « À propos des exercices pratiques dits "actifs" », *Bulletin de l'Union des physiciens*, n° 33, 1910, pp. 169-173.

Liard (L.), « Les Sciences dans l'enseignement secondaire », *Conférences du Musée pédagogique,* Paris, Imprimerie nationale, 1904*a*, pp. v-xiv.

Liard (L.), « Les Sciences dans l'enseignement secondaire », *Revue universitaire,* 13^e^ année, n° 3, 1904*b*, pp. 185-191.

Mermet (A.), « L'Union des physiciens, ses origines, son programme », *Bulletin de l'Union des physiciens*, 1907, pp. 4-13.

Niel (P.), *Manuel des travaux pratiques de physique,* Paris, Nathan, 1912.

Poincaré (L.), « Rôle des sciences expérimentales dans l'éducation », *Revue pédagogique,* nouvelle série, tome XLIV, n° 1, 1904, pp. 1-13.

Similitudes et différences des objectifs en physique dans les deux moments de réformes

Édith SALTIEL

La réforme de 1902 et celle des années 1970, appelée réforme « Lagarrigue », bouleversent toutes deux profondément l'enseignement des sciences physiques. Celle de 1902 place l'enseignement des sciences au même rang que celui des disciplines littéraires (en tout cas pour les garçons) et crée, de plus, des exercices pratiques. La réforme Lagarrigue crée de toutes pièces un enseignement de sciences physiques commun à tous les collèges et commençant dès la classe de sixième, enseignement qui veut se différencier largement des leçons de choses de l'enseignement primaire et de l'enseignement au lycée.

L'idéal serait de regarder s'il existe un écart entre les intentions des promoteurs de ces deux réformes et ce qui s'est réellement passé. En fait, les seules sources d'informations disponibles, en ce qui concerne l'après-réforme de 1902, sont les manuels scolaires de l'époque, et non les réactions des élèves (en effet, il n'existait pas à cette époque de travaux de didactique de la physique). L'objet de cette étude sera de voir si les objectifs pédagogiques affichés par les promoteurs des programmes sont similaires ou différents des choix pédagogiques des auteurs de manuels scolaires, ce qui suppose un examen minutieux des dits manuels, et ensuite d'analyser les éventuelles différences ou similitudes qui émergent de cette comparaison.

Toute comparaison suppose de comparer des choses comparables. Cela implique de s'intéresser à des niveaux d'études similaires (par exemple la physique au lycée, mais pas forcément la même classe), et, compte tenu de l'avancement des sciences entre 1902 et 1978, à un domaine de la physique qui puisse supporter une telle comparaison. Pour ces raisons, le sujet abordé concerne uniquement le principe d'inertie et les expériences qui l'accompagnent : bien que ce principe soit énoncé dans différentes classes, il est étudié de façon plus approfondie lors de l'introduction de la dynamique ou plutôt de l'aspect dynamique de la force, ce qui correspond à la classe de terminale pour la réforme de 1902 et à la classe de seconde pour la réforme Lagarrigue. Les documents utilisés pour ce travail sont de deux types : d'un côté, les programmes officiels, les instructions et différentes conférences pédagogiques et de l'autre des manuels scolaires, sans aucune référence à des énoncés d'exercices.

LE PRINCIPE D'INERTIE

Il faut tout d'abord noter que le principe d'inertie n'apparaît pas en tant que tel dans les programmes officiels (1902 et Lagarrigue) des lycées. Les programmes de 1902 sont courts. L'unité intitulée *Dynamique* dans la partie physique du cours (la mécanique était également traitée, à cette époque, en mathématiques, mais la partie correspondante du programme est encore plus courte) commence par « Chute des corps dans le vide et l'air; résistance de l'air, existence d'une vitesse limite. Expériences avec le plan incliné, la machine d'Atwood et la machine de Morin [...] » [*B.A.*, 1902, p. 845]. Cette partie de programme n'est accompagnée d'aucun commentaire.

Les programmes Lagarrigue sont plus détaillés et sont accompagnés de longs commentaires : « 2. Le centre d'inertie et la masse. 2-1. Mise en évidence expérimentale du centre d'inertie d'un corps solide [...] ». Les commentaires accompagnant la partie 2-1 sont les suivants :

> « [...] Ce qu'on appelle le *principe d'inertie* surprend le débutant et lui paraît en contradiction avec les observations courantes. Un objectif essentiel du programme est d'amener l'élève à ne plus commettre la faute, déjà dénoncée dans les commentaires des programmes des collèges, consistant à croire qu'il faut une force pour maintenir constant le vecteur vitesse. En utilisant une table à coussin d'air, ou tout autre dispositif permettant l'étude expérimentale d'un mouvement sans frottements dans un plan horizontal, on pourra mettre en évidence l'existence du centre d'inertie d'un solide et donner une première idée du principe de l'inertie. On peut lancer un solide d'abord de façon qu'il ait un mouvement de translation rectiligne, ensuite de façon quelconque. L'expérience révèle alors un résultat pour le moins surprenant : dans ce dernier cas, un seul de ses points, qui sera appelé centre d'inertie, reste animé d'un mouvement rectiligne et uniforme. » [*B.O.*, 1981]

Cependant, bien que non mentionné dans les programmes, l'énoncé du principe d'inertie figure dans les manuels pour les deux réformes. On trouve ainsi, par exemple :

Réforme de 1902	Réforme Lagarrigue
Chassagny « la vitesse d'un mobile dans un milieu fixe reste invariable si le milieu n'exerce sur le mobile aucune force » [Chassagny, 1907, p. 29]. Ganot -Maneuvrier « 1. Un corps ne peut rien changer de lui-même à son état de repos ni à son état de mouvement. 2- Si un corps libre n'est sollicité par aucune force, ce corps est, ou bien au repos, ou bien animé d'un mouvement de translation rectiligne et uniforme » [Ganot et Maneuvrier, 1913, p. 60].	Cros « lorsqu'un corps est soumis à des actions qui se compensent, il *existe* toujours un point, attaché à ce corps, appelé centre d'inertie, dont le mouvement est rectiligne uniforme » [Cros, 1979, p. 110]. Eurin- Gié Après le constat de l'existence d'un point particulier : « le mouvement du centre d'inertie de tout système isolé (ou pseudo-isolé) est rectiligne uniforme » [Eurin et Gié 1981, p. 161].

Les énoncés diffèrent d'une réforme à l'autre au niveau du contenu : l'un (réforme 1902) exprime l'idée qu'un corps soumis à une résultante des forces nulle a un mouvement rectiligne uniforme, alors que l'autre mentionne l'existence d'un point particulier dont le mouvement est rectiligne uniforme. Cette différence est-elle due au fait que la physique est plus avancée en 1970 qu'en 1900 ? Il n'en est rien puisqu'on trouve, dans un manuel de Chassagny édité après la réforme de 1902, dans le chapitre sur la quantité de mouvement, le principe de Descartes dont voici l'énoncé : « le centre de gravité d'un système conserve une vitesse invariable lorsque ce système se déplace sans recevoir d'impulsions extérieures » [Chassagny, 1907, p. 72].

Les commentaires du programme Lagarrigue permettent cependant de comprendre cette différence. En effet, il y est dit que « un seul de ses points [du solide] qui sera appelé le centre d'inertie, *reste* animé d'un mouvement rectiligne uniforme ». L'idée, à cette époque, est de considérer un solide et non un point matériel et de mettre en évidence qu'il existe un point du solide pour lequel quelque chose se conserve : ici, le mouvement rectiligne uniforme. Cette façon de faire est cohérente avec la suite du programme qui définit la quantité de mouvement d'un solide, puis d'un système constitué de deux solides pour terminer par la conservation de la quantité de mouvement. Pour cela, il est proposé de faire une expérience, sur une table à coussin d'air, avec deux palets porteurs d'aimants, et de vérifier que le mouvement du centre de masse de ces deux palets est rectiligne uniforme. Pour en déduire que le système est isolé (ou pseudo-isolé), il est indispensable d'avoir énoncé le principe d'inertie sous la forme donnée plus haut et non sous les formes de 1902.

Les intentions des auteurs des programmes Lagarrigue sont d'ailleurs claires. Déjà en 1971, Michel Hulin écrit :

> « Plus près des préoccupations spécifiques des physiciens et chimistes, signalons [...] la nécessité de dégager les grands *points d'ancrage* de leurs disciplines. Nous les situons à deux niveaux :
> — concepts : les notions de masse, énergie etc. ;
> — principes : les grandeurs reliées à ces concepts se voient imposer un certain nombre de conditions générales, exprimées par des *principes (de conservation, d'invariance, d'incertitude, de symétrie*, etc.). » [Hulin M., 1971, p. 251]

Cette même intention se retrouve dans les instructions officielles de 1981 :

> « Par cet enseignement [...] les élèves doivent pouvoir saisir la profonde unité de la science, sa continuité et le caractère complémentaire et indissociable de l'approche théorique et de l'approche expérimentale... Les études au lycée doivent leur assurer la *possession des grandes lois physiques qui sous-tendent* les réalisations techniques. » [CNDP, 1981, p. 111]

Ainsi, la réforme Lagarrigue prend non seulement appui sur des objets techniques et des phénomènes physiques mais aussi sur des grandes lois, ce que M. Hulin a appelé plus tard les super-lois :

> « On parlera ainsi de "superlois" — (invariance, conservation, symétrie) — au-dessus des "lois physiques" proprement dites, elles-mêmes diverses, (certaines exprimant des liens de causalité, par exemple, tandis que les "relations constitutives" n'ont de valeur qu'essentiellement phénoménologique, et décrivent les comportements particuliers de certaines classes de systèmes physiques). Les superlois sont directement reliées au processus même de formalisation mathématique [...]. » [Hulin M., 1992, p. 150]

Les directives pour la réforme de 1902 sont très différentes : Louis Liard, dans une conférence pédagogique, déclare « [...] c'est de ces sciences [expérimentales] que viennent deux notions essentielles, deux habitudes d'esprit qui sont des forces : la notion du fait expérimental constaté et la notion plus générale de la *loi naturelle* c'est-à-dire de la relation des faits individuels entre eux » [Liard, 1904, p. xii]. Gabriel Lippmann est beaucoup plus précis :

> « En dehors et au-dessus des lois et théorèmes, il y a l'appareil des théories ; les théories sont des outils d'ordre supérieur à l'usage des savants ; elles servent à prévoir des lois et des théorèmes, à diriger des tâtonnements, à guider vers de nouvelles expériences [...]. Cet ensemble de théories et de théorèmes possède pour nous un intérêt supérieur, bien supérieur à celui des applications qu'on en doit faire [...]. Mais ceci est pour nous, non pour nos élèves. » [Lippmann, 1904, p. 34]

C'est bien ce que l'on trouve dans les manuels de l'époque puisque l'enseignement de la dynamique étudie des lois ou principes qui se ramènent à l'étude de cas particuliers de la deuxième loi de Newton $\vec{F} = m\vec{\gamma}$.

Cette « simple » différence dans le contenu du principe d'inertie est révélatrice d'objectifs pédagogiques différents, objectifs intimement liés à l'état des connaissances des époques correspondantes. La réforme Lagarrigue introduit ainsi au lycée des super-lois (conservation de la quantité de mouvement, de l'énergie mécanique, de l'énergie et prise en compte des symétries pour les champs électrique et magnétique), alors que la réforme de 1902 insiste sur les « lois naturelles », les théories étant réservées à l'enseignement supérieur.

LE PRINCIPE D'INERTIE ET LES EXPÉRIENCES D'ACCOMPAGNEMENT

Chaque réforme préconise l'utilisation d'un dispositif expérimental approprié, c'est-à-dire d'un dispositif *ad hoc*, fabriqué spécialement pour l'enseignement, malgré les déclarations de principe de ne pas faire appel à des appareils spéciaux.

En 1902, le dispositif utilisé est ancien puisqu'il s'agit de la machine d'Atwood, qui a été introduite dans l'enseignement en 1784. Elle sert, en dernière année de lycée, à « démontrer » ou « illustrer » (cela dépend des auteurs des manuels) plusieurs lois dont le principe d'inertie.

Le dispositif généré par la réforme Lagarrigue est un dispositif nouveau et technologiquement complexe : il s'agit de la table à coussin d'air. Ce dispositif sert à « mettre en évidence à la fois le principe d'inertie et l'existence du centre d'inertie d'un solide ». [CNDP, 1979, p. 32]

La machine d'Atwood (voir la figure 1) étudie uniquement les mouvements rectilignes d'un mobile unique, alors que la table à coussin d'air permet d'étudier des mouvements d'un ou plusieurs mobiles, chacun d'eux étant plus complexes. En effet, il est possible, avec une table à coussin d'air, d'analyser le mouvement d'une équerre, par exemple. La figure 2 montre que le mouvement d'un point quelconque (représenté ici par des croix) est complexe, alors que celui du centre d'inertie (représenté par des points) est rectiligne uniforme.

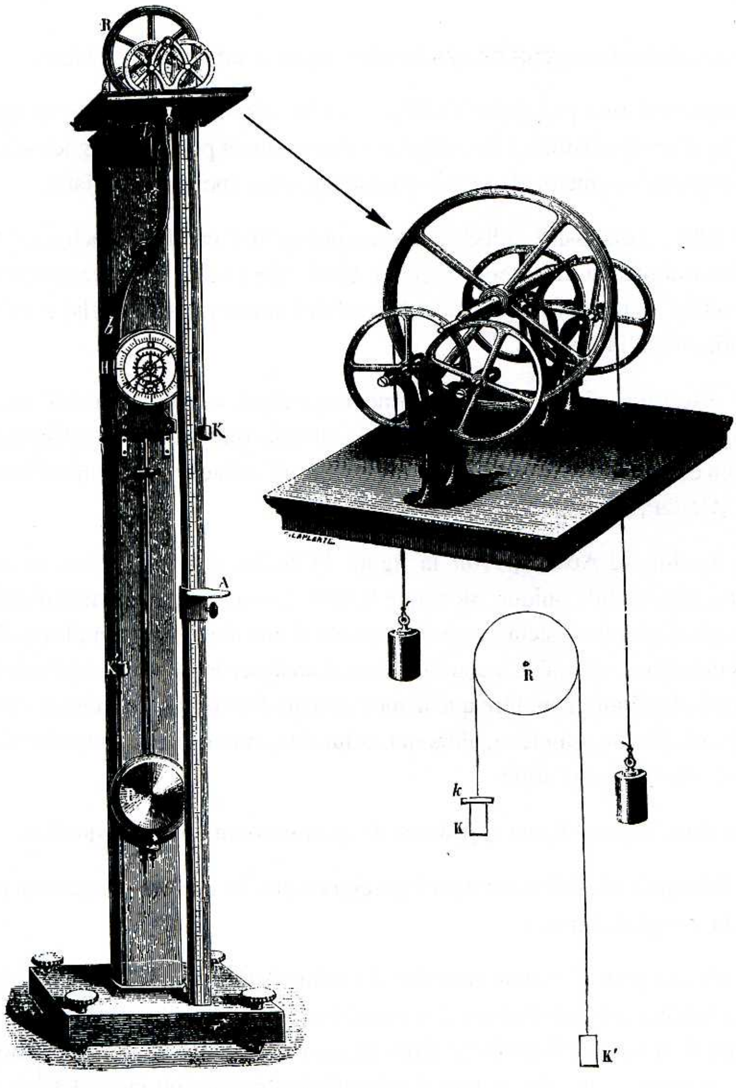
Ces deux dispositifs ont cependant des points communs remarquables :

— fabriqués spécialement pour l'enseignement, ils ne sont absolument pas utilisés dans la vie quotidienne ;

— ils ont pour fonction première de minimiser, voire éliminer, le frottement solide. La table à coussin d'air est de ce point de vue beaucoup plus performante que la machine d'Atwood. Citons Pierre Provost qui est à l'origine de l'introduction de cet appareil : « Ainsi, plus l'on veut que le phénomène étudié soit pur et les lois rendues plus simples, plus il est nécessaire de se placer dans une enveloppe technologique complexe [...]. La table à coussin d'air peut être présentée comme un bon moyen pour permettre la permanence d'un mouvement » [Provost, 1973] ;

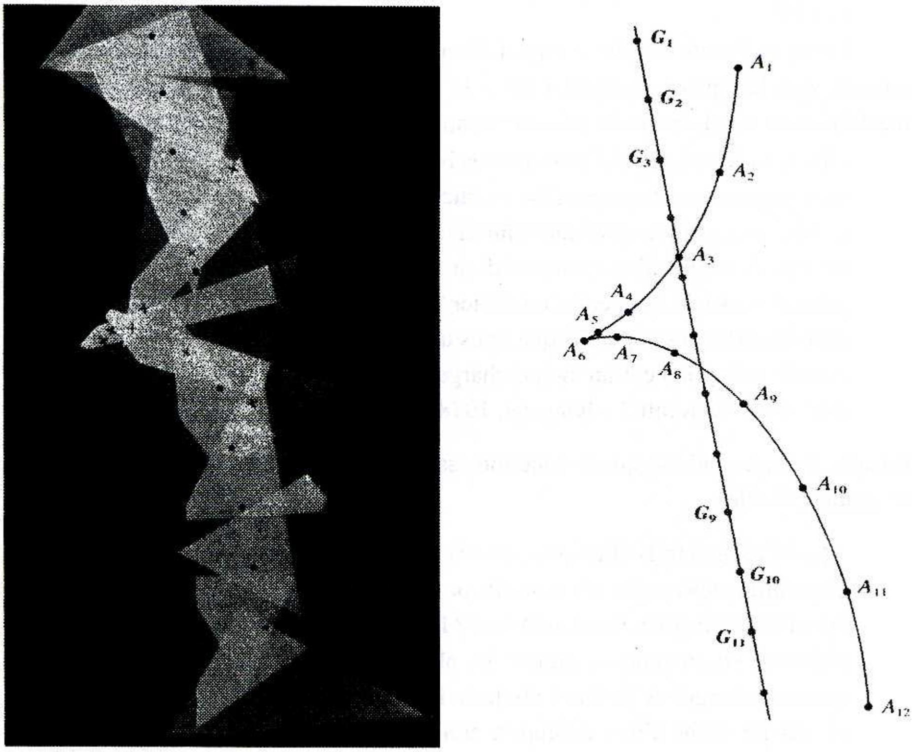
— ils sont de plus contestés par de nombreux physiciens. Citons, à ce propos, deux extraits de textes parus dans le *Bulletin de l'Union des phycisiens* en 1912 et en 1978.

Machine d'Atwood



Principe : réduite à son organe essentiel la machine se compose d'une poulie sur laquelle passe un fil soutenant à ses extrémités deux masses égales K et K'. L'une d'elle peut recevoir une masse additionnelle k.

Étude du mouvement du centre d'inertie



Une plaque triangulaire dont le centre de gravité G est repéré par un point est lancée sur une table à coussin d'air. Une fois lancée, elle est photographiée à des intervalles de temps égaux. Un point A quelconque a un mouvement curviligne, le point G une trajectoire rectiligne. (D'après *Physique-Chimie*, classe de seconde, collection Eurin-Gié, Paris, Hachette, 1987, p. 170.)

Dans le premier texte, l'auteur considère que la machine d'Atwood a, en plus des autres inconvénients décrits par ailleurs, celui de n'avoir aucun intérêt historique :

> « La machine d'Atwood a tenu bon. Elle a décidément la vie dure [...]. On nous recommande d'exposer les faits sans souci du côté historique et l'on nous impose justement un appareil qui n'a jamais servi à découvrir une loi. » [Devaud, 1912, p. 184]

Le second texte est plus complet. Dans une première partie, l'auteur, J. Gatecel, rappelle que le reproche essentiel fait à la table à coussin d'air, tout comme pour la machine d'Atwood, est de ne pas être un appareil de la vie quotidienne :

> « Il est souvent reproché aux tables et bancs à air d'être des appareils sophistiqués, sans rapport avec les appareils et véhicules usuels. Ils tendent, en effet, à éliminer le frottement solide alors que celui-ci joue, dans le cas général, un rôle fondamental. Que les véhicules à coussin d'air soient éloignés, dans leur conception, des véhicules usuels, qui peut le contester ? Mais n'en est-il pas de même pour la plus grande partie des appareils que nous utilisons en classe ? La machine d'Atwood est-elle plus proche d'un monte-charge à contrepoids, qu'un véhicule sur coussin d'air d'un overcraft ? » [Gatecel, 1978, p. 884)]

Ensuite, l'auteur précise que la fonction essentielle de ces appareils est d'éliminer le frottement solide :

> « [...] Ces appareils éliminent, en effet, le frottement solide, mais la plupart des dispositifs expérimentaux n'ont-ils pas pour fonction d'éliminer un certain nombre de facteurs difficiles à maîtriser ? Il est vrai que trop souvent le professeur de physique se contente d'étudier les phénomènes parfaitement épurés [...]. S'il existe un danger de limiter l'étude de la mécanique à celle de situations apurées, ce danger vient d'une évolution constante, depuis plusieurs années, de notre enseignement vers le purisme et non de la mise en place de tables et bancs à air. »

Ces dispositifs répondent à des objectifs communs aux deux réformes : il s'agit, en effet, d'illustrer, à l'aide d'une expérience, un phénomène physique très épuré, même si, avec la table à coussin d'air, l'analyse du mouvement d'un solide est plus précise qu'avec la machine d'Atwood. Épurer un phénomène est une habitude de physicien qui, partant d'une situation physique compliquée, cherche à trouver une situation de plus en plus pure pour arriver à cerner le phénomène physique majeur de la situation étudiée. Ici, nous ne partons pas de situations physiques complexes puisque tout frottement solide est éliminé. Jean Gatecel prône une utilisation assez intéressante, car en relation avec notre vie quotidienne, de la table à coussin d'air qui consiste à montrer aux élèves qu'un véhicule ne peut absolument pas démarrer sans force extérieure (« Les élèves qui disposent d'une table à coussin d'air pourront au moins s'apercevoir qu'un véhicule ne peut démarrer sans force extérieure et que, dans la plupart des cas, la force motrice est la force de frottement. »). Cette utilisation n'est jamais préconisée dans les commentaires des programmes, ni dans les instructions ; c'est pourtant grâce aux frottements que nous pouvons marcher, rouler en voiture... Il faut des pluies verglacées pour nous faire prendre conscience que la mécanique de tous les jours est une mécanique avec frottement. Ceci nous amène à regarder comment les manuels traitent du principe d'inertie en relation avec la vie quotidienne.

LE PRINCIPE D'INERTIE ET LA VIE QUOTIDIENNE

Les promoteurs des deux réformes [voir par exemple, Poincaré, 1904, p. 49 ; Liard, 1904, p. viii ; Hulin M., 1971, p. 247] insistent beaucoup sur le fait que l'enseignement de sciences physiques doit s'adresser à tout le monde et non uniquement à des futurs spécialistes et qu'il doit être concret en étant plus près de la vie quotidienne. Or, comme nous venons de le voir, les expériences réalisées avec les deux dispositifs décrits plus haut sont des expériences « théoriques » qui ont pour objectif essentiel d'illustrer le principe d'inertie et donc, pour les différents auteurs, un phénomène physique épuré. Les commentaires et les manuels de ces deux réformes se réfèrent parfois à des phénomènes de la vie quotidienne, mais rarement après l'étude du principe d'inertie. Nous trouvons cependant une exception avec un livre écrit avant la réforme de 1902. À cette époque, il existe deux types de manuels qui traitent tous deux de la machine d'Atwood mais qui diffèrent au niveau du chapitre introductif et de ce qui est dit au sujet du principe d'inertie. En effet, l'un d'eux, celui qui est écrit essentiellement pour des jeunes filles, traite de certains phénomènes quotidiens, pour lesquels le principe d'inertie intervient de façon prioritaire. Citons un extrait de ce manuel intitulé *Cours de physique purement expérimental et sans mathématiques*, écrit par A. Ganot et qui ne comporte aucune formule, aucun calcul :

> « Inertie de la matière. On entend par inertie de la matière, la propriété de persister à l'état où elle se trouve ; c'est-à-dire de demeurer à l'état de repos, si elle est en repos, et à l'état de mouvement, si elle est en mouvement [...]. Ce dernier principe paraît peut-être moins évident que le premier, parce que nous sommes habitués à voir le mouvement des corps se ralentir graduellement, et ceux-ci revenir enfin au repos [...]. Mais si ces corps retournent ainsi progressivement au repos, ce n'est pas par l'effet d'une préférence naturelle. » [Ganot, 1866, p. 18]

Vient ensuite un long paragraphe intitulé « Applications de l'inertie »

> « Par exemple, une personne qui descend d'une voiture en marche conserve le même mouvement dont elle est animée avant de descendre, d'où il résulte qu'au moment où elle touche le sol, elle est renversée dans la direction que suit la voiture [...] ».

Suit alors une page entière d'exemples de la vie quotidienne (un homme qui court et dont le pied heurte un obstacle, un cheval au galop qui s'arrête trop brusquement, des patineurs sur la glace, les accidents de chemin de fer) et l'auteur enfin cite le nom de quatre jouets.

Reprenons l'exemple de la personne qui descend d'une voiture ou plutôt d'un train en marche. Tous ceux qui ont essayé la première fois de leur vie de descendre d'un

COURS

DE

PHYSIQUE

PUREMENT EXPÉRIMENTALE ET SANS MATHÉMATIQUES

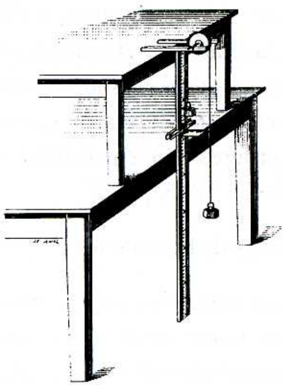
A L'USAGE DES GENS DU MONDE,
DES CANDIDATS AU BACCALAURÉAT ÈS LETTRES,
DES ÉCOLES NORMALES PRIMAIRES, DES INSTITUTRICES, DES PENSIONS
DE DEMOISELLES, ETC.

A. GANOT (1866)

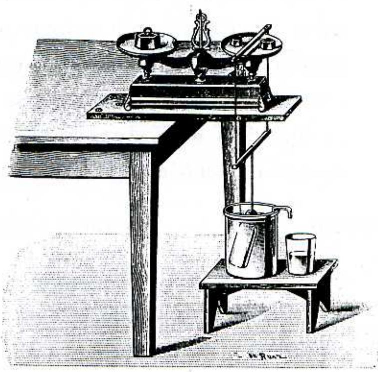
Application du principe d'Archimède

Attitudes nécessaires à la stabilité

RECUEIL D'EXPÉRIENCES DE PHYSIQUE
H. ABRAHAM (1904)



Dispositif pouvant être substitué à une machine d'Atwood tout installée



Principe d'Archimède

train en marche ont eu quelque surprise, allant parfois jusqu'à tomber. L'expérience, dans le cas présent, n'aide pas toujours à comprendre. Une façon de comprendre est d'appliquer le principe d'inertie au mouvement horizontal de la personne : cette dernière garde, en effet, sa vitesse horizontale tant qu'aucune force horizontale ne s'exerce sur elle. Dans cette situation, la seule force horizontale qui puisse s'exercer sur la personne est une force due à la résistance de l'air qui, compte tenu de son intensité, ne peut provoquer une modification décelable de vitesse. Apparemment, le « purisme » de notre enseignement et le souci d'être précis empêchent les promoteurs de ces programmes d'avoir recours à une analyse physique, parfaitement rigoureuse, de situations physiques complexes où pourtant le phénomène le plus important, au niveau des ordres de grandeur, est celui que l'on peut analyser à l'aide du principe d'inertie.

Pourquoi, aucun manuel consulté, autre que ce manuel pour jeunes filles, ne mentionne-t-il pas, après les énoncés du principe d'inertie et les expériences réalisées, ce type d'expériences ? Pourquoi, à partir des situations « pures » étudiées, ne pas revenir sur une analyse de situations moins pures, mais plus quotidiennes ? Avant 1902, cet objectif est explicite pour les jeunes filles, comme le souligne Victor Duruy qui précise que l'on donnera dans l'enseignement secondaire féminin « la démonstration pratique des vérités scientifiques » [Duruy, 1867, p. 523]. Cet objectif n'existe pas pour les garçons puisque le manuel qui leur est destiné [Ganot et Maneuvrier, 1887], écrit par le même auteur, parle du principe d'inertie et non de l'inertie de la matière, utilise des formules et des symboles, et omet de mentionner quelques uns des exemples concrets de la vie quotidienne cités dans le manuel pour jeunes filles.

Faut-il penser que les auteurs des programmes des deux réformes valorisent beaucoup plus les calculs précis et complets que l'analyse physique sous-jacente ? Pensent-ils que cette physique est une physique peu rigoureuse et non digne de scientifiques ? Tous les manuels ont le souci, dès lors que des formules et théorèmes ou principes ont été énoncés, de vouloir traiter uniquement tout ce qui est calculable (et donc de ne pas parler de situations pour lesquelles il est impossible, au lycée, de faire le calcul complet). Ce souci empêche les manuels de traiter des phénomènes de la vie quotidienne, même si les effets de certains de ces phénomènes « non calculables » sont négligeables du point de vue de leurs ordres de grandeur, par rapport à d'autres, beaucoup plus importants.

CONCLUSION

Il ressort de cette étude que si certaines intentions (ou objectifs) pédagogiques des promoteurs et auteurs de réformes coïncident avec les choix pédagogiques des auteurs de manuels, d'autres en sont fortement éloignées. Il y a, en effet :

— coïncidence entre intentions et choix avec l'introduction des seules « lois naturelles », en 1902, et des « super-lois », avec la réforme Lagarrigue ;

— coïncidence, d'une réforme à l'autre, pour l'utilisation de dispositifs expérimentaux *ad hoc*, permettant d'illustrer un phénomène physique pur ;

— contradiction entre intentions affichées et choix pédagogiques : c'est le cas lorsque les manuels ne traitent que de situations physiques pures, situations pour lesquelles il est, en général, possible de tout calculer. Ce choix est contradictoire avec l'objectif affiché d'avoir un enseignement plus proche de la vie quotidienne, puisque toute analyse physique d'une situation de la vie quotidienne complexe est implicitement interdite.

Bibliographie

B.A., *Bulletin Administratif* du 7 juin 1902, pp. 845-847.

B.O., *Bulletin Officiel*, n° spécial 1 du 5 mars 1981.

Chassagny (M.), *Cours élémentaire de physique, classe de terminale*, Paris, Hachette, 1907.

CNDP, brochure n° 6090, 1979, p. 32.

CNDP, brochure n° 6059, 1981, pp. 111-112.

CNDP, brochure n° 6018, 1982, p. 20.

Cros (A.), *Fondements de la physique, classe de 2^e*, Paris, Belin, 1978.

Devaud (J.), « Les nouveaux programmes de sciences physiques ». *Bulletin de l'Union des physiciens,* 1912, pp. 184-186.

Duruy (V.), « Instruction relative aux dispositions complémentaires de la loi du 10 avril 1867, en ce qui concerne l'enseignement des filles » (1867), dans *L'administration de l'Instruction publique de 1863 à 1869 (ministère Duruy),* Paris, Delalain, 1869.

Eurin (M.) et Gié (H.), *Sciences physiques, classe de seconde C,* Paris, Hachette, 1981.

Ganot (A.), *Cours de physique purement expérimental et sans mathématiques*, Paris, chez l'auteur-éditeur, 1866.

Ganot (A.) et Maneuvrier (G.), *Traité élémentaire de physique*, Paris, Hachette, 1887.

Ganot (A.) et Maneuvrier (G.), *Traité élémentaire de physique*, Paris, Hachette, 1913.

Gatecel (J.), « Mécanique sur coussin d'air », *Bulletin de l'Union des physiciens,* n° 603, avril 1978, pp. 883-922.

Hulin (M.), « Remarques préliminaires relatives à l'enseignement dit de technologie » (rapport d'orientation), *Bulletin de l'Union des physiciens,* n° 539, novembre 1971, pp. 247- 251.

Hulin (M.), *Le Mirage et la nécessité*, Presses de l'École normale supérieure et Palais de la Découverte, Paris, 1992, p. 150.

Liard (L.), « Les sciences dans l'enseignement secondaire », *Conférences du Musée pédagogique,* Paris, Imprimerie nationale, 1904, pp. v-xiv.

Lippmann (G.), « Le but de l'enseignement des sciences expérimentales », *Conférences du Musée pédagogique,* Paris, Imprimerie nationale, 1904, pp. 29-45.

Poincaré (L.), « Les méthodes d'enseignement des sciences expérimentales », *Conférences du Musée pédagogique,* Paris, Imprimerie nationale, 1904, pp. 47-70.

Provost (P.), Archives de la Commission Lagarrigue, séance du 14-12-1973 (Centre des Archives contemporaines de Fontainebleau, cote 940636/1 et 2).

La réforme des mathématiques modernes, discours, polémiques et réalités

Patrick TRABAL

Au lendemain de sa création en octobre 1966, la commission Lichnerowicz chargée par le ministre de l'Éducation nationale, C. Fouchet, « de se pencher sur l'enseignement des mathématiques en France, de la maternelle à l'Université » [Gaussen, 1966], affirme que son objectif n'est pas d'élaborer « une réforme définitive mais une réforme lente à caractère culturel » (réunion du 1er février 1967). La réforme des mathématiques modernes, à laquelle est attachée l'œuvre de cette commission, ne peut en effet s'identifier à la modification radicale de programmes d'enseignement de mathématiques. L'expression même de « réforme des mathématiques modernes » pose d'ailleurs problème. Sans revenir sur le qualificatif « modernes », dénoncé par tous les promoteurs de la réforme, mais sanctionné par l'usage, notons que le terme de « réforme » donne à cet épisode de l'histoire de l'enseignement une allure volontariste. Or les décisions politiques de créer une commission, puis de modifier les programmes de mathématiques, ne peuvent à elles seules résumer ce mouvement de transformation, même si leur rôle reste central.

L'entreprise visant à « re-former » l'enseignement des mathématiques a commencé en fait bien des années avant la création de la commission Lichnerowicz. Elle marque l'aboutissement d'une réflexion amorcée en dehors des autorités officielles, d'une longue maturation d'idées novatrices émanant de mathématiciens (à la suite de la volonté bourbakiste de « re-former » l'ensemble des mathématiques [Bourbaki, 1939-1967 ; Dieudonné, 1959]) [1], de psychologues (sous l'influence de J. Piaget — voir par

(1)Note des éditeurs : Au niveau du 3e cycle universitaire, le renouveau a son origine dans la publication des premiers fascicules de Bourbaki. Dès 1949-1950, Gustave Choquet fait un cours rénové de premier cycle en MPC ; ce cours a été publié par la Corporation des étudiants. En ce qui concerne le 2e cycle (et ses répercussions sur le 1er cycle), s'il y avait déjà eu un cours non publié d'inspiration bourbakiste de Jean Dieudonné à Nancy, le renouveau est marqué par le cours de C.D.I. (calcul différentiel et intégral) donné à Paris par Gustave Choquet de début 1954 à juillet 1954 lorsqu'il succéda à Georges Valiron ; un résumé du cours fut publié pendant cette période par la Corporation des étudiants. Dès octobre 1954 Gustave Choquet développe complètement sa conception du cours de C.D.I. et, à partir de 1955, des fascicules du cours sont exemple [Piaget, 1955]), et surtout de pédagogues et d'enseignants de mathématiques qui se retrouvent au sein de l'APMEP (Association des professeurs de mathématiques de l'enseignement public) et qui, pour certains, ont effectué de nombreuses expérimentations dans le cadre de l'INP (Institut national pédagogique) [Picard, 1971].

Il semble cependant difficile d'expliquer les origines de la réforme en ne faisant référence qu'aux seuls acteurs que nous venons de mentionner. Il faut tenir compte également de l'Inspection générale qui doit fournir une réponse à des enseignants très demandeurs d'une réforme pédagogique au moment même où se manifestait une crise de recrutement particulièrement difficile [Magnier, 1974], et du pouvoir politique qui souhaite répondre aux problèmes soulevés à la fois par la restructuration du système scolaire et le déficit en ingénieurs qualifiés [Charlot, 1991]. Par ailleurs, à la même époque, de nombreux pays industrialisés (les USA, la Belgique, le Canada, la Suisse...) travaillent à l'introduction des mathématiques modernes dans leur enseignement. La décision politique de créer la commission Lichnerowicz n'est donc pas surprenante.

Composée d'abord d'une vingtaine de personnes, la commission poursuit une réflexion amorcée les années précédentes. Les événements ultérieurs vont cependant réorienter ses travaux. À la séance du 10 mars 1969, le ministre E. Faure lui-même impose « l'idée d'un tronc commun à mettre immédiatement en place ». À la suite de cette réunion, la mission, l'organisation et la structure de la commission sont complètement modifiées ; d'une part sa tâche se concentre dorénavant sur l'élaboration de programmes, d'autre part son effectif s'accroît très rapidement, passant du simple au double. Viennent s'ajouter des membres de l'IGEN, de l'enseignement supérieur, de l'enseignement secondaire, un représentant de l'édition... afin que tous les acteurs soient parfaitement représentés. Enfin, le nouveau statut de la commission (tâche plus clairement définie, création d'un secrétariat aux commissions, intégration dans le processus décisionnel...) lui vaut un surcroît de reconnaissance et une plus grande subordination au pouvoir politico-administratif, qui impose notamment des échéances l'obligeant à écrire des programmes dans un temps très court. Dans ces conditions, les intentions initiales de la commission deviennent irréalisables.

Les réformateurs, très vite critiqués, mettent en avant, pour se défendre, ces contraintes qui les ont empêchés de disposer du temps nécessaire pour tester tous les programmes, pour rédiger de bons manuels, et surtout pour former les maîtres. Les polémiques qui se développent rapidement donnent lieu, de part et d'autre, à des discours qu'il nous semble intéressant d'analyser. Nous examinerons ici trois des

---

publiés par le C.D.U. (Centre de documentation universitaire) situé alors place de la Sorbonne. Dans une introduction au premier fascicule (*Algèbre des ensembles et algèbre*), Gustave Choquet explique l'esprit nouveau du cours. Suivent deux autres fascicules *Nombres réels et nombres complexes ; algèbre linéaire* et *Espaces topologiques et espaces métriques*. Plus tard le cours de Gustave Choquet *Équations différentielles* sera publié par la Corporation des étudiants. Les développements ultérieurs se trouvent dans son cours de l'École polytechnique qui contient un exposé original de l'intégration et dans son cours de topologie publié en 1964 par les éditions Masson.

principales critiques auxquelles fut confrontée la réforme, et nous en évaluerons la légitimité en les confrontant aux intentions déclarées des réformateurs.

UN ENSEIGNEMENT DOGMATIQUE ?

Une première critique, très souvent formulée, dénonce le caractère dogmatique du nouvel enseignement. Or, c'est en partie en réaction contre le dogmatisme de l'enseignement précédent que les mathématiciens ont défendu l'idée qu'une réforme était nécessaire. On note dans leurs discours une volonté de rupture avec l'enseignement traditonnel qui « a consisté à imposer un mode unique d'exposition de résultats acquis, excluant toute liberté, aussi bien chez le maître que chez l'élève » [Revuz, 1963, p. 56].

Les réformateurs font une analyse très sévère du système, comme le montre cet extrait d'un article de M. Glaymann dans le supplément éducation du journal *Le Monde* :

> « Pourquoi tant d'enfants, par ailleurs doués en latin ou en grec par exemple, sont-ils hostiles voire même hermétiques aux mathématiques ? Les causes sont multiples [...]. La mathématique, science vivante et dynamique, utilisée de plus en plus dans de multiples domaines de l'activité humaine est encore aujourd'hui enseignée telle une langue morte coupée de ses applications. L'enfant est enfermé dans des dogmes austères non conformes à sa pensée et à sa sensibilité ; il n'a aucune liberté. » [Glaymann, 1967]

Avec la réforme, il s'agit au contraire de transformer ce rapport aux mathématiques pour montrer leur « aspect libérateur » — expression souvent utilisée par les réformateurs —, de renoncer à des définitions figées, de refuser d'enseigner des « recettes », de faire comprendre enfin que « la mathématique n'est pas un ensemble d'axiomes, mais la pensée imaginative et créatrice de méthodes et de techniques » [Lichnerowicz, 1979]. Telles sont les intentions des promoteurs de la réforme : « Il ne s'agit pas d'enseigner une science toute faite, mais de faire acquérir un mode de pensée. C'est dire que tout dogmatisme doit être banni. » [Revuz, 1963]

Il est difficile d'affirmer, plus de vingt ans après, que l'enseignement des mathématiques modernes a été plus, ou moins dogmatique que le précédent. Cependant, un certain nombre de textes de l'époque montrent que les mathématiques restent perçues comme une discipline où l'on avance des idées sans les discuter. Dans un de ses ouvrages, S. Baruk relève, en 1973, des expressions caractéristiques — toujours largement utilisées dans les classes —, réduisant l'activité mathématique à l'application de règles rigoureuses qui ne se discutent pas plus que des règles de droit : « A-t-on le droit de mettre au carré ?... Peut-on faire passer x de l'autre côté ?... Ça ne peut pas faire 0 ? » [Baruk, 1973]. Les réformateurs eux-mêmes formulent ce même type de critique dans plusieurs interviews. Ainsi, A. Revuz explique, dès les premières années, dans un entretien accordé à M.-A. Schiltz :

> « Ce qui me fait une peine épouvantable, c'est quand je suis dans une classe [...] et que je vois des élèves qui ont des idées extraordinaires, pertinentes, évidemment mal exprimées [...] et le prof qui ne comprend rien leur dit "c'est pas ça"... Exemple : 0 n'a pas d'inverse. Alors il y a une élève qui spontanément dit : s'il avait un inverse, en le multipliant par 0 ça ferait 0 mais ça devrait faire 1. Réaction du prof : moi j'aime mieux qu'on dise comme ça : si 0 avait un inverse et bien ça ferait 1/0 et bien ça ne se peut pas. » [Revuz, 1974]

Ces constats navrés renvoient en fait à une question essentielle, celle de la formation des maîtres. Le manque de formation des enseignants, aggravé par la médiocrité des nouveaux manuels parus dans le cadre de la réforme, est un obstacle majeur à la mise en place de la réforme. La nécessité de la formation des maîtres est, depuis des années, considérée comme un des éléments indispensables au succès d'un nouvel enseignement : c'est une revendication de l'APMEP qui participe très tôt à l'effort de formation [APMEP, 1968a, 1968c, 1972 ; Walusinski, 1971] et cet aspect s'impose comme une des premières priorités de la Commission Lichnerowicz. La création des IREM (Instituts de recherche pour l'enseignement des mathématiques) en 1968 répond à cette demande ; une de leur mission est en effet la formation des enseignants. Mais l'ampleur du problème dépasse de loin les moyens ainsi mis en œuvre, comme l'explique G. Glaeser cité dans un article du journal *Le Monde* :

> « Il y a des CEG entiers où l'enseignement n'est donné que par des bacheliers de philosophie ou de sciences expérimentales. Dans les IREM, nous ne pouvons pas faire faire quelque chose de sérieux en trois heures par semaine [...]. Les enseignants sous-qualifiés se précipitent sur les manuels les plus creux car les plus faciles à lire, et n'en retiennent que le jargon [...]. » [*Le Monde*, 24 février 1972]

Les « mathématiques libératrices » semblent donc bien loin des réalités de la classe, tant pour l'élève que pour l'enseignant. G. Glaeser pointe un problème qui ne peut être résolu qu'avec le temps.

Par ailleurs, les manuels sont au centre de nombreuses querelles. Si les détracteurs de la réforme s'y réfèrent dans leur propos [voir par exemple *Le Monde*, 14 octobre 1972], ses promoteurs eux-mêmes en dénoncent la médiocrité. Quant aux éditeurs, ils mettent en cause les délais trop courts pour mener à bien la rédaction de ces ouvrages. Or, l'enjeu est d'importance car de nombreux professeurs ont une formation insuffisante et se raccrochent aux manuels — ce qui explique le dogmatisme de leurs enseignements : il est naturel d'insister sur ce dont on est sûr, les définitions, les théorèmes..., et d'éprouver des difficultés à « faire acquérir un mode de pensée ».

Cependant la question se pose de savoir ce que devrait être un bon ouvrage scolaire. Il est en effet surprenant que plusieurs promoteurs de la réforme critiquent les manuels, alors que les éditeurs ont fait appel, pour les rédiger, à des membres de la Commission Lichnerowicz ou à des membres de l'APMEP. Les détracteurs de la réforme ont, eux aussi, un discours relativement ambivalent : ils reprochent à ces manuels leurs difficultés mais, parallèlement, ils critiquent leurs inexactitudes sur certains points lorsque les auteurs ont tenté de simplifier. La lecture d'un dossier de l'*École libératrice* [Choquet et al., 1973] consacré à « la modernisation de l'enseignement des mathématiques » — dans lequel une dizaine de protagonistes (J. Leray, G. Glaeser, J. Lelong-Ferrand, D. Lehmann, P. Lelong, G. Choquet, A. Lichnerowicz, et deux professeurs d'école normale) s'expriment sur un ouvrage de sixième — montre, de façon exemplaire, les nuances et les ambiguïtés de chacune des positions.

Il nous semble ainsi légitime de nous interroger plus avant sur les causes de l'écart constaté entre les intentions des réformateurs d'une part et les réalités de la réforme d'autre part, en dépassant les seules raisons contingentes que nous venons d'exposer. On pourrait invoquer par exemple une relation aux mathématiques qui, intrinsèquement, apparaîtraient comme dogmatiques ; nous sommes sans doute en présence d'une question sociologique, qui pourrait s'exprimer en termes de rapport à la loi — on ne discute pas les lois mathématiques — voire de rapport au pouvoir. Nous reviendrons plus loin sur ce point que nous analyserons en liaison avec d'autres écarts.

ABSTRACTION ET FINALITÉS DE L'ENSEIGNEMENT MATHÉMATIQUE

Venons-en à la seconde critique dirigée contre l'enseignement des mathématiques modernes, qualifié de trop abstrait. Cette abstraction doit-elle être considérée comme une volonté des promoteurs de la réforme ou bien, à nouveau, comme un écart dans sa mise en place ?

Remarquons, tout d'abord, que les réformateurs — tout comme pour le dogmatisme — adressent la même critique à l'enseignement traditionnel. C'est ce que montre, par exemple, l'analyse de M. Glaymann :

> « À bien des enfants, la mathématique semble étrange : il faut appliquer des mécanismes, des règles que l'on ne saisit que bien plus tard [...], il faut aussi apprendre par cœur des définitions et des résultats dont on ne voit pas toujours l'intérêt. Enfin il faut savoir utiliser des concepts par trop abstraits, car ils sont souvent mal introduits et passablement mal définis. » [Glaymann, 1967]

Cependant, les promoteurs de la réforme revendiquent eux-mêmes l'abstraction — considérée comme une caractéristique fondamentale des mathématiques — et ils en affirment la nécessité dans tout enseignement mathématique. Ils réfléchissent donc à la façon d'introduire et de développer l'abstraction mathématique, comme en témoignent nombre de textes publiés dès le début des années 1960 et durant les travaux de la Commission Lichnerowicz. Les recommandations publiées en 1961 à la suite du colloque de Dubrovnic organisé par l'OECE précisent déjà l'articulation nécessaire entre « l'expérience concrète » des jeunes et la « nécessaire abstraction » :

> « Les mathématiques sont abstraites et se rapportent à des relations entre choses abstraites. Pour le jeune, cependant, une expérience concrète, riche et variée, est une voie nécessaire à l'abstraction. [...] Un modèle matériel (donnant lieu à

l'observation et à l'expérience) est la base à partir de laquelle on peut développer l'abstraction mathématique. » [OECE, 1961]

Les textes produits par la commission Lichnerowicz et les déclarations de ses membres, ainsi que celles de l'APMEP défendent également, en leur temps, la nécessité de l'abstraction. « La mathématique est toujours "abstraite", c'est-à-dire polyconcrète, et c'est ce caractère qui la rend "utile" » écrit A. Lichnerowicz dans la presse syndicale de l'enseignement primaire [Lichnerowicz, 1973], résumant dans cette formule une réflexion importante des promoteurs de la réforme. Leur argumentation s'appuie non seulement sur la nature des mathématiques, mais aussi sur son utilité sociale. Ils défendent la conception d'un enseignement des mathématiques ouvert sur les applications, au service d'une société moderne qui a besoin d'un fort potentiel scientifique dans le domaine des sciences exactes comme dans celui des sciences humaines. Seule l'abstraction permet d'étendre et de diversifier les applications que l'on peut faire d'une notion mathématique. Plus encore, dans une société où les sciences et les techniques se développent très rapidement et envahissent tous les secteurs de la vie professionnelle et de la vie sociale, il faut donner à chacun des éléments mathématiques indispensables à la compréhension du monde.

Cette conception de l'utilité, comprise dans un sens très large, remet en cause le caractère, de fait incertain et éphémère, d'une mathématique utilitaire qui se résumerait à un ensemble de techniques ou de recettes ; elle attribue comme finalité à l'enseignement — y compris mathématique — la formation de citoyens libres, maîtres de leurs vies. La Charte de Chambéry, adoptée par l'APMEP en avril 1968, exprime cette ambition tout en prenant en compte la transformation du rôle de l'enseignement primaire avec la réforme Fouchet : « En effet l'acquisition des techniques (numération, opérations sur les nombres...) n'est pas abandonnée. Mais la notion de nombre gagnera à être préparée par des rudiments de grammaire des ensembles et de logique. Les enfants sauront compter et calculer plus tard peut-être que ne l'imposent les programmes actuels, mais ils le sauront mieux. D'autre part, du fait de la prolongation de la scolarité obligatoire, la mission de l'école primaire n'est plus d'enseigner les connaissances indispensables dans la vie courante mais surtout de former les esprits, de donner à chacun la capacité de s'adapter aux conditions largement imprévisibles de l'avenir. » [APMEP, 5 mars1968]

Dix ans plus tard, alors que la réforme est déjà largement contestée, A. Lichnerowicz revient sur ce qui, à ses yeux, est l'essence même de l'enseignement mathématique et la raison de son utilité sociale :

> « Plutôt que d'enseigner seulement des recettes ou des stratégies mathématiques, que de se borner en fait à programmer des enfants comme on programme un petit ordinateur, il faut leur apprendre, d'abord et surtout, ce qui restera permanent et ce qui est par nature, polyvalent : le regard mathématique sur les situations du monde ce regard porteur de probité intellectuelle et d'imagination [...]. Élever le

niveau mathématique moyen de notre société est devenu l'un de premiers impératifs d'une éducation visant l'autonomie. » [Lichnerowicz, 1979]

Ce regard mathématique ne peut être dans cette période que celui des structures, impliquant abstraction et axiomatisation.

DES INTENTIONS ET DES RÉALITÉS

Paradoxalement, du moins à première vue, la réforme — qui revendique une conception plus haute et plus efficace de l'applicabiblité des mathématiques et de leur enseignement — soulève très rapidement de violentes critiques de scientifiques et d'ingénieurs. Ceux-ci protestent contre le caractère délibérément abstrait d'un enseignement qu'ils jugent coupé de toute application. Au sein de la Commission Lichnerowicz, une fracture se produit [Schiltz, 1974 et 1984] et certains membres démissionnent. L'opposition s'organise et se créée l'UPUM (Union des professeurs et utilisateurs de mathématiques), association qui « se fixe pour but de proposer des aménagements dans le temps pour la modernisation des programmes du second degré, de rechercher avec les utilisateurs les bases d'un enseignement qui puisse déboucher sur la vie professionnelle, de discuter de l'harmonisation des programmes de mathématiques et des sciences expérimentales et humaines. » [*Le Monde*, 28 janvier 1972]

Ainsi la réforme est critiquée sur le terrain des applications et pour ses conséquences sur la formation de scientifiques. Les attaques contre l'enseignement des mathématiques modernes semblent faire aux promoteurs de la réforme de mauvais procès. Jugeons-en par la déclaration au journal *Le Monde* du président de l'Académie des sciences, G. Chaudron :

> « Dès le plus jeune âge les programmes de mathématiques modernes visent à donner le goût des raisonnements très abstraits. Or pour former des physiciens et des ingénieurs, il serait nécessaire au contraire de développer l'esprit d'observation. Par suite d'un enseignement par trop abstrait, on verra les jeunes élèves se détourner des disciplines et on constatera un tarissement dans le recrutement des universités scientifiques. » [*Le Monde*, 30 décembre 1971]

La réponse de l'APMEP, quinze jours plus tard, reprend les réflexions qu'elle a déjà maintes fois développées :

> « [...] sur le plan des méthodes d'enseignement, la réforme [...] vise entre autres, à lutter contre la tendance traditionnelle au dogmatisme et à mettre en valeur les deux démarches complétant le développement déductif d'une théorie qui sont la mathématisation et l'axiomatisation d'une part, les applications d'autre part. » [*Le Monde*, 14 janvier 1972]

Les physiciens, A. Lagarrigue, L. Neel, A. Kastler, L. de Broglie se retrouvent, au début de l'année 1971, dans un collectif dont le but est de défendre la nécessité d'une articulation entre l'enseignement des mathématiques et des sciences expérimentales : « L'enseignement scientifique dans les lycées et collèges a pour but d'initier les élèves de manière progressive et raisonnable au savoir scientifique et aux réalisations techniques et de leur assurer ainsi une formation générale harmonieuse et ouverte sur une composante du monde moderne. Cette harmonie suppose que soit réalisé l'équilibre entre les disciplines abstraites et les sciences d'observation. [...] En outre le plus grand soin doit être apporté à ce que l'enseignement des mathématiques et celui des sciences expérimentales ne s'opposent pas mais se complètent au contraire...» [*Le Monde*, 25 janvier 1971]. Ce collectif, à la différence de l'UPUM, ne peut être considéré comme une machine de guerre contre la réforme et ses initiateurs, comme le prouve la participation de A. Lichnerowicz, membre également de la Commission Lagarrigue sur l'enseignement de la physique.

Comment expliquer les polémiques ? Une première réponse se présente dès que l'on examine les ouvrages scolaires : il y a un écart manifeste entre les contenus des livres utilisés dans les classes et les intentions des réformateurs en ce qui concerne l'abstraction, sa place et son articulation avec la multiplicité des applications nécessaires. Le point de départ d'un nouveau chapitre y est très souvent constitué d'une série de définitions et de notations, qui constituent une introduction aussi générale qu'incompréhensible pour le néophyte. Quant aux exemples et applications, peu nombreux, ils sont relégués en fin de chapitre et ne servent qu'à illustrer rapidement la suite des résultats mathématiques.

Illustrons ceci en prenant l'exemple du livre de M. Condamine et P. Vissio, *Algèbre linéaire et géométrie*, pour les classes de premières C, D, E [Condamine et Vissio, 1970]. Ce livre, qui s'adresse théoriquement aux futurs scientifiques, comporte cinq parties : « espaces vectoriels », « espaces affines », « applications linéaires », « espaces métriques euclidiens » et enfin « rotations, angles et fonctions circulaires ». Les exercices, dont le nombre moyen par chapitre est de 15, ne sont que de deux types, ceux qui font appel à une pure application numérique, et ceux pour lesquels il s'agit de démontrer une propriété, une formule ou une généralisation d'un résultat établi dans le cours. Nous n'avons décelé aucun exercice d'application à une réalité physique, à une science humaine, à un domaine qui ne serait pas purement mathématique.

Il semble donc , à la lecture des manuels, que les critiques et les inquiétudes de l'UPUM, comme celles du président de l'Académie des sciences ou d'autres milieux scientifiques, aient été quelque peu fondées. Il ne reste plus grand chose en effet des réflexions et des intentions des réformateurs ; nous n'avons plus là que des résultats et concepts excessivement abstraits, déconnectés de toute application. Une question se pose alors : l'écart entre de tels contenus et les principes énoncés par les réformateurs n'est-il imputable qu'aux auteurs de manuels, qui auraient trahi les objectifs de la réforme, ou n'est-il pas induit en partie par une contradiction du projet lui-même ? C'est en tout cas d'un tel écart que se nourrissent les polémiques médiatiques qui débordent le cadre des spécialistes et qui sont alors formulées en termes d'utilité et de devenir professionnels : à quoi servent les classes d'équivalence, les identités remarquables, les espaces vectoriels... et, plus globalement, à quoi servent les mathématiques ? Le problème de l'abstraction du nouvel enseignement débouche alors sur celui de son utilité.

Les réponses que promoteurs et détracteurs de la réforme apportent à de telles questions, présentent une différence fondamentale. Les derniers considèrent la formation des scientifiques comme prioritaire, alors que les réformateurs, sans nier l'importance de cet objectif, tiennent avant tout à transmettre ce « regard mathématique » dont parle A. Lichnerowicz [Lichnerowicz, 1979]. La polémique se réduirait donc à une querelle sur les priorités, en raison de la diversité des objectifs de la réforme définis par les différents acteurs. Les promoteurs de la réforme posent en fait une question d'ordre très général, celle de la vocation de l'enseignement et de l'école. Ils souhaitent changer en partie la société, en développant pour tous une culture mathématique et un sens de la rigueur devenus indispensables à la réalisation de l'individu dans notre « société panmathématique » selon l'expression de A. Lichnerowicz [Lichnerowicz, 1967].

Ces positions suscitent de violentes réactions envers les mathématiques elles mêmes : les lettres de lecteurs publiées dans différentes revues ou journaux et les enregistrements d'émissions radiophoniques témoignent des réactions du grand public, largement relayées par la presse. *Science et Avenir* n'hésite pas à parler « d'invasion des mathématiques », *Le Monde de l'éducation* de « la tyrannie des mathématiques », *Le Point* de « la guillotine », pour ne citer que quelques exemples [Trabal, 1995*b*]. Ces idées sont reprises par des universitaires non mathématiciens. Un article du psychologue J.-P. Courtial [Courtial, 1978] nous permet d'illustrer ce point :

> « On pourrait d'abord dire que les mathématiques représentent un monde idéal, aseptisé, loin des contingences matérielles. En effet elles sont un domaine où seules la capacité de réflexion et la mémoire interviennent [...] Dans ce monde idéal, aseptisé, spectularisé, le pouvoir est loin d'être absent, renforcé même par la "spectacularisation" [...] Au fond les mathématiques, c'est la normalisation par la conformité à une forme de discours dominant, mais c'est aussi la guerre presse-boutons où les adversaires se détruisent proprement, assis derrière leurs écrans ».
>
> « Il [le pouvoir] tend à se légitimer en invoquant de plus en plus la science. On fait la démonstration d'impossibilité économique, on évoque les théories scientifiques, à l'Ouest comme à l'Est. Le management est scientifique. La médecine est scientifique. Les « sciences humaines » deviennent scientifiques. De ce point de vue, les mathématiques sont l'outil scientifique par excellence. Elles peuvent symboliser la science, en maintenant en plus le halo de crainte de bon aloi qui favorise les assises émotionnelles du pouvoir : crainte qui renvoie à la culpabilité de tous ceux qui sont restés des cancres en mathématiques et au désir de domination de ceux qui ont réussi en fonction d'un jugement qui leur a été décerné dès l'école. [...] Le refus des mathématiques n'est-il pas alors une manière de s'opposer au système ? »

Comme le révèle ce texte, on ne peut rendre compte des écarts entre les objectifs de la réforme et sa réception par le public en fonction seulement du contexte historique et des options pédagogiques et scientifiques en présence ; il faut considérer aussi un certain imaginaire collectif, exprimé ici d'une manière particulièrement virulente, et qui traduit une réaction de rejet vis-à-vis des mathématiques (et plus particulèrement de l'abstraction) ressenties comme un instrument de/du pouvoir. Dans la mesure où elles peuvent tout et s'appliquent à tout — elles sont « polyconcrètes » —, les mathématiques seraient fondatrices de toute rationalité et, de ce fait, participeraient de la domination de la technique moderne, source d'une domination de l'homme par l'homme. On reconnaît les thèses de H. Marcuse [Marcuse, 1968, pp 167-192] commentées et reprises par J. Habermas [Habermas, 1973]. La critique des mathématiques modernes rejoindrait donc une critique plus générale de la modernité, fondée sur la science et la technique.

DES MATHÉMATIQUES SÉLECTIVES ?

La contestation de la réforme des mathématiques modernes vécue comme l'instauration d'un enseignement dogmatique et abstrait s'accompagne d'une mise en cause quasi unanime de son caractère sélectif. Celui-ci est d'autant plus fortement dénoncé que les promoteurs de la réforme ont affirmé à maintes reprises s'inscrire dans une volonté politique de démocratisation du système éducatif. Dès 1960, dans une série d'articles [Cagnac, 1960], G. Cagnac explique le rôle des mathématiques dans ce processus de démocratisation, qu'il juge particulièrement long et nécessaire : dans un document, intitulé « Les mathématiques, enseignement de masse », G. Cagnac montre à la fois comment « les mathématiques se sont démocratisées » et combien l'évolution vers les études scientifiques est nécessaire.

Le vécu des élèves et de leurs parents dans les écoles et les collèges semble contredire ces affirmations reprises unanimement par les réformateurs. Les journaux, là encore, s'en font l'écho, comme en témoigne cet extrait du courrier des lecteurs du journal *Le Monde* : « On a prétendu que les "maths modernes" allaient contribuer à la démocratisation de l'enseignement scientifique [...]. En fait les enfants des catégories sociales favorisées bénéficient d'un double avantage : meilleure information initiale sur les débouchés, et si nécessaire, leçons particulières aux périodes cruciales du 1er cycle. » [*Le Monde*, 14 octobre 1972]

Au moment où la démocratisation de l'enseignement secondaire est à l'ordre du jour, les mathématiques semblent, de fait, ravir au latin sa fonction de sélection sociale. Si, dans des entretiens avec M.-A. Schiltz, M. Glaymann et A. Magnier affirment qu'il ne peut s'agit de « recommencer avec les mathématiques ce qui a été fait avec le latin » [Glaymann, 1974], A. Magnier ajoute dans le même temps qu'il vaut mieux que la sélection s'appuie sur les mathématiques que sur les humanités [Magnier, 1974].

Les professeurs, du moins ceux de l'APMEP interrogés lors d'une enquête du journal *Le Monde* [Herzlich et Gaussen, 1973], sont conscients, et pour certains inquiets, de ce rôle sélectif des mathématiques :

> « Nous devons bien convenir, déclarait l'un d'entre eux, que nous sommes bien contents que les mathématiques soient devenues la discipline de référence [...]. Cependant les plus lucides s'interrogent sur cette situation privilégiée : nous devons nous méfier de cette domination [...]. Cette mauvaise conscience s'exerce en particulier à propos du rôle sélectif des mathématiques dans l'orientation des élèves [...]. À la fin de la 3e, reconnaissait un professeur, c'est nous qui faisions l'orientation. Un autre ajoutait nous nous habituons à jouer Dieu le Père, et sans le vouloir nous devenons ainsi de plus en plus exigeants.[...]. La constatation inquiète de leur puissance a amené certains enseignants à mettre en cause les critères qu'ils utilisent pour la sélection des élèves. Ces doutes les amènent à s'interroger sur les raisons de ce pouvoir : « si les mathématiques servent de référence pour la sélection, c'est qu'elles sont la discipline la plus dressante. Nous devons garder à notre discipline son caractère de rigueur. »

Des études menées en 1976 et 1977 [Jacquemin, 1976, 1977] remettent en question le bien-fondé de cette opinion très largement répandue, qu'aucune enquête sur la sélection scolaire par les mathématiques n'est venue confirmer :

> « On entend dire que les mathématiques sont devenues un instrument de sélection — encore renforcé par les nouveaux programmes — on parle d'impérialisme des mathématiques, on considère le prof de mathématiques comme l'arbitre et le maître des décisions d'orientation. Mais il faut noter que ce consensus est fondé non pas sur l'observation systématique de faits précis et contrôlables mais sur des impressions subjectives, le plus souvent partielles sinon partiales, et il est étonnant qu'aucune étude sérieuse, approfondie n'ait été entreprise sur le sujet. » [Jacquemin, 1977]

L'étude de 1976 montre en fait que mathématiques et français interviennent semblablement dans les décisions d'orientation : elle infirme le préjugé selon lequel les mathématiques auraient la primauté dans la sélection scolaire. De plus, elle révèle une forte corrélation entre les résultats obtenus par les élèves dans les deux disciplines. Enfin, conclusion surprenante tant pour les promoteurs des mathématiques pour tous que pour les détracteurs de la réforme, la sélectivité sociale des mathématiques et celle du français sont comparables. Il est donc légitime de s'interroger sur les raisons qui poussent tous les acteurs à dénoncer le rôle essentiellement sélectif des mathématiques. J. Nimier apporte un élément de réponse qui nous semble pertinent :

> « Cet intérêt réside dans l'évacuation devenue ainsi possible du problème de la responsabilité de l'orientation. Le professeur de mathématiques (entre autres) n'a pas à se poser la question de savoir si c'est lui qui, par sa parole, va orienter la vie d'un élève dans une direction et marquer ainsi cette vie de façon profonde. Les parents n'ont plus à se demander s'ils ont fait tout ce qui était possible pour

participer à cette orientation. L'« État » n'a pas à mettre en doute la valeur et le caractère peut-être provisoire de tel échec, ce qui le dispense de créer des structures autres. L'intérêt de tous est d'avoir trouvé un responsable que l'on désire à la fois puissant (puisqu'on lui attribue cette qualité) et que l'on puisse contester parce qu'on le croit incontestable (les notes "objectives" en mathématiques). » [Nimier, 1988, pp. 76-77]

La réforme de l'enseignement des mathématiques modernes a provoqué bien des débats et des polémiques. Les opinions tranchées qui se sont affrontées alors ont pu contribuer à en caricaturer les principes et occulter certaines réalités. Des écarts apparaissent en effet, nous l'avons vu, entre les discours des promoteurs et les réalisations. La médiatisation et la participation du grand public à ces débats — nouvel exemple de la participation du public à la vie scientifique qui reste d'ailleurs à étudier — a été quelquefois un élément supplémentaire de confusion.

Une analyse des origines de la réforme permet de comprendre certains de ces écarts dont l'enjeu n'est pas à négliger. Des contraintes de calendriers ont poussé les réformateurs à proposer des programmes non testés. Les manuels ont été réalisés dans la précipitation. Les efforts pour la formation des enseignants, compte tenu d'un héritage difficile du point de vue du recrutement, ont été insuffisants : de nombreux maîtres n'étaient pas prêts au moment où on leur demandait d'enseigner les nouveaux programmes. De même, il convient de ne pas négliger l'analyse de M.-A. Schiltz [Schiltz, 1974, 1984], selon laquelle la réforme a abouti rapidement car elle synthétisait des objectifs multiples. Si les différentes finalités n'étaient pas antinomiques d'un point de vue épistémologique, la question des priorités sur ce qu'il convient d'enseigner a été l'objet d'un débat pédagogique et politique.

Un point a sans doute été sous-estimé. C'est le poids d'un imaginaire social des mathématiques qui préexistait à la réforme. Certains auraient d'ailleurs voulu le combattre. L'idée, selon laquelle il fallait changer quelque chose dans la société a notamment été avancée par B. Charlot dans un article de 1974 favorable aux « mathématiques modernes » [Charlot, 1974]. L'auteur y montre la différence intrinsèque entre les « mathématiques modernes » et les « mathématiques classiques » qu'impliquent les significations culturelles opposées qui leur sont attachées :

> « Les mathématiques classiques ont engendré toute une mythologie sociale et culturelle, complaisamment répandue à l'école. Les mathématiques sont dans notre inconscient culturel le symbole de la science et la source de l'efficacité technique. Nous croyons avec force à leur utilité pratique car nous pensons qu'elles donnent à l'homme pouvoir sur la nature. Le rôle joué par les mathématiques dans le développement des autres sciences, et notamment la possibilité de "résumer" la structure de l'univers dans une équation, qu'elle soit de Newton ou d'Einstein ont donné naissance à l'idée que le monde est rationnel, et même

mathématique dans son essence. La tâche de la raison humaine serait alors de décrypter la rationalité mathématique inhérente au monde lui-même, déchiffrement qui s'étendrait sans cesse à de nouveaux domaines. Grâce aux mathématiques, la raison mettrait ainsi à nu la trame idéale du monde, dévoilerait la véritable nature des choses. [...]. Le monde mathématique préexiste à la pensée mathématique qui le découvre et ne le crée pas. »

Et de noter l'intérêt des mathématiques modernes :

> « Pour les mathématiques modernes au contraire il n'y a pas d'être mathématique indépendant du système d'axiomes par lequel une pensée mathématique le crée et le définit. Il n'y a pas d'en-soi mathématique, ni naturel ni humain [...]. Les mathématiques modernes sont inséparables des présupposés culturels qui seuls leur donnent un sens : c'est la réalité mathématique qui est humaine, et non la réalité humaine qui est mathématique ; l'homme est libre créateur de vérité, de rationalité. »

Nous sommes bien ici en présence d'une tentative pour changer les représentations sociales. Or modifier volontairement un imaginaire collectif (ce qui semble difficile par une simple réforme), exige au préalable d'en faire une étude attentive [Trabal, 1995*a*]. Alors que la sociologie de la littérature ne s'intéresse plus seulement au contexte de la production des œuvres littéraires mais s'occupe aussi des conditions dans lesquelles celles-ci sont perçues, la sociologie des sciences semble se préoccuper encore exclusivement des facteurs sociaux qui interviennent dans le développement scientifique. Elle devrait pourtant avoir aussi pour mission de comprendre comment la science est appréhendée. Le rapport de la société envers la science et envers la technologie semble en dépendre. L'enjeu est aussi d'ordre éducatif : c'est ce que nous avons voulu montrer.

Bibliographie

APMEP (Association des professeurs de mathématiques de l'enseignement public), « Bloc notes », *Bulletin de l'APMEP*, janvier 1968, n° 260, p. 275.

APMEP, Charte de Chambéry, *Bulletin de l'APMEP*, 5 mars 1968, n° 263-264.

APMEP, « Bloc notes », *Bulletin de l'APMEP*, juillet 1968, n° 263-264, p. 395.

APMEP, « Commission formation permanente », *Bulletin de l'APMEP*, automne 1971, n° 280, pp. 643-644.

APMEP, « L'Association des professeurs de mathématiques répond au président de l'Académie des sciences », *Le Monde*, 30 décembre 1971.

APMEP, « Du nouveau à la télévision scolaire », *Bulletin de l'APMEP*, février 1972, n° 282, pp. 194-195.

Baruk (S.), *Échec et Maths*, Paris, Seuil, 1973.

Bourbaki (N.), *Éléments de mathématiques*, 1ère éd., 33 fascicules, Paris, Hermann, 1939-1967.

Cagnac (G.), « Les mathématiques, enseignement de masse », *La Voix des parents*, septembre 1960.

Charlot (B.), « Pourquoi des mathématiques modernes ? », *Éducation*, 17 octobre 1974.

Charlot (B.), « Histoire d'une réforme : idées directrices et contexte », in Bkouche (R.), Charlot (B.), Rouche (N.), *Faire des mathématiques : le plaisir du sens*, Paris, Armand Colin, 1991.

Choquet (G.) et al., « La modernisation de l'enseignement des mathématiques », *L'École libératrice*, n° 17, 12 janvier 1973.

Condamine (M.) et Vissio (P.), *Algèbre linéaire et géométrie*, classe de première C, D, E, coll. P. Visio, Paris, Delagrave, 1970.

Courtial (J.-P.), « Le nouveau désordre mathématique — une forme de totalitarisme qui répand la terreur », *Psychologie*, septembre 1978.

Dieudonné (J.), « Pour une conception nouvelle de l'enseignement des mathématiques », communication au colloque de Royaumont, in *Mathématiques nouvelles*, Paris, OECE, 1961., pp. 31-47.

Gaussen (F.), « M. Fouchet annonce la réunion d'une commission chargée de repenser l'enseignement des mathématiques », *Le Monde*, 5 octobre 1966.

Glaymann (M.), « Pour une pédagogie nouvelle », *Le Monde*, supplément Éducation, 12 juillet 1967.

Glaymann (M.), Entretien avec M.A. Schiltz (1974), Archives M.A. Schiltz, Maison des Sciences de l'homme.

Habermas (J.), *La Technique et la science comme « idéologie »*, trad. française, coll. Tel., Gallimard, 1973.

Herzlich (G.) et Gaussen (F.), « Aristocrates déchus et nouveaux bourgeois », *Le Monde*, 6 juin 1973.

Jacquemin (A.), « Sélection par les maths : mythe ou réalité : orientation en 5e et sélection sociale », *Bulletin du groupe GEP MATH (Groupe d'études et de pédagogie en mathématiques)*, n° 17, 4e trimestre 1976.

Jacquemin (A.), « Résultats scolaires en mathématiques et orientation », *Bulletin du groupe GEP MATH (Groupe d'études et de pédagogie en mathématiques)*, n° 18 et 19, janvier 1977.

Lichnerowicz (A.), « Remarques sur les mathématiques et la réalité », in Piaget (J.) (éd.), *Logique et connaissance scientifique*, Encyclopédie de la Pléiade, Gallimard, 1967, pp. 474-485.

Lichnerowicz (A.), « Mathématiques et enseignement », *L'École libératrice*, n° 17, 12 janvier 1973.

Lichnerowicz (A.), Entretien avec M.A. Schiltz le 3 août 1974, Archives M.A. Schiltz, Maison des Sciences de l'homme.

Lichnerowicz (A.), « Le regard mathématique », *Éducation*, n° 399, 1er novembre 1979.

Magnier (A.), Entretien avec M.A. Schiltz le 29 mai 1974, Archives M.A. Schiltz, Maison des Sciences de l'homme.

Marcuse (H.), *L'Homme unidimensionnel*, trad. française, coll. Argument, Éditions de Minuit, Paris, 1968.

Le Monde, « Des personnalités scientifiques réclament une réforme harmonieuse de l'étude des mathématiques et des sciences expérimentales », 25 janvier 1971.

Le Monde, « Le président de l'Académie des sciences attaque violemment l'enseignement des mathématiques modernes », 30 décembre 1971.

Le Monde, « Une union des professeurs et d'utilisateurs de mathématiques...», 28 janvier 1972.

Le Monde, « La réforme des mathématiques attaquée sur sa gauche », 24 février 1972.

Le Monde, « Lettre de rentrée », 14 octobre 1972.

Nimier (J.), *Les modes de relations aux mathématiques*, coll. psychologie sociale, Méridiens Klincksieck, 1988.

OECE, *Un programme moderne de Mathématiques pour l'Enseignement Secondaire*, Lausanne, OECE, 1961.

Picard (N.), « Abstration de concepts mathématiques et moyens d'expressions graphiques », *Bulletin du laboratoire des sciences de l'éducation*, décembre 1971.

Piaget (J.), « Les structures mathématiques et les structures opératoires de l'intelligence » in Gattegno (C.) et al., *Enseignement des mathématiques*, tome 1 : nouvelles perspectives, Paris, Delachaux et Niestlé, 1955.

Revuz (A.), *Mathématiques modernes, Mathématiques vivantes*, Paris, OCDL, 1963.

Revuz (A.), Entretien avec M.A. Schiltz le 29 juin 1974, Archives M.A. Schiltz, Maison des Sciences de l'homme.

Schiltz (M.-A.), *La réforme des mathématiques dans l'enseignement secondaire*, mémoire de DEA, EHESS, sous la direction de Pierre Bourdieu, 1974.

Schiltz (M.-A.), « Analyse des épisodes d'une controverse : la réforme des mathématiques des années soixante » in Armatte (M.) et al., *Le Sujet et l'objet : confrontations*, Paris, Éditions du CNRS, 1984.

Trabal (P.), « Le sens commun face à la science : vers l'étude des représentations de la science », *Revue des questions scientifiques*, 166 (1), 1995*a*, pp. 39-54.

Trabal (P.), « De la violence envers les mathématiques », *Revue des questions scientifiques*, 166 (3), 1995*b*.

Walusinski (G.), « La pédagogie mathématique existe, je l'ai rencontrée », *Bulletin de l'APMEP*, n° 281, décembre 1971.

Le mathématicien André Lichnerowicz, président de la Commission ministérielle sur l'enseignement des mathématiques créée en 1967

Réformes et contre-réformes dans l'enseignement de l'analyse au lycée (1902-1994)

Michèle ARTIGUE

Différentes réformes ont marqué l'enseignement secondaire des mathématiques au XXe siècle. Elles peuvent être abordées avec des approches diverses : approches de mathématicien, d'historien de l'enseignement, de sociologue, ou encore de didacticien, comme ce sera le cas ici. Ce choix nous conduira à accorder une attention privilégiée aux contenus d'enseignement qui ont été et sont encore *un*, sinon *le* levier privilégié de l'action sur le système éducatif. Mais cette analyse des contenus d'enseignement et de leur évolution au cours du siècle sera intégrée dans une approche plus globale, en référence directe à la théorie de la transposition didactique [Chevallard, 1985 et 1992]. Cette théorie constitue pour les didacticiens un outil qui sert à « dénaturaliser » en quelque sorte les contenus d'enseignement, à les concevoir comme des objets astreints à se plier non seulement aux contraintes de l'évolution du savoir mathématique mais aussi aux multiples contraintes qui sont celles de la survie dans un système didactique. Elle les pousse à étudier comment le jeu de ces contraintes multiples est susceptible de provoquer des décalages entre les intentions des concepteurs et ce qu'il advient dans la réalité des classes, de les expliquer *a posteriori* et, éventuellement, de les prévoir. Elle les amène aussi à s'interroger sur ce qui fait le succès ou l'échec social d'une réforme et sur la signification réelle, en termes d'apprentissage et d'enseignement mathématique, de ces appréciations globales.

Nous conduirons cette réflexion en nous limitant à un contenu d'enseignement particulier : l'analyse au lycée. C'est un domaine clef, tant en ce qui concerne les mathématiques que leurs applications, dont l'enseignement s'est justement généralisé, en France comme dans de nombreux pays, au début de ce siècle. C'est aussi un domaine dont l'enseignement pose problème [Steen, 1988 ; Artigue & Ervynck, 1992] et sur lequel se sont concentrées, ces dernières années, la grande majorité des recherches didactiques et des innovations concernant l'enseignement post-obligatoire [Tall, 1991]. Les modes d'enseignement usuels s'y sont vus fortement contestés, de nouveaux équilibres tendent à s'y instituer. Ceci rend d'autant plus intéressant un retour sur l'histoire de cet enseignement qui nous permette d'analyser si les problèmes aujourd'hui ressentis l'étaient ou non déjà hier, et en quels termes ; de savoir aussi comment nos aînés ont abordé et géré cet enseignement de l'analyse, dans les contextes et avec les contraintes qui étaient les leurs ; de comprendre enfin de quelle filiation est issu notre enseignement actuel et en quoi certaines de ses caractéristiques sont la marque directe de cette filiation, qu'elles se situent en continuité ou, au contraire, en rupture évidente, avec des pratiques plus anciennes.

Nous ne chercherons pas ici à décrire cette évolution dans tous ses détails. Nous nous centrerons sur quatre moments clefs de cette évolution : les réformes de 1902, de 1960 et de 1970 et enfin la contre-réforme des années 1980.

La réforme de 1902

Les enjeux de cette réforme dépassent de loin les seuls enseignements de mathématiques, qu'il s'agisse de l'unification des enseignements classiques et modernes ou de la recherche d'une meilleure adaptation de l'enseignement au monde moderne [Belhoste, 1990].

Il s'agit en particulier d'abolir la suprématie des humanités classiques dans l'éducation des élites bourgeoises en introduisant l'idée d'humanités scientifiques et en donnant à ces dernières un statut comparable à celui des humanités classiques. La réforme de l'enseignement des mathématiques s'inscrit dans ces perspectives globales comme elle s'inscrit dans la conception positiviste de la science alors philosophiquement dominante. Les mathématiques y sont vues, certes, comme une science déductive, mais aussi comme une science qui doit rester en contact étroit avec les autres sciences et leur être utile. Sur le plan des apprentissages, la rigueur déductive qui la caractérise, si elle est essentielle, ne doit intervenir qu'une fois acquise la familiarité nécessaire avec les objets auxquels elle s'applique. Le point de départ doit être la « réalité concrète » et l'abstraction empirique à partir de cette « réalité », doit être organisée de façon progressive.

Cette réforme concerne essentiellement le lycée et l'introduction du calcul différentiel et intégral (CDI), qui se situe plus globalement dans le cadre de la mise en place dans l'enseignement scientifique d'une pensée fonctionnelle, dont elle est un maillon important. Précisons que le calcul différentiel s'était discrètement introduit dans l'enseignement secondaire depuis quelques années, mais uniquement en 1ère moderne, dans la rubrique des compléments d'algèbre : « Représentation d'une fonction par une courbe. Notion de la dérivée — la dérivée est le coefficient angulaire de la tangente. » La réforme de 1902 va développer cet enseignement et le généraliser à l'ensemble des filières.

L'enseignement du CDI commence dès la classe de 2^{e} pour les sections scientifiques (C et D), en classe de philosophie pour les sections littéraires. Il ne fait pas l'objet d'un paragraphe séparé dans les programmes mais s'intègre à l'enseignement d'algèbre, en 2^e, sous la forme « Notion de la dérivée ; signification géométrique de la dérivée. Le sens de la variation est indiqué par le signe de la dérivée; application à des exemples numériques très simples. », et en terminale (la classe de 1ère n'introduisant rien de nouveau), sous la forme « Notion de la dérivée. Signification géométrique (coefficient angulaire de la tangente) et cinématique (vitesse dans le mouvement rectiligne) de la dérivée ; le sens de variation d'une fonction est indiqué par le signe de la dérivée. Dérivée d'une somme, d'un produit, d'un quotient, de la racine carrée d'une fonction, de $\sin x, \cos x, \tan x, \cot x$. Application à l'étude de la variation, à la recherche de maximums ou de minimums de quelques fonctions simples, en particulier des fractions de la forme $\frac{ax^2+bx+c}{a'x^2+b'x+c'}$, x^3+px+q où les coefficients ont des valeurs numériques. Dérivée de l'aire d'une courbe considérée comme fonction de l'abscisse (on admettra la notion d'aire) » [Belhoste 1995, p. 598 et pp. 607-608]). Cette intégration du calcul différentiel et intégral dans les programmes constitue visiblement un des succès de la réforme de 1902. Un faisceau d'indices nous permet *a posteriori* de le penser.

Constatons d'abord l'absence apparente de polémiques autour de l'introduction du CDI. Par exemple, si la revue *L'Enseignement Mathématique* se fait l'écho au début du siècle de diverses polémiques concernant l'enseignement de l'analyse, ces polémiques ne concernent pas directement l'enseignement secondaire mais bien plutôt les classes préparatoires et le vieux débat entre différentielles et dérivées qui a été tranché en faveur des dérivées [Artigue & al., 1989]. Au niveau des classes secondaires du lycée, ce débat n'est visiblement pas à l'ordre du jour et il semble y avoir consensus quant aux objectifs et aux contenus assignés à ce nouvel enseignement. Les considérations développées par H. Poincaré en 1904 dans une conférence au Musée pédagogique sur les définitions mathématiques [Poincaré, 1904] sont à ce sujet particulièrement explicites. Il y insiste sur la nécessité d'un enseignement qui, tout en étant rigoureux, soit adapté aux capacités des élèves et s'appuie sur l'expérience sensible. Ainsi, à propos des notions de continuité et de dérivabilité, il évoque les aspects trompeurs de l'intuition dans ce domaine et la prise de conscience encore récente du fait que la rigueur dans les raisonnements n'est possible que soutenue par celle des définitions. Mais il souligne aussi que cette rigueur n'a pu être atteinte qu'en faisant primer la logique sur la réalité et qu'il serait catastrophique de vouloir l'imposer d'emblée à l'élève :

> « Nous voilà donc obligés de revenir en arrière ; sans doute, il est dur pour un maître d'enseigner ce qui ne le satisfait pas entièrement ; mais la satisfaction du maître n'est pas l'unique objet de l'enseignement ; on doit d'abord se préoccuper de ce qu'est l'esprit de l'élève et de ce que l'on veut qu'il devienne. »

Et, à propos du calcul intégral, il précise :

> « Pour définir une intégrale, nous prenons toutes sortes de précautions ; nous distinguons les fonctions continues et celles qui sont discontinues, celles qui ont des dérivées et celles qui n'en ont pas. Tout cela est à sa place dans l'enseignement

des Facultés ; tout cela serait détestable dans les lycées. L'élève, quelque définition que vous lui donniez, ne saura jamais ce qu'est une intégrale si on ne lui en a d'abord montré. Toutes les subtilités le laisseront indifférent. Il croit savoir ce qu'est une surface et il ne comprendra qu'il ne le sait pas que quand il saura très bien le calcul intégral ; ce n'est donc pas au moment où il aborde ce calcul qu'il peut y avoir intérêt à le lui dire. Alors ce qui reste à faire est bien simple : définir l'intégrale comme l'aire comprise entre l'axe des x, deux ordonnées et la courbe, montrer que quand l'une des ordonnées se déplace, la dérivée de cette aire est précisément l'ordonnée elle-même. C'est le raisonnement de Newton, c'est comme cela que le calcul intégral est né, et bon gré mal gré il faut repasser par où nos pères ont passé. »

Dix ans plus tard, la réforme est pleinement revendiquée par ses promoteurs et la France internationalement citée en exemple. En 1911, la toute jeune CIEM lance une enquête internationale sur « l'introduction des premières notions du Calcul différentiel et intégral dans les Écoles moyennes » de ses pays membres. Le rapport global de cette enquête [Beke, 1914] ainsi que divers rapports relatifs à tel ou tel pays (pour la France, rapport de C. Bioche) sont publiés par *L'Enseignement Mathématique* en 1914. Ces rapports montrent que la situation française ne constitue pas un cas isolé, qu'il existe un consensus fort dans la communauté internationale en faveur de l'introduction du CDI au niveau des écoles secondaires et sur les choix didactiques à effectuer dans ce domaine. Ils attestent aussi que la réforme est bien vécue dans la plupart des pays, et tout particulièrement en France.

Ainsi peut-on lire dans le rapport de C. Bioche [Bioche, 1914] :

« L'introduction des dérivées dans l'enseignement élémentaire telle qu'elle résulte de ce que je viens de dire, a donné dans l'ensemble de bons résultats. La notion de dérivée, quand on évite les subtilités logiques, semble très accessible aux élèves ; ceux-ci s'intéressent aux applications et arrivent facilement à étudier des fonctions simples. »

Parmi les applications, la possibilité de pouvoir aborder avec des outils généraux les problèmes de maximum et de minimum, comme celle d'utiliser les primitives pour les calculs d'aires et reléguer ainsi au placard les vieux indivisibles, voire la méthode d'exhaustion, sont particulièrement appréciées. Comme le souligne C. Bioche : « Beaucoup de formules de mécanique et de physique peuvent se démontrer maintenant dans les classes des lycées sans qu'on ait besoin de recourir aux procédés ingénieux, mais souvent bien compliqués ou artificiels qu'on était obligé d'employer autrefois. » Et il mentionne l'appui reçu de la part des physiciens, en citant de larges extraits d'une lettre que lui a adressé le président de l'Union des physiciens, Wallon.

Les mathématiciens qui se sont impliqués dans cette réforme, sont eux aussi dix ans après satisfaits de ses résultats, tel C. Bourlet qui écrit [Bourlet, 1914] :

« Lorsqu'il y a quinze ans — après d'ailleurs en avoir fait l'essai sur mes élèves — j'affirmais que les candidats au baccalauréat apprendraient sans peine le calcul des dérivées, lorsque je réclamais la suppression des spéculations inutiles et l'introduction de tout ce qui sert dans l'application, bien des « sages » d'alors levèrent les bras au ciel. Aujourd'hui, nos futurs bacheliers apprennent la notation différentielle et font déjà quelques quadratures ; et nos élèves de 1ère et de 2e scientifiques jonglent avec les dérivées. »

En fait, les promoteurs de la réforme se sentent des pionniers qui ont éclairé l'enseignement secondaire des lumières d'un CDI qui achève juste de sortir des limbes de la métaphysique. Ils sont persuadés qu'ils ont fait œuvre utile et efficace en dotant les élèves d'outils économiques, simples, rigoureux, leur permettant de traiter des problèmes intéressants et importants, tant au sein des mathématiques que pour les besoins des autres disciplines. Les conférences et rapports s'achèvent généralement sur des envolées quasi-lyriques.

En outre, les programmes connaissent peu de modifications au cours des années suivantes. Ils sont modifiés par exemple en 1912, mais il ne s'agit là que de remaniements locaux. Ainsi l'introduction des dérivées est reportée en 1ère dans les sections scientifiques parce que « les élèves ont trop tendance à s'imaginer qu'une fonction ne peut être étudiée sans qu'on ait besoin d'employer la dérivée » [Bioche, 1914]. Elle se fait graduellement entre 1ère et terminale : en 1ère, on se limite aux cas ne nécessitant qu'une utilisation faible de la notion de limite (fonctions polynômes et homographiques pour lesquelles dans le calcul de l'accroissement $f(x+h)-f(x)$, h peut être mis en facteur) ; en terminale, on aborde les fonctions qui, comme le sinus et le cosinus, nécessitent pleinement cette notion.

Tous ces faits tendent à donner l'image d'une réforme réussie. Quelles sont les raisons de ce succès ? Certes, on est tenté d'invoquer l'investissement personnel actif dans la réforme des plus grands mathématiciens de l'époque comme H. Poincaré, J. Hadamard, E. Borel, mais l'histoire nous a depuis appris que la qualité scientifique et l'enthousiasme de ses promoteurs sont loin de suffire à faire une réforme qui marche ! Se conjuguent ici sans aucun doute un faisceau de raisons qui dépassent les seules mathématiques. Si l'on regarde cette réforme, en comparant son environnement à celui de réformes plus récentes, il semble nécessaire de pointer un certain nombre de caractéristiques de cet environnement qui contribuent sans doute à expliquer ce succès historique.

Tout d'abord, la réforme s'adresse à un public culturellement adapté. Si l'on a, en effet, en 1902 la volonté de promouvoir des humanités scientifiques, on s'adresse toujours au même public, celui des élites bourgeoises, *a priori* culturellement adapté à ce type d'enseignement. Il ne s'agit pas de s'attaquer, comme cela sera le cas plus tard, à la démocratisation de l'enseignement, de concevoir un enseignement de masse. Par voie de conséquence également, on ne touche pas tous les enseignants, mais la seule élite des enseignants les mieux formés. Ces facteurs favorisent sans aucun doute la réussite.

Ensuite, la réforme ne modifie pas un enseignement existant, elle introduit un objet nouveau, dont l'intérêt est aisément perceptible. Il n'y a donc pas ici d'inerties à vaincre, il n'y a pas de conceptions à modifier, il suffit de rendre acceptable un objet nouveau, certes, mais qui n'entre véritablement en concurrence avec aucun autre. Dans une entreprise qui se veut modernisatrice, comme celle de 1902, la nouveauté est d'ailleurs un atout et non un inconvénient (si la formation du corps enseignant n'introduit pas d'obstacle majeur, ce qui est le cas ici). De plus cette nouveauté est synonyme d'unité et d'efficacité. Elle fait apparaître complètement obsolètes, comme le soulignent conjointement mathématiciens et physiciens, les méthodes *ad hoc* auxquelles le système avait jusqu'alors recours, sans avoir accès aux outils correspondants pour les problèmes relevant du CDI qu'il avait à traiter. Le progrès est immédiatement perceptible.

Par ailleurs, la réforme met à la disposition des enseignants des ressources certaines. Comme le souligne B. Belhoste [1990], la réforme des programmes est prise en charge par des universitaires tels G. Darboux, P. Appell, J. Tannery, très critiques vis-à-vis d'un enseignement secondaire qu'ils jugent dépassé. Mais les mathématiciens qui s'engagent dans la réforme de 1902, vont faire plus que cautionner scientifiquement la réforme et en élaborer les programmes. Ils vont produire un certain nombre d'ouvrages qui seront autant de repères pour les enseignants et connaîtront d'ailleurs un renom international : G.Darboux, par exemple, est l'éditeur d'un *Cours complet de mathématiques élémentaires*, publié chez A. Colin auquel collaborent J. Tannery (*Leçons d'arithmétique théorique et pratique*), J. Hadamard (*Leçons de géométrie élémentaire*), F. Tisserand et H. Andoyer (*Leçons de cosmographie*), C. Bourlet (*Leçons d'algèbre élémentaire*). Mentionnons aussi les *Notions de mathématiques* de J. et P. Tannery, souvent citées.

Enfin, la réforme est une réforme mesurée qui n'ébranle pas l'enseignement des mathématiques et vise essentiellement une analyse « algébrisée ». Certes la notion de dérivée est introduite en 1902 dès la classe de 2^{e} mais elle s'insère dans un édifice existant plus qu'elle ne le bouleverse : fonctions affines, quadratiques et homographiques sont étudiées d'abord sans son recours et d'ailleurs le terme de fonction lui-même n'apparaît pas dans les programmes de mathématiques de cette classe (il figure en revanche dans les commentaires du programme de physique). La notion de dérivée se rajoute, sans la perturber, à la rédaction antérieure, elle s'intercale entre des contenus vieux et rassurants : l'étude des variations de l'expression $\dfrac{ax+b}{cx+d}$ d'une part, les progressions arithmétiques et géométriques, logarithmes et intérêts composés d'autre part. Le terme fonction apparaît en terminale, mais il n'est pas question d'introduire cette notion comme notion autonome. Les notions nouvelles font par ailleurs l'objet de commentaires sécurisants, tel celui-ci extrait du programme de terminale: « Le professeur laissera de côté toutes les questions subtiles que soulève une exposition rigoureuse de la théorie des dérivées ; il aura en vue les applications et ne craindra pas de faire appel à l'intuition ». En fait, sur les huit pages du programme, une seule concerne l'algèbre et l'analyse. L'essentiel reste ailleurs, comme en témoignent les rubriques : arithmétique, algèbre, trigonométrie, géométrie, cinématique, statique, dynamique, géométrie descriptive, cosmographie, dessin géométrique et compléments de géométrie !

L'analyse qui est enseignée est de plus une analyse algébrisée, algorithmisée : calcul de dérivées et, dans une moindre mesure, de primitives en sont les deux piliers. Il s'agit donc plus de *Calculus* au sens classique de ce terme que d'une réelle entrée dans le monde des concepts et des modes de pensée de l'analyse, celui de l'approximation, avec toutes les difficultés que cette entrée comporte. Cela ne diminue en rien l'intérêt de cette réforme mais montre que, limitant ses ambitions à une analyse plus calculatoire que conceptuelle, ses chances de réussite en sont accrues.

Avant d'aller plus avant dans l'histoire de l'enseignement, soulignons un dernier point. Les concepteurs des programmes ont certes le souci de développer une mathématique expérimentale, attachée à la réalité, le souci d'enseigner une analyse accessible aux élèves, mais c'est la cohérence, la logique interne des savoirs mathématiques qui pilote le choix et l'organisation des contenus d'enseignement. De plus, si l'accent est mis sur l'appel à l'intuition, on insiste également sur le fait qu'on ne saurait se contenter d'un rapport purement intuitif aux objets mathématiques. Le débat, en ce qui concerne le CDI, est d'autant plus vif, que la rigueur mathématique dans ce domaine est relativement récente. Mais il est conclu dans le sens de la rigueur. Comme l'écrit E. Beke : « Nous ne voulons pas d'un Calcul infinitésimal superficiel, dépourvu de toute précision et indigne de la science ». Ainsi, ne se contente-t-on nulle part d'une intuition des limites, ainsi rejette-t-on, dans la plupart des programmes, la formule de Taylor, malgré le poids historique des développements polynomiaux, parce qu'on juge ne pas pouvoir la présenter de façon satisfaisante à ce niveau d'enseignement.

LA RÉFORME DES ANNÉES 1960

Dès la fin des années 1950, l'obsolescence de l'enseignement secondaire des mathématiques est de nouveau fortement ressentie, le décalage avec les mathématiques savantes, avec les mathématiques universitaires, du fait de l'évolution de ces dernières, devenant de plus en plus patent. En effet, l'obsolescence de l'enseignement des mathématiques au niveau universitaire, en particulier celle du cours de CDI qui constituait le cours fondamental de la licence de mathématiques, s'est faite sentir dès les années 1930 et c'est d'ailleurs elle qui a conduit à la création du groupe Bourbaki [Revuz, 1992]. Les premiers cours « modernes » de CDI ont été donnés dès la fin des années 1930, à Nancy puis à Clermont-Ferrand. Quant aux programmes du Certificat d'études supérieures de mathématiques et de physique (correspondant au DEUG actuel) ils ont été, eux, réformés en 1958.

La réforme s'engage dès le début des années 1960 au niveau du lycée et surtout des classes terminales. Nous nous limiterons dans ce qui suit aux sections scientifiques mathématiques, c'est-à-dire, pour la réforme de 1960, aux sections C, Moderne et M' en 2^{e} et 1ère, Mathématiques en terminale et, à partir de 1965, aux sections C et T.

C'est dans cette réforme que le terme d'analyse apparaît enfin, avec un paragraphe « Algèbre et notions d'analyse », dès la classe de 2^{e}. Ce paragraphe comprend deux rubriques : 1) Les nombres et le calcul algébrique — 2) Les fonctions. Les commentaires contiennent par ailleurs une rubrique intitulée « Notions "modernes". Le vocabulaire et le symbolisme », qui précise que, si le libellé du programme ne fait pas mention des notions ensemblistes, il n'est pas question d'en proscrire l'utilisation. « Il convient de les dégager peu à peu, de les reconnaître puis de les définir, à partir de nombreux exemples où elles interviennent naturellement ». Il est de même fait mention, dès ce niveau, des structures de groupes, anneaux, corps, qui « pourront aussi être introduites, à condition que le terrain ait été d'abord soigneusement préparé ; elles peuvent faciliter la présentation de certaines synthèses et permettre des comparaisons utiles pour l'avenir ». Quant au symbolisme, il est recommandé de l'introduire, mais avec prudence.

La notion de dérivée est toujours introduite en classe de 1ère, dans la rubrique : « Algèbre, trigonométrie et notions d'analyse », elle-même subdivisée en quatre rubriques : I. Polynômes du second degré et fonction homographique — II. Dérivées — III. Fonctions circulaires — IV. Applications. On précise qu'en ce qui concerne la notion de limite, « on se bornera à donner les définitions indispensables ainsi que l'énoncé des propriétés utilisées ; la démonstration de ces propriétés est en dehors du programme ».

En terminale, comme l'indiquent les commentaires, « une spécialisation plus nette étant intervenue, il sera utile de revenir sur les principes, à l'occasion de quelque théorie, dont l'étude, entièrement reprise, permettra de montrer l'importance et l'intérêt de certaines exigences logiques ». Vocabulaire, symboles ensemblistes, quantificateurs et connecteurs entrent explicitement dans les programmes. L'analyse est incluse dans la rubrique : Arithmétique, algèbre et notions d'analyse (9 pages sur les 15 que comporte le programme), elle-même subdivisée en huit rubriques : I. Les nombres. Extensions successives de la notion de nombre. — II. Arithmétique. — III. Premières définitions sur les fonctions. — IV. Fonctions polynômes et fractions rationnelles. — V. Généralités sur les fonctions d'une variable réelle. — VI. Étude de quelques fonctions d'une variable réelle. — VII. Équations et inéquations. — VIII. Calcul numérique.

Il n'est pas question de reproduire ici le détail de ces programmes, mais précisons les points suivants :

— dans le paragraphe I, l'extension du champ des nombres met clairement en évidence les structures algébriques des différents ensembles de nombres ; on précise que des indications doivent être données, à partir d'exemples, sur un mode de construction des réels,

— dans le paragraphe III, les fonctions sont définies comme applications entre ensembles, dans un cadre général et il est indiqué que les notions introduites serviront notamment en géométrie pour l'étude des transformations,

— le paragraphe V adopte l'organisation classique : limites, continuité, dérivées, primitives, la notion de limite étant définie à la fois dans le contexte des suites et dans celui des fonctions ; les théorèmes sont dans ce paragraphe admis sans démonstration mais on va jusqu'aux théorèmes de Rolle et des accroissements finis,

— le paragraphe VI introduit les fonctions logarithmes et exponentielles et les fonctions trigonométriques y remplacent l'ancienne trigonométrie.

L'évolution amorcée en 1960 est renforcée en 1965 avec le réaménagement des filières à partir de la 2^{e} (aux filières A', C, M et M' en 1ère et 2^{e}, philosophie, mathématiques et sciences expérimentales en terminale succèdent les filières A, C et T en 2^{e}, A, B,C, D et T en 1ère et terminale). L'introduction des notions ensemblistes et logiques descend en classe de 1ère et, dans la rubrique algèbre et notions d'analyse du programme de cette classe, on voit apparaître un paragraphe : « Généralités sur les fonctions numériques d'une variable réelle » où sont introduites les notions de limite, continuité, dérivabilité. Ce paragraphe précède ceux relatifs à l'étude des fonctions polynômes, rationnelles et circulaires. En terminale, les notions générales s'étoffent avec l'introduction explicite de la notion de loi de composition : loi interne, loi externe, la définition des structures de groupe, d'anneau, de corps commutatif et d'espace vectoriel, la notion d'isomorphisme de structures. La rubrique Arithmétique, algèbre et notions d'analyse est maintenant subdivisée en : I. Les nombres. Extensions successives de la notion de nombre. — II. Arithmétique. — III. — Fonctions numériques d'une variable réelle. — IV. Étude de quelques fonctions numériques. — V. Fonctions vectorielles d'une variable réelle. — VI. Équations différentielles. — VIII. Calcul numérique, les généralités ensemblistes sur les fonctions ayant été intégrées dans la rubrique : notions générales. Il y a peu de modifications dans cette partie du programme, mais on notera l'introduction du symbole intégral.

Les changements sont donc substantiels. Ils ne semblent pourtant pas vécus comme un bouleversement, une révolution. Dans les mémoires, cette réforme est aujourd'hui quasiment oubliée, effacée par celle qui la suivra de près, la réforme des mathématiques modernes. Si l'on y réfléchit, ceci ne doit pas nous étonner. Encore une fois, on ne touche que le haut de la pyramide du système secondaire, on ne s'adresse ni à la masse des élèves, ni à la masse des enseignants. La réforme ne s'affirme pas elle-même comme un changement révolutionnaire mais comme un aménagement. Il n'y a pas en particulier réécriture complète des programmes, comme ce sera le cas quelques années plus tard, mais adaptations locales, insertions de nouveautés dans une organisation globale qui n'est pas bouleversée. Les programmes de 1$^{\text{ère}}$ de 1960, par exemple, tout en introduisant des généralités sur les fonctions, reproduisent la séparation ancienne où l'étude des fonctions quadratiques et homographiques précède l'introduction des dérivées. Ce n'est que dans la réforme suivante, en 1965, que cette organisation disparaîtra définitivement. L'enseignant peut tout à fait se retrouver dans les formulations adoptées dont le modernisme n'a rien d'agressif, repérer les parties anciennes, familières dans le libellé, et faire la part de l'ancien et du nouveau. La démarche est de plus progressive. Dans les instructions de 1960, on incite les enseignants, comme nous l'avons montré, à introduire notations ensemblistes et structures, mais on conseille de le faire avec modération. On marque nettement la séparation entre les classes de 2$^{\text{e}}$ et 1$^{\text{ère}}$ où « un exposé strictement axiomatique, séparant totalement les êtres mathématiques de leur origine concrète, du cadre réel de leur création ne peut guère donner de résultats valables », et celles de terminale où les reprises théoriques par rapport à des objets connus sont les bienvenues, mais on précise aussi que, dès la 2$^{\text{e}}$ et la 1$^{\text{ère}}$, « il n'est pas exclu, bien au contraire, d'attirer l'attention, sur la nature et la signification des définitions et hypothèses que l'on adopte, sur les faits et les propriétés que l'on admet afin de préserver l'avenir et de faire comprendre que de nouvelles étapes restent à parcourir. »

De fait, tous les compromis restent possibles entre l'ancien et le nouveau, l'évolution peut prendre son temps. En témoignent, par exemple, au niveau des manuels, des compromis qui n'auraient pu survivre à des changements plus radicaux. Nous n'en citerons qu'un exemple, celui de la définition de la limite. Avec la réforme de 1960, la formalisation de la limite en apparaît dans les manuels. Mais on voit dans certains manuels coexister le théoriquement inconciliable comme dans le manuel de Monge de 1962 (voir l'encadré).

En ce qui concerne le champ de l'analyse au lycée donc, le terrain se prépare pour la réforme suivante, mais il se prépare, en l'espace de dix ans, en douceur !

Limite d'une variable
Définition : Soient un nombre fixe x_0, et un nombre positif α arbitrairement petit. On dit que la variable x a pour limite x_0, ou que la variable x tend vers x_0, si x prend toutes les valeurs de l'intervalle $(x_0 - \alpha,\ x_0 + \alpha)$ à l'exclusion de la valeur x_0.
La valeur absolue de la différence $x - x_0$ est inférieure à α, mais elle n'est pas nulle : $\forall \alpha > 0,\ 0 < |x - x_0| < \alpha$.
Nous écrivons : $\lim x = x_0$, ou $x \to x_0$.

Limite d'une fonction lorsque x tend vers x_0.
Définition : Soient une fonction : $y = f(x)$, un nombre fixe x_0, un nombre fixe b, et un nombre ε positif arbitraire. On dit que la fonction $f(x)$ a pour limite b (ou tend vers b) lorsque x tend vers x_0 s'il existe un nombre positif α tel que l'inégalité : $|f(x) - b| < \varepsilon$. Nous écrivons : $\lim\limits_{x \to x_0} f(x) = b$, ou : $f(x) \to b$.

Notons que, dans la définition, x_0 et b sont des nombres fixes ; ε est un nombre positif arbitraire. α est un nombre que l'on doit calculer, tel que, si la valeur absolue, non nulle, de $x - x_0$ est inférieure à α, l'inagalité $|f(x) - b| < \varepsilon$ soit vérifiée.
Nous écrivons : $\forall \varepsilon > 0,\ \exists \alpha > 0\ :\ 0 < |x - x_0| < \alpha \Rightarrow |f(x) - b| < \varepsilon$.

Monge, classe de 1ère, Édition Belin, 1962

LA RÉFORME DES MATHÉMATIQUES MODERNES DES ANNÉES 1970

Comme celle de 1902, cette réforme s'inscrit dans une volonté globale de modernisation des enseignements scientifiques, mal adaptés à l'évolution économique et sociale. Comme en 1902, des mathématiciens de renom s'investissent dans l'entreprise : G. Choquet, J. Dieudonné, A. Lichnerowicz, A. Revuz participent à la réflexion sur l'enseignement, voire à la rédaction des nouveaux programmes. Comme en 1902, la réforme s'appuie, philosophiquement, sur le courant alors dominant, tant dans les nouvelles sciences humaines que dans les sciences classiques, à savoir le structuralisme. Ceci conduit à mettre au premier plan les problèmes de fondements, d'axiomatique et la notion de structure, ces structures topologiques et algébriques notamment qui, pour les mathématiciens de l'époque, ont constitué une véritable révélation. On les retrouve, quasi miraculeusement, dans les théories construites par des psychologues comme J. Piaget pour rendre compte du développement individuel de la connaissance. Nul doute que ceci fournit une caution psychologique trop tentante pour être vraiment questionnée.

Nous n'insisterons pas davantage sur ces caractéristiques de la réforme qui ont été amplement décrites et analysées par ailleurs (cf. [Bkouche, Charlot, Rouche, 1991] par exemple). Nous voudrions souligner, en revanche, que contrairement à la réforme de 1902, celle des mathématiques modernes a l'ambition de s'attaquer de front à tous les ordres d'enseignement, de l'école élémentaire à l'université. Elle s'adresse donc aussi d'emblée à tous les enseignants, à une époque où l'augmentation brutale des effectifs scolaires conduit à employer, en particulier au niveau du collège, des enseignants de moins en moins formés [Magnier, 1992]. Elle est donc soumise à des contraintes qui ne sont en rien comparables à celles des réformes antérieures.

Les difficultés, les perversions vont en fait s'accumuler en dépit des précautions prises, comme, par exemple celles figurant dans les instructions de 1970 accompagnant le programme de 2^{e} C :

> « Le programme de 2^{e} C amorce en outre un renouvellement de l'enseignement des mathématiques dans le second cycle, il marque un effort vers plus de rigueur et plus de puissance d'action ; à ces divers titres, il ne laisse pas d'être attachant et, si les mathématiques y affirment leur caractère réel d'une discipline d'abstraction, il peut de ce fait, susciter une tentation à laquelle on ne devra pas céder, celle de se livrer d'une façon quasi exclusive à des considérations résolument abstraites, propres sans doute à cultiver au mieux les facultés d'une heureuse minorité d'élus, mais au risque de décevoir ou de lasser peu à peu tant d'autres élèves qui ont en 2^{e} C leur place légitime.
>
> Parmi les élèves, en effet, les uns préfèrent aborder d'emblée les notions générales pour les appliquer ensuite aux réalités usuelles, les autres préfèrent aussi valablement suivre la démarche opposée ; le professeur tiendra entre eux un compte équitable, il ne laissera ni les uns, ni les autres en rester au stade de leurs goûts initiaux, il leur apprendra à passer tous d'une attitude à l'autre avec une aisance croissante. D'ailleurs sous de certaines formes, tant mathématiques que physiques ou sociales, le concret doit rester ou devenir familier aux élèves ; on y tendra en associant sans cesse, par des exercices et des problèmes nombreux, les concepts et leurs applications. »

Très vite les pionniers déchantent. G. Choquet dénonce des générations qui ne seront préparées à rien et J. Dieudonné « une nouvelle scolastique, forme plus agressive et stupide placée sous la bannière du modernisme ». Dès 1972-73, la réaction s'organise, en particulier au sein de l'Association des professeurs de mathématiques (APM puis APMEP), mais il sera difficile, malgré les aménagements apportés aux programmes, de contrer les effets néfastes de la réforme, en particulier au niveau du collège. Elle sera globalement et vigoureusement rejetée.

Qu'en est-il de l'enseignement de l'analyse ? Il faut d'abord souligner qu'il ne constitue en rien le fer de lance de la réforme. Le peu de place qui lui est accordé dans les commentaires des nouveaux programmes — si l'on excepte la théorie de l'intégrale de Riemann, elle complètement nouvelle — l'atteste indirectement. Le peu de place que l'analyse occupera dans les polémiques relatives à la réforme, aussi. Si l'on se réfère globalement au contenu des programmes, les différences sont en effet peu importantes et peuvent passer quasiment inaperçues dans le bouleversement général.

L'analyse prend son autonomie par rapport à l'algèbre. En $1^{\text{ère}}$, elle apparaît dans la rubrique II : Fonctions numériques d'une variable réelle. La nouveauté réside dans l'introduction de la dérivée via la notion de « fonction linéaire tangente en un point à une fonction donnée «. Citons ici les instructions :

> « Soit f une fonction définie sur un intervalle ouvert I, x_0 un point de I ; s'il existe un réel A tel que la fonction φ définie par les conditions
>
> $$(1)\ f(x_0+h)=f(x_0)+Ah+h\varphi(h),\, h\neq 0,\, x_0+h\in \mathrm{I}$$
>
> ait pour limite zéro quand h tend vers zéro, on dit que la fonction linéaire $h \to Ah$ est tangente à la fonction f au point x_0. Une condition nécessaire et suffisante d'existence est que le rapport $\dfrac{f(x_0+h)-f(x_0)}{h}$ ait pour limite A quand h tend vers zéro. Cette limite est la dérivée (ou nombre dérivé) de la fonction f au point x_0. »

Comme le précisent les instructions :

> « Cette nouvelle présentation de la dérivée simplifie les calculs, se rapproche de l'usage des physiciens et se prête aisément à des généralisations ultérieures ».

On notera aussi la définition des fonctions trigonométriques à partir des matrices de rotations et la distinction effectuée à cette occasion entre Cos et cos, Sin et sin (Cos et Sin étant associés aux rotations vectorielles, cos et sin aux fonctions trigonométriques de **R** dans **R**).

En terminale, l'analyse est séparée en trois rubriques : III. Calcul différentiel.— IV. Calcul intégral.— V. Exemples de fonctions d'une variable réelle. Le programme de calcul différentiel est légèrement réduit par rapport à celui de 1965. Ainsi disparaissent les théorèmes de Rolle et des accroissements finis. En revanche, le calcul intégral qui fait maintenant l'objet d'un paragraphe spécifique, n'est plus uniquement basé sur la notion de primitive puisque l'on définit les sommes de Riemann :

> « Définition des sommes de Riemann d'une fonction numérique d'une variable réelle sur un intervalle fermé, borné. Existence de l'intégrale pour une fonction monotone ; notation $\int_a^b f(t)\,dt$; premières propriétés. On admettra que ces propriétés s'étendent à des fonctions continues ou monotones par morceaux.

Moyenne d'une telle fonction sur un intervalle fermé, borné. Lien avec la dérivation en des points où la fonction est continue. »

Et pourtant, le changement sera profond. Le langage bouge, la formalisation s'accroît, les intérêts se déplacent des applications traditionnelles vers les problèmes de fondement, de définition : l'enseignement de l'analyse se coule dans le moule de l'esprit de la réforme et il ne peut en être autrement. Pourtant, si importants que soient les changements, l'application de la réforme ne pose pas, pour ce domaine, les problèmes aigus qu'elle pose pour d'autres, en particulier au niveau du collège. Elle s'adresse à des élèves de lycée, déjà sélectionnés, aux enseignants les mieux formés, et c'est, à ce niveau, la partie de l'enseignement sans aucun doute la moins touchée par la réforme.

La contre-réforme des années 1980

Contrairement aux deux réformes précédentes, la contre-réforme des années 1980 est une réforme émanant du terrain, plus précisément des enseignants regroupés au sein de l'APMEP et des IREM (Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques, créés dans la foulée de la réforme des années 1970) et c'est une réforme qui s'organise en réaction à la réforme des mathématiques modernes. Elle s'appuie sur une conception des mathématiques qui a, une fois de plus, changé : l'accent n'est plus mis sur les mathématiques comme univers de structures, comme langage universel de la science, mais sur des mathématiques résultant d'une activité humaine, située à la fois dans le temps et dans l'espace. La finalité de ces mathématiques est la résolution de problèmes, problèmes suscités par le développement interne de la discipline ou d'autres secteurs scientifiques. Ce ne sont pas des mathématiques existant de toute éternité, que le mathématicien découvre, mais des mathématiques que le mathématicien construit en fonction de ses besoins. L'intérêt croissant qui se manifeste pour l'histoire des mathématiques n'est sans doute pas étranger à cette évolution.

Comme la précédente, c'est une réforme qui s'inscrit dans le cadre de la démocratisation de l'enseignement. L'enseignement des mathématiques ne doit pas être conçu pour une élite, il doit être accessible à tous et ne pas constituer un barrage à l'entrée dans les filières scientifiques. En revanche, c'est sans doute une réforme qui, prenant en compte les leçons de la réforme précédente, se veut plus attentive à l'équilibre nécessaire, dans la définition des contenus d'enseignement, entre les contraintes liées aux savoirs et celles liées au fonctionnement cognitif de l'élève. En référence aux théories constructivistes de l'apprentissage, qui deviennent alors dominantes, un accent fort est mis sur l'activité de l'élève.

Si on les compare à ceux des années 1970, les nouveaux programmes apparaissent beaucoup plus détaillés et les instructions incluent davantage de considérations pédagogiques. Pour ce qui est de l'analyse, le rôle de la commission InterIREM « Analyse » a été déterminant. Il suffit de comparer la brochure publiée par cette commission en

1981 [InterIREM Analyse, 1981] et les programmes publiés en 1982 pour s'en convaincre. Dans cette brochure, on reproche notamment à l'enseignement des années 1970 d'être un enseignement trop centré sur le discours de l'enseignant, où les notions de base sont introduites sans réelle problématique — ou alors avec des problématiques inaccessibles aux élèves —, où les concepts sont construits linéairement au lieu d'être motivés par la résolution de problèmes au cœur du champ, où les considérations qualitatives l'emportent trop sur les aspects quantitatifs, où, enfin, l'on emploie de façon trop précoce un langage formalisé hermétique tout en manifestant un goût exagéré pour le pathologique.

Les propositions faites se déduisent directement de ces critiques. Elles se répercutent directement au niveau des programmes. L'analyse est vue comme le champ de l'approximation et il s'agit de ménager une entrée progressive des élèves du lycée dans ce champ, sans se limiter à ses aspects calculatoires. Il s'agit de travailler d'abord avec des exemples simples, typiques, qui pourront servir de référence et de n'introduire qu'ensuite l'étude des cas plus généraux. Il s'agit de coordonner les aspects numériques, algébriques et graphiques, au lieu de donner la prééminence au travail algébrique, en s'appuyant notamment sur les moyens technologiques nouveaux. Il s'agit d'équilibrer les approches quantitatives et qualitatives et de réduire la formalisation au strict nécessaire.

L'analyse profite de plus directement du rejet de l'excessive attention des programmes précédents au domaine algébrique et un rééquilibrage s'opère en sa faveur dans les programmes. Dans la réforme de 1970, sur un programme d'un peu plus de 3 pages, moins d'un tiers de page était consacré, en 2^e, aux fonctions, contre deux- tiers aux structures numériques et 2 à la géométrie. Dans les programmes de 1982, plus détaillés, 2 pages sur les 6 sont réservées aux fonctions. La rubrique fonction, qui dans les programmes précédents ne mentionnait que les fonctions affines, affines par intervalles et la fonction inverse, est maintenant divisée en trois parties : a) exemples de fonctions introduits par des procédés très divers ; b) comportement global d'une fonction. ; c) comportement local d'une fonction, et les exemples mentionnés sont beaucoup plus variés. En 1ère, les programmes comportaient en 1970 un peu moins de 3 pages, et une demi-page concernait les fonctions. En 1982, les programmes de 1ère comportent 6 pages, et plus de 2,5 sont consacrées à l'analyse. En terminale, l'écart est moindre puisque le rapport est de 2,5 à 5,5 dans les programmes de 1970 et de 4 à 8 dans ceux de 1982.

En classe de 2^e, nous l'avons signalé ci-dessus, les fonctions occupent une place importante. Mais les définitions ensemblistes ont disparu et on se limite aux fonctions d'une variable réelle. L'accent est d'abord mis sur la modélisation de phénomènes divers et sur l'articulation entre les divers registres de représentation des fonctions : tables de valeurs, formules, graphes. On demande de souligner « les aspects qualitatifs et les aspects quantitatifs, notamment pour les fonctions usuelles ». Le paragraphe consacré au comportement local d'une fonction montre bien l'accent mis sur les pratiques d'approximation et l'étude d'exemples typiques :

« Exemple d'études au voisinage de zéro :

$$x \to (1+x)^2,\ x \to (1+x)^3,\ x \to \frac{1}{1+x},\ x \to \sqrt{1+x}\ .$$

Exemples d'approximation locale par une fonction affine ; utilisation de majorations dans le calcul approché des valeurs d'une fonction et le calcul d'erreurs.

On entraînera ici encore les élèves à trouver des conditions suffisantes pour la mise en place d'une majoration, par exemple :

$0 \le \dfrac{1}{1+x} - (1-x) \le 2x^2$ sous la condition suffisante $|x| \le \frac{1}{2}$. »

Et l'on voit déjà apparaître, dans la rubrique « Thèmes », les catégories de problèmes qui traverseront les trois années du lycée :

« 1. Majoration, minoration d'une fonction sur un intervalle.

2. Recherches de maxima, de minima, associés à des problèmes élémentaires d'optimisation.

3. Taux de variation : encadrement de ce taux ; inégalités du type $|f(y) - f(x)| \le M|y-x|$ pour tous x, y ; interprétation géométrique.

4. Emploi des variations d'une fonction pour l'étude d'équations $f(x) = b$ et d'inéquations ».

En 1ère, l'esprit est le même. L'analyse est répartie en trois rubriques : I. Suites numériques — II. Fonctions numériques — III. Fonctions polynômes (cette dernière rubrique participant aussi du travail algébrique), les suites ayant pris leur autonomie. La notion de limite n'est formalisée que dans le cas de la limite 0 et les commentaires précisent :

> « L'étude des limites exige des définitions : une seule, celle de la limite 0, a besoin d'être explicitée en (ε, N) ou en (ε, η) ; il suffit ensuite, sans manquer à la rigueur, d'employer des majorations et de recourir aux théorèmes (admis) de stabilité. Encore faut-il qu'à travers l'étude de nombreuses situations on accède progressivement aux motivations de la définition en (ε, η) de la limite 0 ; on évitera l'emploi systématique de cette formulation au niveau du cours comme à celui des exercices ».

La dérivée n'est plus introduite en termes d'application linéaire tangente mais l'idée d'approximation reste centrale *via* la notion de développement limité :

> « Développement limité d'ordre un ; nombre dérivé, interprétations cinématique (vitesse) et géométrique (tangente) ; fonction dérivable sur un intervalle ».

La notion de primitive est introduite pour les fonctions continues, « pour permettre d'introduire la fonction logarithme népérien dès le début de la classe de terminale ».

L'esprit est toujours le même en terminale, où l'analyse est répartie en quatre paragraphes : II. Suites numériques — III. Fonctions numériques — IV. Calcul intégral — V. Fonctions vectorielles et cinématique, les suites conservant leur autonomie et l'énoncé des théorèmes généraux du calcul différentiel étant maintenant intégré à l'étude des fonctions considérées à ce niveau. On précise par exemple, dans l'introduction du paragraphe III que :

> « Dans les énoncés et les démonstrations on continuera de se placer dans les hypothèses de bonne sécurité sans en rechercher de plus fines. Comme dans les classes précédentes les exemples d'études de fonctions seront nombreux et variés, et on entretiendra l'habitude de la représentation graphique, car celle-ci joue un rôle important dans la description de comportements ; une indication d'allure peut suffire pour exprimer l'aspect qualitatif, un tracé soigné est nécessaire lorsqu'on passe aux aspects quantitatifs ».

Si l'on compare aux contenus de la période précédente, on note un renforcement du calcul différentiel : introduction de la notion de dérivée partielle, en vue des utilisations en sciences physiques, introduction de développements limités d'ordre supérieur à 1 et exploitation pour la recherche de limites, retour des théorèmes de Rolle et des accroissements finis et introduction de l'inégalité des accroissements finis, pour permettre l'obtention de majorations. Au niveau du calcul intégral, comme l'on pouvait s'y attendre, la théorie de l'intégrale de Riemann disparaît, en revanche, en accord avec l'esprit des programmes, on voit apparaître une rubrique : « calcul approché » :

> « Obtention d'une valeur approchée d'une intégrale : on exposera seulement la méthode des rectangles, avec majoration du reste ; on en déduira une interprétation de la valeur moyenne d'une fonction comme limite d'une suite ».

Et les commentaires précisent :

> « L'approximation numérique directe restitue à la notion d'intégrale son autonomie ; c'est une raison importante de bien mettre en valeur cet aspect. Sur des exemples simples, on pourra comparer la performance de la méthode des rectangles à celle de méthodes plus élaborées (trapèzes, tangentes) ; aucune étude systématique de ces méthodes n'est à envisager ».

Nous avons décrit dans un autre article [Artigue, 1993] l'évolution ultérieure de cette contre-réforme, réaménagée en 1985. On constate un nouveau recul de la théorisation, associé à un renforcement du rôle joué par les exemples simples typiques, déjà présents en 1982, mais qui deviennent là « suites et fonctions de référence ». C'est à travers ces objets que se formulent alors les notions de limites de suite et de fonction, dans un paragraphe qui s'intitule très modestement : « Langage des limites » :

> « Après observation des fonctions $h \to h^n$ $(n = 1, 2, 3)$; $h \to \sqrt{h}$ au voisinage de 0, on dit que ces fonctions admettent en 0 la limite 0. Lorsque l'on a établi que, pour h assez petit : $|g(h) - L| < |h|^n$, où n est un entier positif, on dit que g admet L pour limite au point 0, ce qu'on note $\lim\limits_{h \to 0} g(h) = L$ ».

Il s'agit là, soulignons-le, de formulations uniquement en termes de conditions suffisantes, ne permettant donc pas de prouver une non-convergence. Dans ce réaménagement, pour forcer le travail d'encadrement et de majoration, l'introduction de l'algèbre des limites est repoussée en terminale.

Nous avons analysé dans ce même texte comment les difficultés de viabilité des choix didactiques ainsi opérés conduiront dans le réaménagement suivant (1990), à redonner une place plus raisonnable aux fonctions de référence, tout en se limitant à une approche très intuitive de la notion de limite, sans définition précise. Les modifications les plus récentes (1992 pour les nouvelles filières ES et 1993 pour les terminales) n'ont pas modifié l'équilibre qui s'est ainsi progressivement constitué depuis 1982. Est-ce à dire que l'on a enfin trouvé la voie royale pour l'enseignement des tous débuts de l'analyse ? Ceci n'a rien de sûr, même si la réforme n'a pour l'instant pas suscité d'émois majeurs.

CONCLUSION

L'histoire de l'enseignement secondaire de l'analyse en France au cours de ce siècle, que nous avons évoquée ici très schématiquement, est sans aucun doute une belle histoire, tant pour l'historien de l'enseignement que pour le didacticien. Elle nous montre clairement comment, dans la mise en place des réformes, dans la vie qu'ont ensuite ces réformes à l'intérieur de l'institution scolaire, interviennent et s'imbriquent des facteurs de nature diverse : mathématiques bien sûr, liés à l'avancée de cette science comme aux conceptions philosophiques et épistémologiques qui tour à tour dominent, sur ce que sont les mathématiques, sur les rapports qui doivent s'établir entre cette science et les autres secteurs scientifiques, mais aussi culturels, économiques et sociaux.

Elle nous montre aussi que, même si l'histoire semble parfois se répéter : retour actuel aux approches expérimentales prônées au début du siècle, par exemple, un regard plus attentif permet de mettre en évidence les différences profondes qui existent entre deux situations que l'on aurait peut-être tendance trop vite à assimiler. La situation de l'enseignement de l'analyse aujourd'hui n'est ainsi en rien comparable à ce qu'elle était au début du siècle, en dépit de certaines convergences. On ne s'adresse pas au même public, les équilibres de l'enseignement ne sont pas les mêmes, les ambitions de l'enseignement ne sont non plus pas les mêmes.

Certes, comme au début du siècle, on reconnaît qu'il est illusoire de vouloir enseigner d'emblée une analyse « définitive », qu'il faut savoir se satisfaire de savoirs provisoires que l'enseignement devra progressivement remanier et aménager. Mais, au début du siècle, les choses paraissent faciles et on s'enthousiasme pour ce que permet le nouvel enseignement de l'analyse, un peu comme le Marquis de l'Hospital s'enthousiasmait à la fin du XVII^{e} siècle pour ce que permettait le nouveau calcul infinitésimal, dans la préface du premier traité de calcul infinitésimal. Aujourd'hui, nous savons que l'entrée dans le champ de l'analyse est moins facile que ne pourrait le laisser supposer l'accessibilité réelle des calculs de dérivées et primitives. Nous n'oserions plus écrire, comme le fait E. Beke dans son rapport :

> « La notion de limite intervient si fréquemment au cours de l'enseignement secondaire et même dans le cycle inférieur (fractions décimales illimitées, aire du cercle, logarithme, série géométrique, etc.) que sa définition générale ne doit poser aucune difficulté ».

Nous avons appris que divers obstacles épistémologiques jalonnent la conceptualisation de la notion de limite [Cornu, 1991] et qu'il y a, par ailleurs, un saut qualitatif entre la capacité d'expliquer cette définition, la commenter, l'illustrer par des exemples, voire restituer son écriture formelle, et la capacité d'utiliser cette notion de façon opérationnelle pour résoudre des problèmes mathématiques. Nous mesurons mieux à la fois les potentialités et les limites de l'algorithmisation algébrique de l'analyse pour nos élèves, et nos ambitions, cela est clair, dépassent l'apprentissage du seul calcul. Nous aimerions que nos élèves soient bien sûr capables d'effectuer ces calculs dans les cas simples, qu'ils soient aussi, dans les cas plus complexes, capables de piloter et contrôler intelligemment les logiciels qui les feront à leur place, nous voudrions qu'ils soient capables de jouer avec flexibilité entre les différents registres [Duval, 1993] dans lesquels s'expriment symboliquement les notions et objets de l'analyse, les cadres [Douady, 1986] dans lesquels ces notions et objets sont appelés à fonctionner, les différents points de vue que l'on peut adopter à leur propos, car nous savons que cette flexibilité est une composante essentielle de la conceptualisation. Nous voudrions les faire entrer dans les modes de pensée, les méthodes et les techniques qui sont en un sens spécifiques de ce champ. Nous savons que tout ceci est difficile, doit se concevoir dans la durée, sur plusieurs années et que l'évolution des connaissances des élèves ne pourra se faire de façon linéaire, continue, par petits pas, mais nécessitera des reprises et des ruptures que l'enseignement, de par ses traditions, a du mal à organiser et gérer.

De ce point de vue, comme nous le soulignons dans [Artigue, 1993], l'enseignement actuel du lycée, s'il semble plus accessible aux élèves, n'est pas sans poser problème. Il opte pour une approche intuitive qui veut donner du sens au champ de l'analyse *via* la rencontre de problèmes riches, *via* la mise en place des techniques d'approximation qui sont au cœur du champ. Des intentions louables des promoteurs à la réalité des classes, les décalages sont perceptibles. Les problèmes riches qui doivent motiver l'introduction des notions et techniques, passés au filtre des manuels, des contraintes d'écriture de ces derniers comme du souci compréhensible de ne pas heurter les pratiques usuelles des enseignants, deviennent souvent de pseudo-activités, où l'élève, conduit pas à pas, devient un simple exécutant de micro-tâches dont la cohérence globale n'a aucune raison de lui apparaître. Les démarches expérimentales, prônées par les programmes, oscillent souvent entre la fausse expérimentation où tout est décidé à l'avance et le simple bricolage. De ce fait, le cours qui est censé suivre ces activités introductrices est souvent en fort décalage avec ce qu'ont réellement vécu les élèves. Les choix faits au niveau de la formalisation, des définitions ou de leur absence ne sont pas non plus sans poser problèmes. On le voit bien à la lecture des manuels où le statut des énoncés est le plus souvent ambigu. On peut se demander quelles répercussions ont les choix effectués sur la conception que se font les élèves du vrai et du faux en mathématiques, et si la difficulté réelle à engager le jeu des preuves et réfutations sur des bases aussi floues, ne renforce pas des fonctionnements peu scientifiques ou pilotés par le seul contrat didactique.

Il est facile de poser ces questions, de se demander quel sera le prix à payer ensuite pour instaurer un autre rapport aux objets de l'analyse à l'université, quels obstacles engendreront ces pratiques lycéennes et quelle sera leur résistance. Il est facile de souhaiter qu'avant la fin du lycée, une certaine structuration soit organisée qui permette réellement de capitaliser les expériences vécues, qu'un rapport au vrai/faux plus satisfaisant puisse s'installer. Il est moins facile de trouver des solutions, encore moins de trouver des solutions qui puissent se formuler de manière homogène, générale, dans le cadre de programmes.

Nous avons perdu notre naïveté. Espérons que cette perte ainsi que les connaissances acquises, au lieu de nous paralyser, nous aideront à agir de façon plus efficace, parce que plus conscientes des difficultés à vaincre et des effets possibles de nos actions.

Bibliographie

Artigue (M. et al.), *Procédures différentielles dans les enseignements de mathématiques et de physique au niveau du premier cycle universitaire*, Rapport de Recherche, IREM Paris VII, 1989.

Artigue (M.), « Enseignement de l'analyse et fonctions de référence », *Repères IREM*, vol. 11, 1993, pp. 115-139.

Artigue (M.) et Ervynck (G.) (éds.), *Actes du Working Group n° 3 « Students' difficulties in Calculus »*, ICME 7, Université de Sherbrooke, 1992.

Beke (E.), « Rapport général sur les résultats obtenus dans l'introduction du calcul différentiel et intégral dans les classes supérieures des établissements secondaires », *L'Enseignement Mathématique*, vol. 16, 1914, pp. 246-284.

Belhoste (B.), « L'enseignement secondaire français et les sciences au début du XXe siècle », *Revue d'histoire des sciences*, XLIII/4, 1990, pp. 371-399.

Bioche (C.), « L'enseignement du calcul différentiel et intégral dans les lycées en France », *L'Enseignement mathématique*, vol. 16, 1914, pp. 289-292.

Bkouche (R.), Charlot (B.), Rouche (N.), *Faire des mathématiques : le plaisir du sens*, A. Colin, Paris, 1991.

Bourlet (C.), « La pénétration réciproque des enseignements de mathématiques pures et de mathématiques appliquées dans l'enseignement secondaire », *L'Enseignement mathématique*, vol. 16, 1914, pp. 372-387.

Chevallard (Y.), *La Transposition didactique*, Grenoble, La Pensée Sauvage, 1985, (2e édition : 1991).

Chevallard (Y.), « A theoretical approach to curricula », *Journal für Mathematikdidaktik*, vol. 13 (2/3), 1992, pp. 215-230.

Commission interIREM Analyse (éd.), L'enseignement de l'analyse, IREM de Lyon, 1981.

Cornu (B.), « Limits », in Advanced Mathematical Thinking, Kluwer Academic Press, 1991, pp. 153-166.

Douady (R.), « Jeux de cadres et dialectique outil-objet », *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 7.2, 1986, pp. 5-31.

Duval (R.), « Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée », *Annales de sciences cognitives et didactique*, vol. 5, IREM de Strasbourg, 1993.

Legrand (M.), « Débat scientifique en cours de mathématiques et spécificité de l'analyse », *Repères IREM*, vol. 10, pp. 123-159.

Magnier (A.), « Les prémisses et le mise en place de la réforme dans l'enseignement secondaire français », *Gazette de la SMF*, n° 54, 1992, pp. 9-12.

Poincaré (H.), « Les définitions en mathématiques », *L'Enseignement mathématique*, vol. 6, 1904, pp. 255-283.

Revuz (A.), « L'enseignement des mathématiques de 1934 à 1954 », *Gazette de la SMF*, n° 54, 1992, pp. 4-7.

Steen (L.A.) (éd.), *Calculus for a New Century : a Pump, not a Filter*, MAA Notes n° 8, 1988.

Tall D. (éd), *Advanced Mathematical Thinking*, Kluwer Academic Press, 1991.

Le physicien André Lagarrigue (1924-1975),
président de la Commission ministérielle de réforme de l'enseignement des
sciences physiques créée en 1971. (Photographie prise en 1974)

Un moment du développement de l'enseignement scientifique et technologique : les débats de la Commission Lagarrigue sur la technologie

Jean-Louis MARTINAND

Dans l'espace occupé aujourd'hui au collège par les sciences et techniques biologiques et géologiques, les sciences physiques et la technologie, la configuration des disciplines a beaucoup changé en quelques dizaines d'années ; plusieurs lignes de développement historique se sont entrecroisées.

Au collège même, on est passé depuis les années 1960 des travaux manuels éducatifs (TME) à l'éducation manuelle et technique (EMT, instaurée par R. Haby en 1977) puis à la technologie. [Rapport L. Géminard — Commission Permanente de Réflexion sur l'Éducation Technologique — 1985]. La première apparition d'une discipline technologie date de 1962 pour la 4^{e} et la 3^{e}, sous l'impulsion du Recteur Capelle. Puis, après les propositions de la Commission Lagarrigue qui envisageait une initiation aux sciences et techniques, ce sont finalement les sciences physiques qui ont été implantées au collège, de la 6^{e} à la 3^{e} à partir de 1977 ; mais, en 1991, elles ont été supprimées en 6^{e} et 5^{e}.

À l'école élémentaire, par une évolution interne (dans le système écoles primaires-écoles normales) influencée par le collège, on était passé du travail manuel aux activités manuelles éducatives ; celles-ci ont eu tendance à dériver dans deux directions : celle des activités plastiques et celle des activités techniques. Parallèlement, les leçons de choses, qui comprenaient la connaissance des techniques, ont été remplacées par l'éveil scientifique et technologique (depuis 1977). En 1985, l'ensemble est unifié sous l'appellation sciences et technologie.

Au lycée, l'ancienne 2^{e} T a été progressivement démembrée : option « lourde » puis deux options (technologie des systèmes automatisés et productique), l'option technologie des systèmes automatisés se généralisant peu à peu. Les automatismes et l'approche systémique des dispositifs techniques sont devenus des caractéristiques fortes de toute éducation ou formation technologique aujourd'hui.

Nous nous proposons ici de mettre en lumière un moment du développement historique complexe de l'éducation technologique : les débats de la Commission Lagarrigue sur la technologie.

LES ANNÉES 1960, LA CRÉATION D'UN ENSEIGNEMENT DE TECHNOLOGIE

La présence des techniques dans l'enseignement général est évidemment ancienne. Pendant longtemps les sciences physiques ou naturelles ont eu la charge de présenter les nombreuses applications des connaissances scientifiques, de décrire, souvent de façon très détaillée, les instruments et les procédés. Malgré les bouleversements des programmes de sciences, il en reste toujours quelques traces. En fait cette part de l'enseignement scientifique a alimenté un débat permanent : critique de « l'utilitarisme » et promotion des savoirs théoriques d'un côté, critique du « formalisme » et incitation à prendre en compte les applications d'un autre côté.

La technologie, au sens d'une description systématique des techniques, a pu figurer dans certains programmes d'écoles primaires supérieures ou de collèges modernes entre les deux guerres. À la fin des années 1950 et au début des années 1960, l'industrialisation, soutenue par une politique vigoureuse, appelle une éducation générale de promotion des valeurs industrielles et d'apprentissages des éléments de la compétence technique. Dans la conception de l'époque, il s'agit de développer l'analyse fonctionnelle des objets, le dessin de construction , les mesures. Le recteur Capelle joue un rôle moteur dans la mise en place d'une première technologie pour tous, troisième discipline fondamentale du collège [Capelle, 1966, pp. 62-63].

C'est ainsi que les orientations de 1962 pour l'enseignement de technologie — comprenant 2 heures par semaine en 4^{e} et 3^{e} — lui fixent pour « objet essentiel » « l'étude critique d'objets et de mécanismes simples conçus par les hommes pour la satisfaction de leurs besoins. Elle tend à développer le raisonnement logique et s'appuie sur ce langage particulier qu'est le dessin dit *industriel* grâce auquel il devient possible d'exprimer le contenu de ce raisonnement ». Plus précisément, « à partir d'exemples judicieusement choisis et traités expérimentalement par les élèves dans les salles de travaux pratiques, le maître définit une fonction technique, présente l'organe qui est destiné à assurer cette fonction, le fait démonter et remonter (analyse et synthèse) ; il provoque un examen critique de l'adaptation de l'organe à sa finalité. » [Géminard, 1992]

Dès le début, la mise en œuvre de cette technologie est soumise aux pressions, aux jeux d'acteurs qu'on retrouvera plus tard, y compris lorsque le contexte économique, social et scolaire aura changé. Tout d'abord, les collèges pratiquent la technologie de façon très inégale en fonction des maîtres disponibles, de leurs compétences, de leurs conceptions, de l'équipement des salles, des matériels disponibles. Ensuite, les parents, les enseignants, les élèves eux-mêmes réagissent très diversement, avec des attitudes qui vont de l'intérêt au rejet. Enfin, la technologie n'échappe pas à la tendance scolaire permanente au formalisme, ce qui est facile avec le dessin normalisé et l'analyse d'objets familiers et simples.

LES PREMIÈRES DISCUSSIONS À LA COMMISSION LAGARRIGUE

Dans ses travaux, qui sont menés entre 1971 et 1976, la Commission ministérielle de réforme de l'enseignement des sciences physiques dans l'enseignement secondaire (Commission Lagarrigue) a compétence pour toute question relative à l'enseignement de la physique, de la chimie et de la technologie. Elle associe des enseignants du secondaire et du supérieur, physiciens et chimistes, et quelques représentants de l'enseignement technique. Dès ses premières réunions elle aborde la discussion du problème de l'enseignement de la technologie.

Lors de la deuxième séance, qui se tient le 18 juin 1971, Michel Hulin, à la demande d'André Lagarrigue, présente une introduction au débat et formule une série de remarques [*Arch.CL*]. D'abord il note que les programmes, tant en 4^{e} qu'en 3^{e}, sont composés de trois volets : en 4^{e}, dessin industriel, manipulations d'« objets technologiques », initiation à la mécanique élémentaire (notion de force, par exemple) ; en 3^{e}, dessin et manipulations, initiation à l'électricité (électrotechnique), initiation à la chimie (étude des combustions). Puis il souligne le « foisonnement terminologique » que révèlent les textes officiels (notions de « fonctions organiques », « fonctions techniques », « opérateurs techniques », etc.) et « qui procède du souci d'assurer une présentation très précise et très logique », très formelle même. Il insiste alors sur l'importance primordiale qui reste attribuée à la construction mécanique et sur l'absence de toute référence à l'électronique ; l'étude de mécanismes très élémentaires (targettes par exemple) est préférée à celle de systèmes plus complexes (systèmes de télécommunication, systèmes de production ou transformation d'énergie). Enfin, il exprime son regret que les références au monde microscopique (atomes, molécules) soient totalement absentes en 4^{e} et demeurent encore timides en 3^{e}. Il souhaiterait que, systématiquement, des ordres de grandeurs soient indiqués, des descriptions qualitatives présentées (agitation moléculaire par exemple).

Après cette brève introduction une discussion s'engage. Parmi les intervenants, citons d'abord l'inspecteur général de sciences physiques Picoux qui a participé aux choix pour les programmes de technologie de 1962. Après avoir expliqué les origines des différentes parties — retenues pour assurer une certaine continuité avec les programmes antérieurs des classes modernes et techniques — il ajoute qu'à son avis, en classe de 3^{e}, l'enseignement du dessin technique est plus « sécurisant » pour les enseignants que celui de la physique et de la chimie. Ensuite, l'inspecteur général de sciences physiques Cessac évoque les difficultés en matière de matériel et d'équipement pour cet enseignement de technologie. Puis Georges Guinier, président de l'Union des physiciens, souligne que dans ce programme « les sciences physiques sont associées à la technologie » et que « c'est un aspect très grave du problème auquel il faudra penser ». De son côté P. Provost, professeur de physique en classes préparatoires, explique que si « la technologie peut être considérée comme un sous-produit de la physique », on peut se demander « si la physique ne serait pas fille de la technologie, et celle-ci l'ensemble des méthodes qui permettent de simplifier la physique ». Enfin, intervient dans le débat un « technologue », apparemment le seul, Pessin, professeur de construction mécanique ; il souligne le manque de formation des professeurs pour cet enseignement de technologie qu'ils ont à assurer.

À la séance suivante du 24 septembre 1971 un exposé est présenté par l'inspecteur général des sciences techniques et industrielles, Lucien Géminard, qui a participé à la mise en place de l'enseignement de technologie en 1962. Il retrace l'évolution des conceptions — concernant, en particulier, l'analyse fonctionnelle des objets —, il explique les essais tentés avec les élèves pour concevoir des projets à partir de cahiers de charges authentiques et présente les réflexions menées sur la technologie par des technologues [Canonge et Ducel, 1975; Géminard, 1970]. Pour lui, seul le retour à ce qui constitue le cœur de la technologie (les problèmes de fabrication) permettra de progresser. L. Géminard indique quatre orientations possibles pour cet enseignement de technologie, entre lesquelles il faudra choisir : entraîner à une démarche intellectuelle originale qui consiste — pour comprendre un objet technique particulier et son fonctionnement — à mettre en œuvre des connaissances acquises ailleurs ; familiariser les élèves avec des objets techniques qu'ils voient hors de l'école mais qu'ils peuvent observer de manière plus approfondie en classe ; favoriser l'orientation vers l'enseignement technique en développant des exercices proprement techniques (analyse d'un objet technique, dessin de cet objet) ; préparer à un enseignement de sciences physiques. Il termine en indiquant les caractéristiques de l'enseignement technologique dans différents pays d'Europe : contact avec les entreprises en URSS, projet en Angleterre, etc.

Dans la discussion est soulignée la nécessité de distinguer « technologie » — sans doute réservée à l'enseignement technique — et « pédagogie de l'observation de l'objet (programmes actuels) et de fabrication de l'objet technique (plus orienté vers la technique) ». Avant de clore ce débat André Lagarrigue propose à Michel Hulin de rédiger un rapport pour la séance suivante.

POUR UNE « INITIATION AUX SCIENCES ET TECHNIQUES (IST) »

À la réunion du 22 octobre 1971 Michel Hulin présente son rapport, qui avait été adressé aux membres de la Commission quelques jours auparavant. Ce texte, intitulé « Remarques préliminaires relatives à l'enseignement dit de "technologie" » [Hulin M., 1992, pp. 51-61], est adopté par la Commission pour l'enseignement dans le premier cycle. Quelles sont les propositions de ce texte fondamental ?

En préalable est avancée la proposition de renoncer au terme de « technologie » pour désigner l'enseignement d'initiation introduit en 4^e et 3^e afin de souligner la nécessité de fonder un enseignement original ; cet enseignement des classes de 4^e et 3^e pourra être désormais appelé *Initiation aux sciences et techniques (IST).*

Pour mettre au point cet IST il faudra tenir compte des possibilités et des intérêts des élèves, des exigences pour leur avenir scolaire ou extrascolaire, des possibilités de formation des professeurs et des moyens matériels mis à leur disposition. Mais cet IST de 4^e et 3^e s'inscrit dans le cadre d'un *Enseignement général des sciences expérimentales et techniques* (EGSET) allant de la 6^e à la terminale. Aussi convient-il d'indiquer d'abord les buts qu'il faudrait assigner à l'EGSET.

La première composante de cet EGSET est l'*acquisition de connaissances de base scientifiques et techniques.* Pour ce faire, on pourrait avoir recours à une « vulgarisation » fondée sur la description de l'environnement physique et technique et il serait ici essentiel de fixer des ordres de grandeur, d'introduire des schémas d'explication qualitative fondés — en partie — sur l'analyse de modèles (en particulier microscopiques). Les connaissances souhaitables sont de deux ordres :
— connaissances sur le monde technique d'abord, en renonçant au « dogme pédagogique suivant lequel l'exposé doit nécessairement aller du simple au complexe », avec l'étude de la production des matériaux, des sources d'énergie, des moyens de locomotion, des moyens de télécommunication, de la photographie, des ordinateurs.
— connaissances sur le monde physique ensuite, en donnant des ordres de grandeur, en mettant en évidence les concepts fondamentaux, en soulignant les limites des modèles proposés, avec l'étude de la matière de l'échelle microscopique à l'échelle cosmique (structures atomiques, nucléaires, moléculaires ; atomes et assemblage ; agitation thermique ; modèle du courant électrique ; modèles des liaisons chimiques et des réactions ; ondes ; masse et énergie ; éléments d'astronomie et d'astrophysique).

La deuxième composante de l'EGSET est l'entraînement *à la manipulation, à l'observation, à la réalisation et à la représentation d'objets ou de phénomènes.* Il faudrait systématiser la confrontation avec l'appareillage des ateliers et des laboratoires, donner un début de pratique expérimentale avec un entraînement à la mesure, accorder une importance particulière à la représentation graphique des objets et des phénomènes sous des aspects très divers (croquis cotés, schémas, représentation graphique, blocs diagrammes).

La troisième composante de l'EGSET est constituée par l'entraînement *aux modes de raisonnement des sciences physiques.* Il faudrait d'abord insister sur les concepts, avec « un effort vers une revue synthétique, soulignant l'unité de l'ossature conceptuelle des sciences physiques ». Ensuite on devrait insister sur les principes fondamentaux reliés à ces concepts (principes de conservation, d'invariance, de symétrie, etc.). Enfin concepts et principes seraient mis en œuvre dans des modèles dont il conviendrait de souligner les limitations.

Supposant ces principes retenus pour *tout* l'enseignement des sciences expérimentales, on peut définir l'orientation à donner à l'IST de 4^e et 3^e. Cet enseignement devrait accorder la priorité à l'observation des phénomènes, des objets ou ensembles techniques, à la manipulation et la création d'objets techniques, à l'initiation à l'expérimentation et la mesure, à l'initiation à la représentation graphique, à la « vulgarisation » touchant aux domaines techniques et scientifiques, à l'acquisition de certains concepts fondamentaux, à l'analyse de phénomènes physiques et d'objets techniques sur des modèles. Cet enseignement d'initiation comporterait alors trois volets :
— étude d'appareils techniques simples, avec le moins de recours possible à la formalisation, l'exécution systématique de croquis et dessins cotés, la réalisation de mesures, l'accent étant mis sur la manipulation (démontage, observation du fonctionnement, modifications éventuelles) ainsi que sur la conception et la réalisation de projets.
— initiation à la physique et à la chimie, en faisant largement appel à une description microscopique, en insistant sur les ordres de grandeur, avec un début de pratique expérimentale et une initiation à la mesure.
— description analytique d'ensembles techniques complexes « s'appuyant sur la référence systématique à des "boîtes noires" exprimant les principales "fonctions" techniques mises en œuvre, et symbolisant leurs relations logiques par des schémas et des blocs diagrammes ».

Le rapport énumère alors les différences de cet IST avec la technologie des années 1960 : importance accrue accordée à l'initiation à la physique et à la chimie, introduction de la description d'ensembles techniques complexes, suppression du dessin en tant que composante à part, restriction des aspects formels, panorama aussi complet que possible (mécanique et électrotechnique, mais aussi électronique, radioélectricité ...).

Pour terminer le rapporteur propose au groupe de travail une réflexion sur un certain nombre de thèmes possibles de leçons (agitation thermique, relation d'Einstein, étude d'une chaîne de télécommunication, description d'un avion de transport ou de combat, astronomie). Toutefois il souligne que la liste n'a qu'une valeur indicative, qu'« elle va, pour une bonne part, à l'extrême limite de ce qu'on peut même suggérer » et qu'« .il conviendrait bien évidemment de la remanier sérieusement avant tout essai de mise en œuvre ».

Vues de 1994, de telles propositions conservent leur tonalité stimulante. Certes, cette tonalité générale est très « physicienne », mais certaines orientations ont convergé avec celles qui émanaient des milieux de l'enseignement technique :
— récusation du dessin technique comme objet d'un apprentissage à part et insistance sur les schémas. On doit cependant noter l'absence de prise en compte du problème des normes dans les nombreux graphismes techniques (dessins et schémas).
— suggestion d'étudier des ensembles techniques complexes. Mais, compte tenu de la réticence à reconnaître le besoin de concepts techniques précis et rattachés à différents

points de vue (fonctionnel, structurel, de principe, commercial, ...), réticence couverte par l'accusation de « formalisme », cette approche des ensembles complexes n'est pas éclairée par des directives nettes (par exemple un point de vue systémique adapté à ce niveau).

Ajoutons qu'un certain nombre de prises de position passent à côté de difficiles problèmes de didactique. Qu'est-ce que le « qualitatif », la « description », l'« observation », qui doivent être privilégiés ? Le rejet du formalisme débouche ici sur de l'informel ou de l'implicite, ne pouvant que rendre incertaine la mise en œuvre dans les classes. Du moins avait-on ainsi dès 1971 les formulations vigoureuses d'orientations qui font partie des lieux communs de la communauté physicienne. Elles ont aussi servi au progrès de la didactique en l'obligeant à les examiner, mais on doit regretter que les avancées de la recherche et de la réflexion sur les programmes et leur mise en œuvre n'aient pas été plus prises en compte par la communauté scientifique.

PÉRIPÉTIES

La suite des travaux de la Commission Lagarrigue concernant la technologie peut être analysée selon trois plans.

Sur le plan pratique, le groupe de travail de la commission de rénovation de l'enseignement de la physique s'est lancé dès 1972 dans la conception, l'essai et l'évaluation de « modules » d'initiation aux sciences et techniques : chimie, électronique, techniques de fabrication [Delacôte, 1977, pp. 140-169 ; Martinand, 1986, pp. 115-147]. Le rapport Hulin a joué ici un rôle d'incitation forte, même si certaines propositions audacieuses — telle celle d'introduire à des élèves de collège l'étude de l'agitation thermique ou de l'objet technique avion de combat — ont dû être modifiées ou abandonnées. L'important est le changement de perspective opéré depuis le rapport Capelle qui n'envisageait que l'étude d'objets techniques simples.

Sur le plan idéologique, le débat a évolué vers des formes plus ou moins conflictuelles. C'est ainsi qu'un texte de 1974 de la Société française de physique, de la Société chimique de France et de l'Union des physiciens contenant une critique explicite des enseignements de technologie des lycées techniques et des collèges [Hulin M., 1992, pp. 71-85] a failli provoquer une rupture avec les membres de la Commission Lagarrigue appartenant aux enseignements techniques. Cette critique portait à nouveau sur le formalisme de ces enseignements et le langage qu'ils utilisaient. Plus généralement, si les deux composantes de la Commission s'entendaient sur la nécessité de proposer l'étude d'objets complexes et de réfléchir à la question du langage adéquat, les débats portaient sur le sens de cette étude. Prétexte à étudier des phénomènes physiques pour les uns, elle devait également pour les autres, prendre en compte d'autres points de vue liés à l'intérêt, au fonctionnement d'ensemble, aux conditions d'utilisation générales de l'objet technique. Finalement le conflit ouvert a cessé, faute d'objet, avec la séparation des enseignements sciences physiques / éducation manuelle et technique au collège, c'est-à-dire avec le refus ministériel d'une initiation aux sciences et techniques intégrée. Les questions qui étaient des enjeux pour le contenu d'une discipline unifiée n'avaient alors plus lieu d'être posées.

Sur le plan des mesures ministérielles, le ministre René Haby remplaça la technologie de 4^e et de 3^e par des sciences physiques, étendues à la 6^e et à la 5^e. Souhaitant réaliser une autre unité, celle des sciences expérimentales (physique, biologie, géologie) dont il proposait un enseignement intégré afin de créer des volumes horaires suffisants, R. Haby cassa l'enseignement unifié d'IST proposé par la Commission. Les deux corps d'inspections concernés n'ayant pu être réunis ensemble, cette unification des sciences expérimentales n'eut pas plus de succès que celle des sciences techniques de la matière. Finalement, le ministre transforma les travaux manuels éducatifs en éducation manuelle et technique ; c'est cette dernière qui devint en 1985 l'actuelle technologie, s'inspirant à ce moment des enseignements tirés des essais de modules en électronique et techniques de fabrication expérimentés pour la Commission Lagarrigue.

La technologie actuelle veut appliquer à l'objet technique un questionnement élargi selon les points de vue de l'analyse structurelle, de l'analyse fonctionnelle, de la mise en évidence des principes, ainsi que de la prise en compte de l'organisation productive, de la circulation commerciale et de l'impact sur la société. La démarche privilégie la réalisation d'objets complexes conformément à un projet technique, et selon un contrat de réalisation collectif. Les idées de pratique de référence (production industrielle, services modernes) et de cycle de vie d'un produit ou de démarche de projet industriel doivent de plus en plus servir de matrice à la discipline. On s'éloigne ainsi des préoccupations qui orientent les sciences physiques au même niveau.

Dans la pratique, la technologie est tiraillée entre plusieurs missions : développer une mentalité industrielle, donner des références concrètes pour l'orientation, effectuer quelques apprentissages utilitaires, apprendre des langages fondamentaux, lutter contre l'échec scolaire, donner une culture technique. Elle est aussi l'objet de luttes d'influence entre corps d'enseignants. Ces différents enjeux sont plus importants pour la technologie que sa relation avec la physique. En tout cas, il n'y a pas symétrie : si la physique doit se préoccuper de sa propre façon de prendre en compte les applications, ce n'est pas le problème majeur de la technologie aujourd'hui. C'est en fait la raison pour laquelle, un peu partout en Europe occidentale, est mis en place un enseignement de technologie séparé des sciences : les politiques veulent être sûrs que la technique — et donc pas seulement les applications des sciences — sera prise au sérieux ; ils savent qu'on n'a jamais su bien faire, de façon équilibrée, des sciences et de la technologie dans la même discipline.

La technologie est ainsi devenue indépendante ; elle a ses propres problèmes, et ses relations interdisciplinaires concernent autant l'histoire ou la géographie, que les mathématiques, la biologie ou la physique. À moyen terme, l'évolution récente semble irréversible. [Deforge, 1993 ; Hörner, 1987, pp. 19-108]

Dans l'histoire de la technologie, le moment de la Commission Lagarrigue est important. La rencontre et la confrontation d'acteurs qui habituellement s'ignorent et qui étaient alors impliqués, chacuns, dans des mouvements autonomes de réflexion sur l'enseignement de cette discipline, a révélé ainsi certaines lignes de forces. Mais ce moment n'a pas été déterminant, en ce sens que l'évolution générale de la discipline a dépendu et dépend encore de nombreuses autres influences et préoccupations.

Bibliographie

Arch. CL (Archives de la Commission Lagarrigue), Centre des archives contemporaines de Fontainebleau, cote 940 636 / 1 et 2.

Canonge (F.) & Ducel (R.), *La Pédagogie devant le progrès technique*, Paris, PUF, 1975.

Capelle (J.), *L'École de demain reste à faire*, Paris, PUF, 1966.

Deforge (Y.), *De l'Éducation technologique à la culture technique*, Paris, ESF, 1993.

Delacôte (G.), « De l'innovation à la réforme », *Bulletin de l'Union des physiciens*, n° 597, octobre 1977 (Documents de la Commission Lagarrigue), pp. 140-169.

Géminard (L.), *Logique et Technologie*, Paris, Dunod, 1970.

Géminard (L.), « Préface », *Technologie. Textes de référence*, Paris, Centre international d'études pédagogiques, 1992.

Hörner (W.), *École et culture technique. Expériences européennes*, Paris, INRP, 1987.

Hulin (M.), *Le Mirage et la nécessité. Pour une redéfinition de la formation scientifique de base*, Paris, Presses de l'École normale supérieure et Palais de la Découverte, 1992.

Martinand (J.-L.), *Connaître et transformer la matière*, Berne, P. Lang, 1986.