

Article publié dans *Perspectives*, vol. II, n.1, 1972.

Version électronique réalisée par les soins de la
Fondation Jean Piaget pour recherches
psychologiques et épistémologiques.

La pagination du présent document
correspond au texte original

Fondements scientifiques pour l'éducation de demain¹

Rétrospective

Du point de vue quantitatif l'extension considérable et toujours croissante des effectifs scolaires a conduit aux conséquences que chacun connaît. D'une part, avec la prolongation de la scolarité, une plus grande égalité de formation pour les garçons et les filles et les aides financières de l'État (bourses, etc.), on est parvenu à davantage de justice dans les possibilités d'instruction offertes aux nouvelles générations, se traduisant finalement par une augmentation indéfinie et parfois inquiétante du nombre des étudiants dans les universités. Mais, d'autre part, cette explosion généralisée des cadres à tous les échelons ne s'étant pas accompagnée de la revalorisation sociale de la profession d'enseignant qui eût été nécessaire aux paliers secondaires et surtout primaires, il en est résulté une pénurie de maîtres et le recours inévitable à des suppléances, d'où un problème de niveau qui n'est pas encore résolu. En revanche, on s'est efforcé de diversifier les types d'enseignement, notamment dans les directions professionnelles et techniques, ce qui est un progrès, et l'on a pris une série de mesures pour améliorer l'orientation des élèves et pour assurer, au cours des études — et surtout aux débuts de l'enseignement secondaire — le passage possible d'une section à une autre : les « cycles d'orientation » ont joué à cet égard un rôle fort utile. Mais malgré le travail efficace des psychologues scolaires, les questions demeurent ouvertes de la valeur des instruments d'orientation et de sélection. En particulier, cette plaie de la scolarité constituée par le rôle et la valeur attribués aux examens reste trop souvent difficile à résorber.

1. Cet article fait partie de la deuxième série d'études préparées à l'intention de la Commission internationale pour le développement de l'éducation, Unesco.

POSITION DU PROBLÈME

Mais du point de vue qualitatif, qui seul nous intéresse en ce bref article, une série de tendances plus ou moins nouvelles se sont manifestées dans les divers pays qui semblent à la tête des mouvements actuels. C'est ainsi, tout d'abord, qu'on observe en plusieurs d'entre eux, notamment aux États-Unis d'Amérique, un effort pour renouveler l'éducation préscolaire, trop négligée jusqu'ici. L'idée dominante est que, pour les enfants des classes défavorisées, l'école maternelle doit fournir un milieu moralement et intellectuellement enrichissant, susceptible de compenser, par son atmosphère et surtout par l'abondance et la diversité du matériel employé, la pauvreté du milieu familial en fait d'incitations à la curiosité et à l'activité. Quant aux méthodes utilisées pour orienter celles-ci, elles oscillent entre deux pôles, reflétant ainsi deux des courants extrêmes et opposés de la psychologie contemporaine. L'un de ces pôles est caractérisé par l'utilisation du « conditionnement » : créer et renforcer par l'exercice et les résultats de l'action un certain nombre d'associations motrices ou verbales, jugées constitutives des connaissances ultérieures. L'autre pôle est au contraire caractérisé par un appel aux activités spontanées de l'enfant lui-même dans la direction d'une organisation cognitive préparant les opérations de l'intelligence qui se constituent normalement aux environs de sept ou huit ans. Inspirées par les recherches psychologiques de l'école de Genève, parfois convenablement interprétées (comme dans les réalisations pédagogiques de Allmy, Kamii, H. Furth, etc., aux États-Unis), mais parfois aussi reprises de façon un peu naïve, sinon inquiétante, ces applications sont susceptibles de nombreux développements. Nous reviendrons sur ce que l'on pourrait attendre de ces débuts d'activité cognitive en ce qui concerne l'observation adéquate des actions et des faits objectifs à titre d'introduction à l'enseignement des sciences.

Au niveau primaire et en continuité avec ce qui précède, on peut noter en certains pays (et à nouveau surtout aux États-Unis) les transformations suivantes. Il y a quelques années la tendance dominante, sous l'influence en particulier des vulgarisations de la psychanalyse, était d'éviter toute frustration chez l'enfant en développement, d'où, en fait, un excès de liberté sans direction débouchant sur des jeux généralisés sans grand résultat éducatif. Une réaction s'est produite dans la direction d'une canalisation et d'un renforcement des activités cognitives. Mais on retrouve alors, et de façon encore plus sensible,

la dualité de pôles dont il vient d'être question, selon l'orientation des inspirations psychologiques adoptées.

Le rôle attribué au conditionnement, en particulier sous l'influence de Skinner, a conduit à l'idéal d'un enseignement programmé, par associations progressives ordonnées mécaniquement (les « machines à apprendre »), et l'on sait la vogue que connaît encore en certains milieux cette manière de faire, il est vrai tempérée par l'aspect financier un peu inquiétant de l'appareillage requis. Mais son défaut essentiel est de reposer sur une psychologie très insuffisante dont le grand linguiste N. Chomsky a montré de façon décisive l'inaptitude à rendre compte rationnellement de l'apprentissage des langues. Du point de vue pédagogique, l'enseignement programmé conduit bien à apprendre, mais nullement à inventer, sauf si, comme l'a essayé S. Papert, on fait construire la programmation par l'enfant lui-même. Il faut en dire autant des procédures audio-visuelles en général, dont trop d'éducateurs ont célébré les vertus, mais qui peuvent conduire à une sorte de verbalisme de l'image quand elles ne font que favoriser les associations sans donner lieu à des activités authentiques. Les réglettes ou nombres en couleur de Cuisenaire-Gattegno peuvent en certains cas permettre une activité opératoire de l'élève, mais elles présentent trop souvent les mêmes défauts de substituer le figuratif à l'opératif, d'où leur abandon en certains cantons de Suisse, où l'État les avait imposées à titre de remède infaillible aux difficultés de l'initiation au calcul.

En bien des cas, ces réglettes ont été remplacées par les « blocs logiques » de Dienes, un mathématicien pédagogue qui a eu le mérite d'avoir compris par son expérience éducative ce fait essentiel (que nos propres recherches psychogénétiques avaient toujours mis en évidence) que la compréhension des mathématiques élémentaires est fonction de la construction de structures d'abord qualitatives (le nombre, par exemple, apparaît psychologiquement comme une synthèse de l'inclusion des classes et de l'ordre sériel) et que plus on facilite la construction préalable des opérations logiques, à tous les niveaux de l'enseignement mathématique, plus celui-ci en est favorisé. Cette constatation est, on le voit, en plein accord avec la tendance, devenue générale, à introduire les mathématiques dites modernes (théorie des ensembles, puis des groupes, etc.) dès les niveaux les plus élémentaires de l'enseignement. C'est là un très grand progrès. Nous chercherons plus loin à en préciser les conditions psychologiques de succès.

Sur le terrain de l'enseignement des sciences il convient en outre de signaler une série d'essais, notamment aux environs de Boston, en

Illinois et en Californie, dus à la collaboration de physiciens et de psychologues s'intéressant les uns et les autres à l'enseignement élémentaire et cherchant à faire comprendre à des écoliers de niveau primaire (et parfois même préscolaire) certains phénomènes physiques simples, au moyen de dispositifs manipulés par l'enfant avec une part maximale de spontanéité et d'activité de recherche.

LES PÉDAGOGIES EN PRÉSENCE

Il convient, en terminant cette partie rétroactive, de signaler qu'en ces dernières années les recherches psychologiques sur le développement de l'intelligence et des structures cognitives ont fait de grands progrès, mais demeurent partagées entre trois directions dont les significations sont très différentes au point de vue des applications pédagogiques.

L'une, fidèle aux vieilles traditions anglo-saxonnes, reste orientée vers un associationnisme empiriste ; ce qui réduirait toute connaissance à une acquisition exogène, à partir de l'expérience ou des présentations verbales ou audio-visuelles dirigées par l'adulte.

La seconde est caractérisée par un retour imprévu aux facteurs d'innéité et de maturation interne (cela en bonne partie sous l'influence du linguiste Chomsky, lequel, malgré les processus transformationnels et donc en partie psychogénétiques qu'il reconnaît dans les grammaires, croit à l'existence d'un « noyau fixe inné » déterminant les structures de départ du langage, telles que la relation de sujet à prédicat) : en ce cas l'éducation reviendrait en bonne partie à l'exercice d'une « raison » déjà préformée au départ.

La troisième direction — qui est résolument la nôtre et qui nous fait attribuer les débuts du langage aux structures construites par l'intelligence sensori-motrice préalable—est de nature constructiviste, c'est-à-dire sans préformation ni exogène (empirisme), ni endogène (innéité), mais par continuel dépassement des élaborations successives, ce qui conduit, sur le plan pédagogique, à mettre tout l'accent sur les activités en partie spontanées de l'enfant.

Perspectives d'avenir

L'une des questions qui préoccupe le plus les autorités scolaires et universitaires de différents pays étant le nombre trop faible des vocations scientifiques par rapport au nombre proportionnellement trop

considérable de lycéens et d'étudiants qui s'orientent vers les carrières littéraires, il est évident que c'est là un des problèmes centraux que l'éducation de demain est appelée à résoudre. Or il est non moins clair que cette question ne se résoudra pas d'elle-même par le seul jeu automatique des forces économiques en présence. La société a beau demander davantage de spécialistes ou d'hommes compétents dans les domaines scientifiques les plus variés que ceux dont elle dispose actuellement, les économistes ont beau insister sans cesse publiquement sur la gravité de ces lacunes, et les intéressés — c'est-à-dire les élèves actuels des établissements secondaires et universitaires — ont beau être renseignés périodiquement sur les faibles débouchés que comporte une préparation essentiellement littéraire en comparaison avec les carrières assurées une fois acquises les formations scientifiques requises, les facteurs sont loin d'être suffisants pour peser sur l'orientation scolaire et universitaire des candidats aux diplômes, et les parents continuent, par exemple, de penser que la connaissance du latin constitue un « Sésame ouvre-toi » bien plus efficace que n'importe quelle autre initiation. Il semble donc certain que pour réajuster sur ce point les formations scolaires aux exigences de la société il sera nécessaire de procéder à une révision des méthodes et de l'esprit de l'enseignement tout entier bien plus que de se contenter de faire appel aux simples facteurs de bon sens.

L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES

On s'aperçoit alors du fait que cette refonte met essentiellement en cause non seulement la didactique spécialisée de chacune des branches de cet enseignement scientifique (mathématiques, physique, chimie, biologie, etc.), mais une série de questions plus générales telles que celle du rôle de l'enseignement préscolaire (4-6 ans), celle de la signification réelle des méthodes actives (dont tout le monde parle et que bien peu d'éducateurs appliquent réellement de manière efficace), celle de l'utilisation des connaissances psychologiques acquises sur le développement de l'enfant ou de l'adolescent et celle du caractère interdisciplinaire nécessaire des initiations et cela à tous les niveaux, par opposition au morcellement qui sévit encore de façon si courante à l'université comme aux niveaux secondaires. Il est donc indispensable que nous abordions ces questions dès la discussion de la formation scientifique des élèves, quitte à y revenir ensuite en une perspective plus large.

A commencer par les données psychologiques de base, il est un fait

essentiel dont il convient de partir, car il est en contradiction assez notable avec ce qu'on admet généralement. On considère en effet couramment comme évident qu'il existe entre les élèves individuels des différences d'aptitudes augmentant d'importance avec l'âge et telles que si certains d'entre eux sont manifestement plus doués soit pour les mathématiques, soit pour la physique, etc., d'autres ne donneront jamais que des résultats médiocres en ces branches. Or après avoir longtemps étudié la formation des opérations logico-mathématiques chez l'enfant, nous avons consacré plusieurs années à l'étude, d'abord avec B. Inhelder, de l'induction de lois physiques élémentaires, et ensuite — à notre Centre international d'épistémologie génétique et avec l'aide continue de quelques physiciens éminents — à l'analyse du développement de la causalité physique, entre quatre-vingt ans et douze-quinze ans, plus de 120 recherches de détail ayant été poursuivies sur les multiples aspects de cette question si complexe (problèmes de transmission du mouvement, de la chaleur, etc., composition des forces et des vecteurs, changements d'états de la matière, moment dynamique et travail, linéarité et distributivité, etc.).

Or, à part le cas de quelques filles qui, sans être moins intelligentes pour autant, n'avaient simplement pas d'intérêt pour ces questions, nous n'avons pu relever de données systématiques démontrant l'existence des aptitudes en question, car tous les écoliers de tous les stades d'âge et d'un niveau intellectuel moyen ou supérieur à la moyenne ont témoigné des mêmes initiatives et de la même compréhension. Certes, il existe des individus retardés ou avancés — et ceux dont l'intelligence est inférieure à la moyenne donnent naturellement de mauvais résultats — mais en tous les domaines et non spécialement sur les terrains scientifiques en question.

Notre hypothèse est donc que les prétendues aptitudes différenciant les « bons élèves » en mathématiques ou en physique, etc., à niveau d'intelligence égal, consistent surtout à pouvoir s'adapter au type d'enseignement qu'on leur donne, alors que les « mauvais élèves » en ces branches, mais qui réussissent bien en d'autres, sont en fait entièrement aptes à dominer les questions qu'ils semblent ne pas comprendre, mais à la condition d'y parvenir par des voies différentes, car ce qu'ils ne comprennent pas, ce sont les « leçons » fournies et non pas la matière. Il se pourrait, en particulier, et nous l'avons vérifié en de nombreux cas, que l'insuccès scolaire sur tel ou tel point tienne à un passage trop rapide de la structure qualitative des problèmes (par simples raisonnements logiques, mais sans introduction immédiate des relations numériques et des lois métriques) à la mise en

forme quantitative ou mathématique (au sens des équations déjà élaborées) utilisée normalement par le physicien. A cet égard, nous admettons volontiers certaines aptitudes différentielles opposant les esprits strictement déductifs (à partir d'un âge suffisant) aux esprits expérimentaux et concrets ; mais même sur le terrain mathématique, bien des échecs scolaires sont dus à ce passage trop rapide du qualitatif (logique) au quantitatif (numérique).

La vision optimiste — et même très optimiste — que nous ont donnée nos recherches sur le développement des notions qualitatives de base, qui constituent ou devraient constituer la substructure de tout enseignement scientifique élémentaire, donne donc à penser qu'une réforme assez profonde de cet enseignement multiplierait les vocations dont la société a actuellement besoin. Mais c'est, nous semble-t-il, à certaines conditions, qui sont sans doute celles de toute pédagogie de l'intelligence, mais qui paraissent particulièrement impératives dans les diverses branches de l'initiation aux sciences.

La première de ces conditions est naturellement le recours aux méthodes actives faisant une part essentielle à la recherche spontanée de l'enfant ou de l'adolescent et exigeant que toute vérité à acquérir soit réinventée par l'élève ou tout au moins reconstruite et non pas simplement transmise. Or deux malentendus fréquents enlèvent beaucoup de leur valeur aux essais accomplis jusqu'ici en ce sens. Le premier est la crainte (et chez quelques-uns l'espoir) que le rôle du maître devienne nul en ces essais, et qu'il soit nécessaire, pour bien faire, de laisser les écoliers totalement libres de travailler ou jouer à leur guise. Or il va de soi que l'éducateur demeure indispensable à titre d'animateur pour créer les situations et construire les dispositifs de départ susceptibles de poser des problèmes utiles à l'enfant, et ensuite pour organiser des contre-exemples forçant à la réflexion et obligeant au contrôle des solutions trop hâtives : ce qu'on désire est que le maître cesse de n'être qu'un conférencier et qu'il stimule la recherche et l'effort au lieu de se contenter de transmettre des solutions toutes faites.

Lorsqu'on pense au nombre de siècles qu'il a fallu pour en arriver aux mathématiques dites « modernes » et à la physique contemporaine, même macroscopique, il serait absurde de penser que sans un guidage concernant la prise de conscience des questions centrales l'enfant en arrive à lui seul à se les poser clairement. Mais inversement encore faut-il que le maître-animateur ne connaisse pas que sa science à lui et soit renseigné de très près sur le détail du développement psychologique de l'intelligence enfantine ou adolescente : le

rôle de l'expérimentateur psychogénétique est par conséquent indispensable à la pratique efficace des méthodes actives. Il faut donc s'attendre dans les périodes qui s'ouvrent aujourd'hui pour l'éducation à une collaboration beaucoup plus intime que par le passé entre la recherche psychologique fondamentale (non pas les « tests » ou la plupart des instruments d'une psychologie dite « appliquée » qui, en fait, en était réduite à l'application de ce qu'on ne connaissait pas encore, telle que la médecine du XVII^e siècle) et l'expérimentation pédagogique méthodique.

DEUX EXEMPLES : MATHÉMATIQUES, SCIENCES EXPÉRIMENTALES

En ce qui concerne, par exemple, l'enseignement des « mathématiques modernes » qui constitue un progrès si considérable par rapport aux méthodes traditionnelles, l'expérience est souvent faussée du fait que si le contenu enseigné est « moderne » la manière de le présenter reste parfois archaïque au point de vue psychologique en tant que fondée sur la simple transmission des connaissances, même si celle-ci s'efforce (et beaucoup trop précocement du point de vue de la manière de raisonner des élèves) d'adopter une forme axiomatique : d'où les mises en garde sévères de grands mathématiciens comme Jean Leray dans la revue *L'enseignement mathématique*.

Or cette situation est d'autant plus surprenante que, si les maîtres de mathématiques voulaient bien se renseigner sur la formation psychogénétique « naturelle » des opérations logico-mathématiques, ils découvrirait qu'il existe une convergence beaucoup plus grande qu'on n'aurait osé espérer entre les principales opérations utilisées spontanément par l'enfant et les notions qu'on cherche à lui inculquer dans l'abstrait : dès sept ou huit ans, par exemple, les sujets découvrent d'eux-mêmes des opérations de réunion et d'intersection des ensembles ainsi que des produits cartésiens, et, dès onze ou douze ans, ils en viennent aux « ensembles de partie ». Très précocement, on observe la formation de divers morphismes ou fonctions et l'on peut, en bien des cas, parler de « catégories » au sens de McLane et Eilenberg sous des formes élémentaires ou « triviales », mais non moins significatives quant à leur valeur formatrice.

Mais une chose est d'inventer dans l'action et d'appliquer ainsi pratiquement certaines opérations, et autre chose est d'en prendre conscience pour en tirer une connaissance réflexive et surtout théorique ; de sorte que, pas plus les élèves que les maîtres ne se doutent

que le contenu de l'enseignement donné pourrait être appuyé sur toutes sortes de structures « naturelles ».

Il y a donc un grand avenir à prévoir dans la collaboration des psychologues et mathématiciens pour l'élaboration d'un enseignement « moderne » et non pas traditionnel des mathématiques du même nom, et qui consisterait à parler à l'enfant son langage avant de lui en imposer un autre tout fait et trop abstrait, et surtout à conduire l'enfant à réinventer ce dont il est capable au lieu de se borner à écouter et à répéter. Le pédagogue-mathématicien Dienes a fait des efforts louables dans ce sens mais une insuffisante information psychologique rend parfois un peu optimiste l'interprétation qu'il donne de la réussite de certains des « jeux » ou exercices qu'il a imaginés.

Si l'on passe des mathématiques à la physique et aux sciences expérimentales, la situation est tout autre puisque l'incroyable lacune des écoles traditionnelles, jusqu'en ces dernières années inclusivement, fut d'avoir négligé presque systématiquement la formation des élèves à l'expérimentation : ce ne sont pas, en effet, les expériences que le maître peut faire devant eux ou même qu'ils font de leurs mains selon une procédure déjà établie et qu'on leur dicte simplement qui leur apprendront les règles générales de toute expérience scientifique telle que la variation d'un facteur en neutralisant les autres (toutes choses égales d'ailleurs), ou la dissociation des fluctuations fortuites et des variations régulières. Sur ces terrains bien plus encore que sur chacun des autres, les méthodes d'avenir devront faire une part de plus en plus grande à l'activité et aux tâtonnements des élèves ainsi qu'à la spontanéité des recherches dans la manipulation de dispositifs destinés à prouver ou à infirmer les hypothèses qu'ils auront pu faire d'eux-mêmes pour l'explication de tel ou tel phénomène élémentaire. Autrement dit, s'il est un domaine où les méthodes actives devront s'imposer au sens le plus complet du terme, c'est bien celui de l'acquisition des procédures d'expérimentation. Car une expérience qu'on ne fait pas soi-même avec toute liberté d'initiative n'est, par définition, plus une expérience, mais un simple dressage sans valeur formatrice, faute de compréhension suffisante du détail des démarches successives.

En un mot, le principe fondamental des méthodes actives ne saurait que s'inspirer de l'histoire des sciences et peut s'exprimer sous la forme suivante : comprendre c'est inventer, ou reconstruire par réinvention et il faudra bien se plier à de telles nécessités si l'on veut, dans l'avenir, façonner des individus capables de production ou de création et non pas seulement de répétition.

LES VOIES DE RENOUVELLEMENT

Appropriation progressive de l'esprit expérimental

Mais, en ce domaine si essentiel de la formation des futurs hommes de science et de techniciens de niveau suffisant par une éducation appropriée de l'esprit expérimental, il se pose un problème qui n'est sans doute pas spécial au développement de l'explication physique, mais qui préoccupe déjà certains éducateurs et s'imposera de plus en plus à toute pédagogie fondée sur la psychologie.

Pour en arriver par la combinaison du raisonnement déductif et des données de l'expérience à la compréhension de certains phénomènes élémentaires, l'enfant a besoin de passer par un certain nombre de stades caractérisés par des idées qu'il jugera erronées par la suite, mais qui semblent nécessaires pour en arriver aux solutions finales correctes. C'est ainsi que pour s'expliquer la transmission du mouvement à travers une suite de billes immobiles contiguës dont la première est frappée et dont la dernière seule part, l'enfant ne parvient que vers onze ou douze ans à l'hypothèse d'une transmission interne par ébranlements et vibrations successives et admet auparavant que chaque bille intermédiaire a effectué une petite translation molaire : même en immobilisant les médiateurs par différents moyens (les faire tenir par une pression du doigt, etc.), le sujet continue de croire à un déplacement, etc.

De très nombreux autres exemples pourraient être cités dans le même sens. Faut-il alors tout faire pour détromper les jeunes sujets ou bien l'esprit des méthodes actives doit-il conduire à respecter la succession de ces approximations en leurs défauts, comme en leur valeur formatrice ? Ce sera aux expériences pédagogiques méthodiques de l'avenir à en décider. Mais nous croyons pour notre part qu'il y a tout avantage à respecter les étapes (à la condition bien sûr de les connaître assez pour juger de leur rôle utile). Il est à noter qu'un excellent professeur de physique, F. Halbwachs, qui vient d'écrire un *Précis* de microphysique à l'usage des étudiants débutants, a adopté, à ce niveau universitaire, une manière de voir analogue qu'il justifie en sa préface par un recours aux travaux de notre Centre d'épistémologie génétique : contrairement à l'usage, il part des notions classiques pour les infléchir progressivement dans le sens des idées contemporaines, de manière à faciliter une « assimilation » progressive de notions qui, sans cette progression, risqueraient de demeurer en partie incompréhensibles.

Sous sa forme générale le problème en jeu ici revient à se demander s'il y a avantage ou non à accélérer la succession des stades du développement. Certes toute éducation consiste, d'une manière ou d'une autre, en une telle accélération, mais la question demeure d'établir jusqu'où elle est profitable. Or ce n'est pas pour rien que l'enfance est bien plus longue chez l'homme qu'en des espèces animales inférieures : il est donc très vraisemblable qu'en tout développement s'impose une vitesse optimale, les excès de rapidité étant aussi nuisibles qu'une trop grande lenteur. Mais nous n'en connaissons pas les lois et sur ce point encore ce sera aux recherches d'avenir à éclairer l'éducation.

Éducation préscolaire et exercice de l'observation

A continuer à titre d'exemple cette analyse des orientations futures probables de l'enseignement scientifique, il convient en outre de signaler l'importance croissante que prendra sans doute l'éducation préscolaire.

Du point de vue psychologique, la période de quatre à six ans (et à fortiori celle de deux à quatre ans sur laquelle nous ne savons encore rien de bien systématique) peut être qualifiée de « préopératoire » en ce sens que le sujet s'y révèle encore inapte au maniement des opérations réversibles (additions et soustractions, réciprocity, etc.) et par conséquent à la découverte des conservations élémentaires de quantités, de matière, de poids, etc., lors des modifications de formes des collections d'éléments discontinus (conservations des ensembles) ou des objets continus. Par contre l'enfant de ces âges parvient déjà à ce que l'on peut appeler au sens propre une semi-logique : variations fonctionnelles à sens unique, identités qualitatives (mais non quantitatives sous leur forme réversible $\pm 0 =$ « on n'a rien ôté ni ajouté »), etc. Or, malgré ces limitations mais en s'appuyant sur les caractères positifs de ces débuts de mise en relation, il semble possible de prévoir dès ce niveau une sorte de propédeutique à l'enseignement scientifique qui reste de son côté à développer largement au niveau primaire. Cette propédeutique consisterait simplement à exercer l'observation, mais c'est là une activité d'importance non négligeable, car les recherches ont montré qu'à ce niveau préscolaire les constatations elles-mêmes étaient non seulement frustes et incomplètes, ce qui va de soi, mais encore en de nombreux cas systématiquement déformées par les idées préalables du sujet. C'est ainsi que dans le cas d'une fronde formée d'une simple boule retenue par

une ficelle que l'enfant fait tourner au bout de son bras en lâchant ensuite le tout de manière que la boule arrive dans une boîte on constate que dès quatre ou cinq ans l'action est fort bien réussie après quelques tâtonnements, mais que sa description est systématiquement déformée : en son action propre, l'enfant parvient sans aide à lâcher la boule de côté, le trajet après le lâcher étant donc tangentiel par rapport à la circonférence décrite par la rotation du bras, mais les jeunes sujets prétendent avoir lâché la boule soit en face de la boîte, au point de la circonférence le plus proche de ce but, soit même devant eux, comme si la boule parcourait une droite entre eux et la boîte mais passant d'abord par le diamètre du cercle décrit par le bras. La raison en est que, à leur point de vue, l'action totale se décompose en deux sous-actions : faire tourner puis lancer (et non pas seulement lâcher) et que, pour lancer une balle dans une boîte, on suit généralement une droite perpendiculaire à cette boîte. Chose assez incroyable, ce n'est qu'entre neuf et onze ans qu'on obtient en général une bonne description de cette action pourtant réussie vers quatre ou cinq ans, les observables sur l'objet et sur l'action propre elle-même (donc la prise de conscience de celle-ci) étant sans doute perçus, mais en quelque sorte « refoulés » par leur contradiction avec les idées préconçues. Or ce n'est là qu'un exemple parmi quantité d'autres du même genre. On voit ainsi que des exercices d'observation pourraient être fort utiles en choisissant les observables à décrire parmi les domaines de causalité les plus quotidiens et les plus élémentaires, et en demandant des descriptions de divers types : par une reproduction mimée de l'action (ce qui est le plus facile), par le langage, par des dessins avec l'aide de l'adulte, etc. Un physicien américain, Karplus (Université de Californie), qui s'est spécialisé dans l'enseignement de la physique, juge même ces exercices d'observation si utiles dès le niveau préscolaire qu'il a imaginé des situations à deux observateurs pour éduquer très précocement la compréhension de la relativité des observables.

Recherche interdisciplinaire structurée

Enfin, pour clore ces réflexions sur l'avenir de l'enseignement des sciences, il faut encore insister sur une question centrale mais qui concerne essentiellement les niveaux secondaire et universitaire : c'est celle du caractère de plus en plus interdisciplinaire que prend nécessairement la recherche en tous les domaines.

Or, actuellement encore, les futurs chercheurs sont fort mal pré-

parés à cet égard, par des enseignements visant la spécialisation et aboutissant en fait au morcelage, faute de comprendre que tout approfondissement spécialisé rencontre au contraire de multiples interconnexions. Nous abordons ici un problème relevant de l'épistémologie générale des sciences autant que de leur méthodologie, mais il semble clair que l'avenir de l'enseignement des sciences dépendra toujours davantage de leur épistémologie, ce que l'on constate déjà à de nombreux indices.

Le morcelage des disciplines scientifiques s'explique, en effet, par les préjugés positivistes. Dans une perspective où seuls comptent les observables, qu'il s'agit simplement de décrire et d'analyser pour en dégager les lois fonctionnelles, il est inévitable que les diverses disciplines paraissent séparées par des frontières plus ou moins nettes et même fixes, puisque celles-ci tiennent à la diversité des catégories d'observables, elles-mêmes relatives à nos instruments subjectifs et objectifs d'enregistrement (perceptions et appareils). Par contre, sitôt que, en violation des règles positivistes (et elles sont en fait constamment transgressées, même quand certains auteurs, d'ailleurs de moins en moins nombreux, les approuvent en leurs préfaces), on cherche à expliquer les phénomènes et leurs lois au lieu de se borner à les décrire, on dépasse forcément les frontières de l'observable, puisque toute causalité relève de la nécessité inférentielle, c'est-à-dire de déductions et structures opératoires irréductibles à la simple constatation.

La causalité consiste, en effet, en une composition de production et conservation, tout comme les opérations logico-mathématiques, sauf que celles-ci sur le terrain physique sont alors attribuées aux objets eux-mêmes ainsi transformés en « opérateurs ». En ce cas la réalité fondamentale n'est plus le phénomène ou l'observable, mais bien la structure sous-jacente, reconstituée par déduction et qui rend compte des données observées. Mais, par le fait même, les frontières entre les disciplines tendent à disparaître, car les structures sont ou communes (comme entre la physique et la chimie, qu'Auguste Comte croyait irréductibles l'une à l'autre) ou solidaires les unes des autres (comme ce sera sans doute le cas entre la biologie et la physico-chimie).

Cela dit, il est alors évident que si l'enseignement des sciences veut s'adapter aux conditions du progrès scientifique et préparer des novateurs plus que des esprits conformistes, c'est sur ce structuralisme de plus en plus conquérant et généralisé qu'il doit mettre l'accent avec tout ce que cela comporte de vision interdisciplinaire : structuralisme

mathématique avec la théorie des groupes et des « catégories », etc. ; structuralisme physique avec l'extension indéfinie des attributions de ces systèmes aux modèles explicatifs représentant les intersections des objets eux-mêmes ; structuralisme biologique, avec les problèmes d'équilibration ou d'autorégulation, même si les connexions entre les modèles cybernétiques et les structures mathématiquement formalisables demeurent encore peu claires, etc., sans oublier les structures de l'intelligence étudiées par la psychologie mais à mettre en relation avec toutes les précédentes.

Or, du point de vue pédagogique, il y a là une situation fort complexe qui comporte un beau programme d'avenir mais demeure aujourd'hui fort peu satisfaisante. En fait, si chacun parle des exigences interdisciplinaires, l'inertie des situations acquises, c'est-à-dire passées mais non encore dépassées, tend à la réalisation d'une simple multidisciplinarité ; cela revient à multiplier les enseignements, puisque chaque spécialité a besoin de ses voisines, mais en laissant à l'élève ou à l'étudiant le soin d'effectuer lui-même les systèmes. Ce qu'il nous faut au contraire, au niveau universitaire mais déjà au secondaire, ce sont des enseignants qui parlent de leur spécialité mais dans un esprit sans cesse interdisciplinaire, c'est-à-dire sachant généraliser eux-mêmes les structures qu'ils emploient et les replacer dans les systèmes d'ensemble englobant les autres disciplines. Autrement dit, il s'agira pour les enseignants d'être eux-mêmes pénétrés d'un esprit épistémologique assez large pour que, sans négliger le terrain de leur spécialité, l'étudiant voie de façon continue les rapports avec l'ensemble du système des sciences. Or de tels hommes sont actuellement rares.

Vers de nouvelles relations entre sciences humaines et sciences exactes

Ces quelques réflexions sur l'avenir de l'enseignement des sciences exactes et naturelles portent sur une situation qui, particulièrement importante pour le développement de nos sociétés, n'en est pas moins simplement représentative en ce sens que les mêmes problèmes se retrouvent sous une forme ou sous une autre à propos de toutes les autres branches du savoir.

Mais il y a plus. La première des leçons à tirer des tendances interdisciplinaires actuelles est la nécessité de revoir de près les relations futures entre les sciences dites humaines et les sciences dites

naturelles et, par conséquent, la nécessité de chercher un remède aux conséquences catastrophiques qu'a eues la répartition des enseignements universitaire en « facultés », et secondaire en « sections », tous deux séparés par des cloisons étanches. Du point de vue théorique, la psychologie, réputée science de l'homme, est reliée sans discontinuité avec la biologie et avec la psychologie animale ou éthologie (zoologique), tandis que les mathématiques, situées avec les sciences naturelles, sont l'un des produits les plus directs de l'esprit humain. La théorie de l'information née des sciences de l'homme est aussi utile à la thermodynamique que celle-ci à l'informatique et à la linguistique. Il en est de même pour la théorie des jeux née de l'économie, etc.

Du point de vue pédagogique, il va donc de soi que l'éducation devra s'orienter vers un abaissement général des barrières ou vers l'ouverture de multiples portes latérales pour permettre aux élèves (secondaires comme universitaires) le libre passage d'une section à une autre avec choix possible de multiples combinaisons. Mais encore faudra-t-il alors que l'esprit des maîtres eux-mêmes soit de moins en moins cloisonné, cette décentration étant parfois plus difficile à obtenir chez eux que dans le cerveau des étudiants.

PAS DE DISCIPLINE CENTRALISATRICE

Cela dit, il importe de rappeler que parmi les branches classées littéraires il en est une qui, aux niveaux secondaire et universitaire, s'est toujours offerte à toutes les synthèses et que de nombreux esprits, malheureusement parmi les moins informés, considèrent encore comme l'organe ou le siège qualifié d'avance pour centraliser les relations interdisciplinaires : c'est la philosophie, dont se méfient un nombre croissant d'hommes de science pour les raisons qu'on va voir, mais que bien des biologistes appellent souvent encore à leur secours sitôt comprise l'insuffisance d'un certain mécanisme archaïque qui a sévi encore récemment en leur science.

Or la position fragile de la philosophie provient de ce fait qu'après avoir vu se séparer d'elle la logique, la psychologie et la sociologie, elle assiste aujourd'hui à l'élaboration d'épistémologies mathématique, physique et psychogénétique, etc., dont il est facile de prévoir que leur réunion constituera l'épistémologie de demain. La question est alors de savoir si l'organisation scolaire de l'avenir maintiendra par tradition (car elle est malheureusement exposée à toutes les maladies dues à l'inertie, comme le montre la survie de l'agrégation ou

autres concours qui ont survécu à mai 1968) les privilèges abusifs de la philosophie ou si les enseignements de culture générale s'engageront enfin dans la voie du structuralisme scientifique.

Or cette dernière position est d'autant mieux préadaptée à l'évolution future des branches « humaines » de la science que le structuralisme bénéficie de grandes traditions en linguistique et fleurit aujourd'hui en anthropologie culturelle et dans certaines écoles psychologiques, sans parler des multiples modèles, cybernétiques et autres, se cherchant en ces sciences et se multipliant dans les domaines économiques. Il en résulte, pour l'avenir des enseignements correspondants, une part à réserver, et de façon croissante, à des points de vue nouveaux, interdisciplinaires par leur nature même, comme ceux que développent aujourd'hui la psycholinguistique, la praxéologie (forme qualitative générale de l'économie), la psychologie et la sociologie économiques, etc.

Cela ne signifie d'ailleurs en rien qu'il faudra dans les années qui viennent multiplier les heures d'enseignement au niveau secondaire, en ajoutant ces nouvelles branches à celles qui existent déjà, mais qu'on peut prévoir une refonte des enseignements existants dans le sens d'un élargissement systématique des points de vue, rien n'empêchant les maîtres de langue d'acquérir une culture linguistique suffisante pour insuffler un esprit plus large dans l'étude des grammaires, ni les maîtres d'histoire de dominer les facteurs généraux de l'évolution des civilisations en se référant à autre chose qu'à la succession des batailles ou des dynasties.

RÉINVENTION DES VÉRITÉS ET PRATIQUE DE L'ESPRIT EXPÉRIMENTAL

Mais les problèmes qui subsistent dans le cas des branches proprement littéraires sont de prévoir comment faire une place suffisante, dans la formation actuelle et future des élèves, à ces deux composantes fondamentales de l'éducation scientifique : une « activité » authentique des élèves, appelés à reconstruire et en partie à réinventer les vérités qu'il faut assimiler, et surtout une pratique individuelle de l'esprit expérimental et des méthodes qu'il comporte.

En effet, on ne réinvente pas le latin ni l'histoire et l'on ne saurait se livrer à des expériences (« pour voir », donc heuristiques, ou de contrôle des hypothèses explicatives) sur la civilisation grecque... D'autre part, si nous commençons à connaître les stades de formation des opérations logico-mathématiques ou de la causalité dans l'esprit

des élèves en ses manifestations en partie spontanées, nous ne possédons pas, ou pas encore, de connaissances comparables quant aux mécanismes constitutifs qui engendrent les structures linguistiques ou commandent la compréhension des faits historiques. Du point de vue de la recherche psychopédagogique il y a donc là une série de problèmes encore ouverts, qu'ils comportent ou non des solutions comparables à celles dont il a été question plus haut.

Quant à la pratique pédagogique, c'est-à-dire à la nécessité d'initier les élèves des sections littéraires autant que les futurs scientifiques aux procédures expérimentales avec la part d'activité libre que suppose une telle formation, deux solutions sont possibles, d'ailleurs nullement exclusives l'une de l'autre.

La première, qui nous paraît assez indispensable, consiste à prévoir des programmes mixtes avec heures de sciences (ce qui est d'ailleurs déjà l'usage), mais où l'élève puisse se livrer à des expériences par lui-même et non pas dictées dans le détail. La seconde solution (qui nous semble devoir être ajoutée à l'autre) revient à consacrer certaines heures de psychologie (dans le cadre de la « philosophie » ou de la future épistémologie générale) à des expériences de psychologie expérimentale ou de psycholinguistique, etc.

FORMATION DES MAÎTRES ET CRÉATION D'ENSEMBLES MOBILES INTERDISCIPLINAIRES

Il nous reste deux problèmes généraux à mentionner. Le premier tient à la préparation des maîtres, ce qui constitue en fait la question préalable de toutes les réformes pédagogiques à venir, car, tant qu'elle ne sera pas résolue de façon satisfaisante, il est absolument vain de faire de beaux programmes ou de construire de belles théories sur ce qui devrait être réalisé. Or cette question est double. Il y a d'abord le problème social de la valorisation ou de la revalorisation du corps enseignant primaire et secondaire, dont l'opinion publique n'estime pas les services à leur juste valeur, d'où la désaffection et la pénurie qui sévissent en ces professions et constituent l'un des dangers majeurs pour le progrès et même la survie de nos civilisations malades. Il y a ensuite la formation intellectuelle et morale du corps enseignant, problème très difficile, car meilleures sont les méthodes préconisées pour l'enseignement, plus malaisé devient le métier de maître qui suppose à la fois le niveau d'une élite au point de vue des connaissances de l'élève comme des matières et une vocation véritable

dans l'exercice de la profession. A ces deux problèmes ne correspond qu'une seule et même solution rationnelle : une formation universitaire complète pour les maîtres de tous les niveaux (car plus les élèves sont jeunes et plus l'enseignement implique de difficultés si on le prend au sérieux) à l'instar de la formation des médecins, etc. La préparation universitaire complète est en particulier nécessaire pour une formation psychologique suffisante, et cela pour les futurs maîtres du secondaire autant que du primaire.

Enfin, pour ce qui est des structures d'avenir de l'université dont dépendra donc la préparation des maîtres autant que de n'importe quels autres spécialistes, il est clair qu'à vouloir diminuer le rôle désastreux des facultés, il faudra leur substituer des ensembles mobiles interdisciplinaires de tous genres (par exemple biologie / psychologie / linguistique ou mathématiques / physique / épistémologie, etc.). Mais ces combinaisons demeureront inopérantes tant que deux principes fondamentaux ne seront pas appliqués en toutes leurs conséquences : *a*) une union étroite de l'enseignement et de la recherche, les étudiants devant être associés à celle-ci, en particulier pour la solution de problèmes nouveaux et non encore résolus, dès les années d'initiation, sous peine de ne rien comprendre à la science déjà constituée ; *b*) des recherches en équipe dirigées non pas par un seul professeur mais par des représentants de spécialités complémentaires, travaillant en constante coopération (par exemple, psychologie et logique, etc.) malgré la difficulté réelle, mais nullement insurmontable, de telles liaisons, dont nos expériences genevoises ont montré la possibilité.