

I. — INTRODUCTION

L'établissement de cette note s'est heurté à plusieurs difficultés qu'il est nécessaire d'évoquer brièvement :

La recherche pédagogique en sciences a connu un développement considérable au cours des vingt-cinq dernières années et a pris des directions très divergentes. Il a fallu se limiter à la description d'un nombre limité de directions en illustrant celles-ci par des exemples décrits par une bibliographie d'accès facile.

Il est difficile de séparer le champ de la recherche pédagogique en sciences de celui de la recherche fondamentale en sciences de l'éducation d'une part, de celui de l'innovation purement empirique d'autre part. Comme la recherche appliquée implique une prise de distance par rapport à la pratique de la classe, elle tend constamment à rejoindre la recherche fondamentale en particulier lorsque cette dernière ne fournit pas les instruments d'analyse. Inversement la recherche pédagogique tend constamment à être absorbée par un processus d'innovation plus large car elle ne peut maîtriser toutes les variables, parce qu'elle est court-circuitée par l'impatience des décideurs à la recherche d'une justification « scientifique » de décisions prises pour d'autres raisons ou par l'enthousiasme des praticiens qui freine le processus d'observation objective des situations pédagogiques. Nous admettons qu'il y a eu recherche pédagogique lorsque certains aspects d'un projet pédagogique (établissement d'un curriculum, adaptation des objectifs, des méthodes ou des moyens, plan de formation des maîtres...) auront été validés en situation de classe pour faciliter les prises de décision. Elle ne constitue qu'un aspect partiel et récent des processus de création et de rationalisation qui ont marqué l'évolution des enseignements scientifiques depuis un siècle.

Il est nécessaire de situer les recherches pédagogiques en sciences par rapport aux finalités explicites ou implicites de l'éducation et par rapport au mode de fonctionnement du système éducatif dans les pays considérés. La recherche en didactique a un statut très différent de la recherche scientifique ; elle n'obéit pas à une règle du jeu unique qui ferait l'objet d'un consensus mondial mais le choix des variables pertinentes, des hypothèses de travail, des méthodes d'analyse, est largement conditionné par les exigences sociales et des préalables idéologiques souvent implicites. Par exemple la place donnée à la fonction critique de la science, l'importance relative donnée au recrutement de futurs scientifiques ou à l'alphabétisation scientifique de la masse des citoyens se répercutent sur le contenu et les méthodes d'enseignement. Il faut cerner l'interaction entre les objectifs scientifiques et les finalités éducatives d'une société donnée pour pouvoir décrire de façon valide la fonction de la recherche pédagogique dans ce domaine.

II. — RECHERCHES PORTANT SUR LA CONSTRUCTION ET LA VALIDATION DE CURRICULA SCIENTIFIQUES**1. Généralités**

Le développement considérable de la recherche curriculaire en sciences après la Deuxième Guerre mondiale est dû à des causes multiples. Le développement des besoins en éducation a entraîné le souci de rationaliser les processus éducatifs ; d'où une littérature abondante sur la manière de produire des plans d'étude « scien-

tifiques ». D'autre part le développement de la recherche en science et technologie a fait apparaître un déficit quantitatif et qualitatif de scientifiques. Des scientifiques de renommée mondiale se sont intéressés à l'enseignement et ont été frappés par le décalage considérable entre le caractère traditionnel, dogmatique et ennuyeux des études scientifiques scolaires et l'effort de création, de construction et d'analyse critique qui caractérisait leur activité. Le choc produit par le lancement du Spoutnik accéléra ce processus aux Etats-Unis et permit de drainer des crédits considérables vers la recherche pédagogique en sciences. Après 1960 un autre besoin s'imposera de plus en plus : la nécessité de donner une formation scientifique efficace à tous les élèves au cours de la scolarité obligatoire pour permettre au futur citoyen de *participer de façon pertinente aux discussions publiques* qui déterminent les prises de décision, pour permettre au futur adulte de s'orienter dans un monde façonné par la science et le technique et d'intégrer les informations parcellaires apportées par la presse et les médias. Cette évolution a été décrite en particulier par Baez (13). De plus elle a pris des orientations différentes suivant les pays.

En Union soviétique et dans les pays socialistes la recherche pédagogique est caractérisée par son ancienneté et l'absence de discontinuité dans le processus si l'on fait abstraction de l'affaire Lyssenko qui a entraîné un arrêt d'un an de l'enseignement de la biologie et un changement brutal de programme. Elle est fondée sur la nécessité de former en masse les cadres nécessaires au développement et orientée aussi vers la recherche de bases scientifiques aux valeurs définies dans le plan d'études. La recherche est étroitement centralisée et planifiée par l'Académie des sciences pédagogiques. Elle comporte en général les étapes suivantes :

- Détermination du contenu notionnel et pratique par des commissions de scientifiques, de praticiens et de pédagogues et ventilation du contenu par niveau.

- Construction du manuel-maître comportant des instructions très détaillées sur la succession et le déroulement des leçons (et il n'y a le plus souvent qu'un manuel unique) ; fabrication des instruments de travail (manuel élève, moyens didactiques), essai et remaniement des instruments dans les classes expérimentales avant diffusion.

- Observation des conditions de mise en œuvre des méthodes avec essais comparés de solutions alternatives pour les chapitres contestés ; mise en place d'une formation permanente obligatoire.

- Recherches sur les méthodes d'enseignement par l'observation des maîtres qualifiés d'avant-garde et l'expérimentation portant sur la comparaison de deux procédures.

Cette organisation laisse peu de place à l'innovation créatrice des élèves et des maîtres ; mais il faut signaler le développement important des clubs scientifiques qui constituent des pépinières de scientifiques.

Dans les pays anglo-saxons où le curriculum est adopté par les autorités locales et où une grande liberté pédagogique est reconnue aux maîtres, la recherche pédagogique est fortement décentralisée. Elle est le plus souvent implantée dans les universités et soutenue par des fondations ; en sciences celles-ci sont souvent alimentées par l'industrie privée ou des organismes publics (industrie automobile, N.A.S.A.) ; l'Etat a accordé une aide croissante aux recherches relatives à l'enseignement des sciences et des mathématiques. Les projets ne se limitent pas à la fabrication d'un manuel mais abordent de façon systématique les aspects successifs de la mise en place d'un curriculum : définition des objectifs à partir d'une analyse des finalités et du contenu scientifique, construction et expérimentation de modules d'enseignement, élaboration des aides didactiques, mise en place des structures de formation, évaluation. Les décideurs ont le choix entre plusieurs projets concurrents, surtout aux Etats-Unis. En Grande-Bretagne le foisonnement est moins marqué mais les enseignants ont en général le choix entre plusieurs projets alternatifs que le système d'examens prend en compte ; d'autre part les praticiens ont toujours pris une part effective dans le travail des équipes de recherche.

En Allemagne fédérale où les décisions curriculaires relèvent des « Lander » la recherche pédagogique se fait en deux temps : un institut national de recherches pédagogiques en sciences de la nature (I.P.N., Kiel) fait des recherches de longue haleine permettant de préparer les décisions et les instituts des différents états achèvent la mise au point des plans d'étude.

En France la recherche curriculaire en science est récente (1970) alors que l'innovation des maîtres était importante, surtout en sciences naturelles. Cette situation explique peut-être l'instabilité des plans d'étude pendant la période 1958-1976 : le 1^{er} cycle du 2^e degré a connu cinq réformes partielles ou totales de l'enseignement scientifique avec changements de manuels, d'équipements, de matériel, de conditions de travail des maîtres. La recherche française est caractérisée par le rôle important des maîtres en exercice dans les équipes et par l'intégration des projets de recherche sciences dans un projet de pédagogie générale : pédagogie d'éveil à l'école élémentaire, individualisation de la pédagogie en C.E.S.

Depuis 1960 la recherche pédagogique en sciences s'est implantée dans les pays en développement. Après avoir adapté les sujets d'étude aux milieux, les instituts prennent de plus en plus en compte les exigences spécifiques du développement.

2. Evolution de la recherche curriculaire au niveau de l'enseignement du 2^e degré

Nous nous limiterons à la comparaison entre l'évolution des projets de recherche curriculaire chez les pays anglo-saxons et chez les pays socialistes.

a) Pays anglo-saxons (15, 16a, 16b, 17, 18, 20, 21). Le contenu de l'enseignement scientifique fut profondément modifié : en physique le rapport entre théorie et expérience fut repensé, en biologie l'écologie, la biologie moléculaire, la génétique occupèrent le terrain cédé par la morphologie et la systématique. La rupture fut particulièrement brutale aux Etats-Unis car les projets comme le P.S.S. et le B.S.C.S. étaient conçus par les universitaires et destinés à un enseignement optionnel. Leur influence dépassa de beaucoup le cadre des E.U. car ils furent adaptés ou imités dans de nombreux pays. En Grande-Bretagne les projets Nuffield couvrent toutes les disciplines et tous les niveaux ; de plus il existe des projets alternatifs comme le S.C.I.S.P. et Science 5/13. Ils sont présentés soit sous forme disciplinaire, soit sous forme intégrée (physique, chimie, biologie) au niveau des classes du 1^{er} cycle.

Mais ces projets sont caractérisés encore davantage par l'évolution des méthodes, par le souci de faire participer l'élève de façon active à la construction du savoir et de développer chez lui une attitude scientifique. D'où la grande place accordée à la méthode de résolution de problèmes (appelée souvent méthode de découverte). Les activités investigatrices par petits groupes en situation d'autonomie, la recherche documentaire, l'entretien y tiennent une grande part ; les travaux pratiques sont centrés non sur un apprentissage de techniques mais sur une problématique de recherche. Cette évolution a d'abord été commandée par une certaine conception des finalités de l'enseignement scientifique sans régulation suffisante à l'aide de données épistémologiques ou de théories de l'apprentissage (cf. 3^e partie).

Depuis 1970 les grandes recherches curriculaires ont connu une régression considérable. D'une part l'intérêt de l'opinion publique pour l'enseignement scientifique a diminué ; d'où une réduction des crédits de recherche aggravée par la crise économique. D'autre part les hypothèses de recherche étaient souvent formulées de façon superficielle sans analyse psychologique et épistémologique sérieuses prenant en compte les obstacles à la construction du savoir, les causes de régression de l'acquis en stéréotypes, les difficultés d'accès à la méthode expérimentale. Enfin, les curricula des années 60 ont souvent été construits en marge de l'institution scolaire ; ils ignorent les représentations des maîtres, leurs attitudes et leur pratique

réelle, leurs innovations. D'après l'un des fondateurs du B.S.C.S., le projet le plus réussi, leur succès apparent masque leur dénaturation au niveau de la pratique. Dans d'autres cas ils sont rejetés ou ignorés par les instituts de formation des maîtres.

Ces désillusions ont conduit à des recherches plus ponctuelles, plus rigoureuses et plus étroitement liées à la pratique de la classe. Au lieu de curricula fermés on propose les modules ouverts, parfois divergents, qui prennent en compte les innovations des maîtres. Une observation précise des situations de classe, orientée par les recherches sur les procédures d'apprentissage, permet d'aider les maîtres à dépasser l'enseignement frontal pour faciliter la construction progressive d'un savoir opérationnel par des cheminements individualisés (16a, 19, 33). Les recherches sur les objectifs pédagogiques et sur l'étude des systèmes ont aussi contribué à ce souci de rigueur.

Une évolution analogue se retrouve dans la plupart des pays à l'exception des pays socialistes. Les pays en développement ont aussi adopté des projets centrés sur la résolution de problèmes (28).

b) Union soviétique et pays socialistes. Le renouvellement du contenu fut réalisé de façon plus progressive ; en biologie, la morphologie et la systématique tiennent toujours une place importante dans les programmes, la progression est plus lente et les horaires sont plus élevés pour faciliter l'accès de tous à une formation scientifique. Depuis 1960 ces pays ont cherché à rénover la pédagogie de la présentation des connaissances sans recourir en premier lieu à la méthode de résolution des problèmes. Ils ont d'abord cherché à élaguer le contenu factuel de l'enseignement en mettant l'accent sur les opérations intellectuelles, les algorithmes et les stratégies cognitives qui permettent de construire les concepts (26). L'élève est d'abord étroitement guidé avant d'être invité à raisonner sur des situations nouvelles ; la rigueur logique précède la créativité (27, 42).

c) Dans l'ensemble des pays, deux tendances qui se recouvrent partiellement semblent se développer : un effort d'intégration des disciplines sur le plan cognitif et un souci de mieux orienter le contenu scientifique vers les finalités générales de l'éducation.

Les projets d'enseignement scientifique intégré se sont multipliés depuis 1960. Ils répondent à des finalités très diverses : faciliter l'initiation scientifique des élèves peu doués (ce qui risque de conduire à une formation au rabais), permettre une véritable pédagogie de projet qui fait éclater le cadre disciplinaire par la divergence des problèmes posés ; réaliser progressivement la construction disciplinaire en mettant l'accent sur les objectifs d'attitude et de méthode communs aux sciences expérimentales, éviter la trop grande spécialisation des maîtres (4). On a sous-estimé pendant longtemps la nécessité d'une étude épistémologique rigoureuse pour aborder ces problèmes et l'importance des obstacles rencontrés chez les maîtres du fait du cloisonnement des études universitaires. Après de nombreuses difficultés les recherches sur la liaison entre l'enseignement des mathématiques et celui des sciences expérimentales sont en train de décoller (40) ; un progrès dans ce domaine pourrait contribuer à réduire efficacement l'échec scolaire dans le 2^e degré.

Actuellement le souci de donner une formation scientifique permettant d'aider les futurs adultes à mieux résoudre leurs problèmes de vie tant sur le plan individuel que le plan social s'exprime dans de nombreux projets de recherche : il s'agit de prendre en compte les problèmes d'environnement, de gestion des ressources naturelles, de reproduction humaine, d'hérédité, de nutrition, de santé, de bien-être corporel. Certes ces problèmes étaient mentionnés en général dans les plans d'étude antérieurs ; mais ils étaient surtout développés sous forme de recettes chez les élèves des filières courtes. Par suite du caractère linéaire et schématique de la démarche pédagogique on n'arrivait pas à juxtaposer la construction rigoureuse d'une structure conceptuelle et la centration sur un problème de vie en utilisant le pouvoir que donne

la pensée scientifique. La plupart des pays ont adopté un projet d'Initiation interdisciplinaire à l'étude de l'environnement. Mais l'évolution des projets de recherche en sciences est encore plus significative. La révision des projets Nuffield 0 Level est orientée dans cette perspective. Les modules du B.S.C.S. des six dernières années et destinés aux classes du 1^{er} cycle sont centrés sur des problèmes de vie (nutrition, hérédité). Dans ce domaine il faut signaler un problème encore mal résolu : la liaison entre la formation technologique et l'initiation scientifique au cours de la scolarité obligatoire : elle a été abordée en France et elle est seulement ébauchée dans les pays socialistes. La résolution de ce problème concerne particulièrement les pays en développement.

3. Evolution des recherches sur l'enseignement scientifique à l'école élémentaire

Jusqu'en 1950 l'enseignement scientifique à l'école élémentaire présentait une certaine uniformité. Il visait avant tout à développer l'observation considéré comme un exercice d'objectivation de la perception par le langage, à permettre l'acquisition de certaines habitudes d'hygiène, à assurer un premier contact en grande partie affectif avec le vivant. Les physiciens refusaient en général de considérer l'étude des phénomènes naturels comme un début d'initiation à la physique.

Le développement d'une recherche pédagogique s'appuyant sur les données de la psychologie génétique et sur une réflexion épistémologique partant des situations de classe (en particulier en physique) a permis de renouveler le problème. Il s'agit d'un champ de recherche en pleine expansion et qui présente des orientations très différentes suivant les pays.

Les pays socialistes (scolarité élémentaire de trois ou quatre ans) ont cherché avant tout à réagir contre les méfaits d'un enseignement factuel et pseudo-pratique considéré comme obstacle au développement cognitif général et aux apprentissages fondamentaux. L'initiation scientifique sous forme d'étude de nature a été réduite (suppression en 1^{re} année en U.R.S.S.), ou intégrée à l'enseignement de la langue (R.D.A.). Dans ce cadre cependant certaines recherches actuelles font apparaître le rôle des apprentissages scientifiques bien conduits dans le développement de la pensée logique (60).

A l'opposé de nombreuses équipes de recherche, en particulier anglo-saxonnes, se sont orientées depuis 1960 vers la mise en place d'une initiation scientifique précoce fondée sur les données de la psychologie génétique, en particulier sur une certaine lecture des travaux de Piaget prolongée par une expérimentation en situation de classe. Les projets répondent à deux finalités : développer le plus tôt possible les attitudes et les méthodes scientifiques accessibles au jeune enfant pour faciliter un accès progressif à la pensée scientifique avant la fin de la scolarité obligatoire ; s'appuyer sur des activités de type scientifique pour faciliter le développement cognitif de l'enfant. Les objectifs principaux de la plupart des projets sont le développement d'une attitude scientifique et la maîtrise progressive de la méthode expérimentale au sens large. Ils partent des activités fonctionnelles des enfants et proposent aux maîtres d'exploiter le questionnement des enfants par des activités d'investigation en situation d'autonomie, ils facilitent les exploitations divergentes d'un même sujet d'études (15, 19, 22, 28). D'autres projets (23) présentent au contraire une structure convergente : grâce aux choix des matériaux, des situations et des questions ils proposent une construction des concepts de base des sciences expérimentales. Ces derniers projets tendant à développer très tôt un cloisonnement disciplinaire alors que les premiers ne définissent pas suffisamment les prises sur lesquelles débouchent le travail de recherche.

D'autres projets visent à éviter un cloisonnement disciplinaire précoce et à différencier progressivement une approche débouchant sur des objectifs scientifiques à l'intérieur d'une problématique plus large centrée sur des problèmes de vie. L'étude du milieu ou de l'environnement fournit souvent ce cadre intégrateur (pays en

développement et nombreux pays d'Europe) ; on peut espérer que les recherches en cours permettront d'éviter les pièges qui ont fait déraiper l'étude du milieu des années 50. En France l'initiation scientifique s'insère dans le cadre des activités d'éveil ; ce dernier recouvre l'ensemble des apprentissages qui s'appuient sur des activités fonctionnelles décloisonnées (exploration, construction, expression). La recherche vise à mettre en évidence la *détermination réciproque entre les objectifs d'éducation générale (développement individuel, socialisation) ou les apprentissages instrumentaux (langue, mathématiques) d'une part et les objectifs spécifiques des sciences d'autre part* lorsque ces activités débouchent sur une recherche suivie par une structuration (14a).

4. La recherche curriculaire n'a pas toujours rempli les espoirs qui ont été mis en elle mais elle crée une situation nouvelle qui semble irréversible : elle a permis de former des chercheurs en didactique des sciences et de fournir des crédits à ce type de recherches. Celles-ci se poursuivent sous une forme plus modeste (relation d'aide et non pas imposition) et se diversifient en prenant davantage en compte toutes les variables du système éducatif.

III. RECHERCHES SUR LA DIDACTIQUE DES SCIENCES EXPÉRIMENTALES

Parallèlement aux recherches sur les contenus se sont développées les recherches sur les modalités de l'apprentissage inspirées des théories de Skinner, Gagné, Ausubel, Bruner, Piaget, Galpérine et sur les procédures d'enseignement. Nous ne mentionnerons ici que les recherches qui visent à adapter, compléter, articuler les modèles d'apprentissage ou d'enseignement aux problèmes spécifiques de la formation scientifique : construction d'un système symbolique à partir de l'expérience ; capacité à l'appliquer à une situation concrète et à le remodeler.

1. Recherches sur les méthodes et les procédures d'apprentissage

a) On a d'abord cherché à vérifier l'efficacité des différentes méthodes d'enseignement définies par la pédagogie générale au cas particulier des sciences. Ces recherches conduites suivant les procédures classiques — population expérimentale et population témoin, pré-test et post-test — fournissent rarement des résultats significatifs, on maîtrise rarement les variables significatives — à commencer par la pédagogie réellement pratiquée par le maître — ou on crée des artefacts, donnent des indications non transférables. C'est le cas de nombreuses recherches mentionnées par D. Lockard (11).

b) Par contre les recherches qui se proposent de réguler un choix méthodologique résultant d'une décision préalable inspirée par les finalités de l'éducation — parfois masquée par une pseudo-justification psychologique ou épistémologique — et qui partent des difficultés concrètes rencontrées dans la classe semblent plus efficaces.

De nombreuses recherches se sont efforcées d'analyser les difficultés posées par la méthode de résolution de problèmes. Comment passer d'une activité pratique à la formulation d'un problème scientifique ? Comment interviennent les différentes variables dans la progression de la pensée : manipulation, échanges entre pairs, interventions du maître ? Comment arriver à un acquis structuré à partir d'une succession d'investigations autonomes et divergentes. Ces recherches ont exigé la mise au point de méthodes d'enregistrement précis des situations de classe faisant apparaître le rapport entre les échanges verbaux, l'action sur les objets, les activités de production centrées sur la symbolisation (32, 40). Elles ont contribué à sortir la méthode de découverte du schématisme naïf que lui reprochait Ausubel (38). Elles ne semblent pas déboucher sur des normes mais sur des procédures d'objectivation susceptibles d'aider les maîtres dans les prises de décision.

La pédagogie de la présentation des connaissances tend à s'orienter sous l'influence de Léontiev et Galperine vers la guidance des opérations intellectuelles qui permettent de construire les concepts. En sciences le point de départ est constitué par une règle d'action (manipulation programmée) ; elle débouche sur une communication verbale structurée qui précède l'effort individuel de représentation et de symbolisation (42, 43). Un certain nombre de recherches récentes portent sur l'introduction progressive de moments d'autonomie et de découverte qui permettent de réinvestir l'acquis en situation de responsabilité.

L'étude des deux exemples indiqués ci-dessus montre que la recherche tend à enrichir les procédures d'enseignement inspirées par un modèle d'apprentissage trop schématique ; elle rapproche les pratiques pédagogiques sans supprimer leur cohérence interne.

Parallèlement à l'observation des élèves se sont développées les méthodes d'observation du mode d'intervention du maître. Les grilles classiques ont dû être modifiées, en particulier pour pouvoir prendre en compte les interventions au cours du travail pratique d'investigation par petits groupes (56). Les analyses ont fait apparaître des styles d'enseignement différents de ceux que le maître croyait pratiquer et différents aussi des classifications théoriques établies a priori ; la nature de la tâche exerce une contrainte importante dans ce domaine (50).

c) L'analyse des problèmes posés par la pratique de la classe a conduit à un foisonnement de recherches qui visent à mettre en rapport les deux aspects de tout processus d'apprentissage : l'objectif et la nature de la tâche d'une part, la spécificité de l'élève — outils intellectuels, attitudes et acquis antérieurs — d'autre part. Pour expliquer et dégager des règles d'action on cherche à mettre en rapport les données observées avec les informations fournies par la psychologie génétique, l'histoire des sciences, la recherche en épistémologie. Très souvent il est nécessaire de combler le hiatus qui sépare les deux domaines par une recherche spécifique : *comment un champ conceptuel défini est-il assumé par les praticiens ? Comment s'est faite la stratification des propositions qui détermine le contenu de l'enseignement ? Quelles sont les stratégies cognitives utilisées par les enfants devant un problème donné ?*

Ces recherches ne visent pas seulement à réguler une pratique d'enseignement collectif mais aussi à aider les maîtres dans leur effort d'individualisation de l'enseignement et d'aide aux élèves en difficulté. On peut signaler les orientations suivantes :

Comment construire des concepts réinvestissables, intégrateurs qui ne régressent pas en stéréotypes sociaux ? Même si l'apprentissage premier se fait à partir de situations privilégiées, on ne peut faire l'économie du dépassement des obstacles épistémologiques, du remaniement des représentations initiales qu'elles soient liées au développement ou véhiculés par les médias. Ce domaine de recherche connaît actuellement un développement considérable (30, 31, 32, 40, 25, 35 b).

Comment définir un niveau de formulation opérationnel pour l'élève et acceptable pour un scientifique ? Cela conduit à rechercher une formulation de problème accessible au champ d'expérience de l'élève et à expliciter les outils intellectuels qui sont nécessaires à la construction de l'énoncé au lieu de procéder à une réduction qui fournit un broyat d'un contenu scientifique non accessible à l'élève (23, 32).

Comment aider les élèves dans un effort actif de structuration qui permet de regrouper les acquis ponctuels en un réseau fonctionnel (14, 31, 32) ? Quels sont les principes organisateurs à un niveau donné (32, 44) ?

Comment arriver à une maîtrise progressive de la méthode expérimentale ? Cette dernière n'est pas une simple actualisation de la pensée formelle mais elle progresse parallèlement au développement par la mise en œuvre de la disposition à vouloir connaître par soi-même (34).

d) Dans les pays d'Europe occidentale la suppression récente des filières dans les collèges a rendu plus aigu le problème de la différenciation des pédagogies soit par groupes de niveau, soit par groupes hétérogènes. Cette dernière solution a fait l'objet de plusieurs expérimentations en sciences car la diversité des compétences impliquées par la réussite d'une investigation scientifique permet d'associer des élèves de niveau scolaire différent (32).

e) Le développement des classes transplantées (classes de nature) et des stages de travail productif pose un problème encore peu exploré : comment exploiter un questionnement, un champ d'expérience, un savoir empirique dans la construction d'une structure conceptuelle au cours de l'année scolaire.

2. Recherches sur l'organisation pédagogique et sur les moyens d'enseignement

La tendance à réduire l'enseignement frontal au profit de travaux de petits groupes répond d'abord à un aspect spécifique de la formation scientifique, la nécessité des travaux de laboratoire. Mais cette unanimité masque des divergences importantes sur les objectifs, le contenu et l'organisation de ces derniers : ils peuvent précéder un cours, s'intégrer à lui ou réaliser une application ; ils ont un développement inégal dans des pays où les dépenses globales d'éducation sont comparables. Aussi est-il surprenant de voir que les recherches relatives à des problèmes de fond sont relativement peu nombreuses (45) : dans quelle mesure une démonstration expérimentale peut-elle se substituer à des travaux individuels, dans quelles conditions un travail en simulation ou sur documents de substitution peut-il remplacer le travail en situation réelle ? Quel est le rôle des travaux pratiques dans la maîtrise des différentes opérations intellectuelles qui caractérisent la pensée scientifique (compréhension, mémorisation, application, résolution de problèmes).

D'autre part l'individualisation peut porter sur la totalité de l'apprentissage, en particulier sur la transmission de l'information par des supports divers : centre documentaire, télévision, ordinateur. En science le problème de l'articulation entre l'exploration directe du milieu ou l'expérimentation d'une part, le support documentaire d'autre part a fait l'objet de nombreuses recherches mais de peu de généralisations durables. Signalons en particulier le projet Posethwait (38) qui couvre un programme semestriel de biologie végétale de niveau propédeutique sous une forme auto-tutoriale complètement individualisée.

D'autres recherches portant sur l'application de l'audio-visuel sont mentionnées dans les publications internationales (11.5).

3. Recherches relatives à la formation des maîtres

Les formateurs de maîtres sont de plus en plus des chercheurs en didactique (cf. Chelsea College) car la formation tend à donner une part croissante à l'observation de la pratique pédagogique pour éviter le discours normatif théorique déconnecté d'une pratique réduite à la transmission de recettes. Cependant les publications de recherche relatives aux problèmes spécifiques posés par la formation des maîtres scientifiques sont peu nombreuses (47).

IV. RECHERCHES EN EVALUATION

L'évolution des idées sur les objectifs éducatifs a entraîné une évolution importante des méthodes d'évaluation.

1. Evaluation sommative

Les recherches dans ce domaine répondent à des besoins différents :

- Assurer l'objectivité des examens, en particulier en renouvelant les épreuves des banques des tests (E.U., G.B.).

- Permettre aux décideurs d'évaluer l'efficacité du système pédagogique en testant un échantillon significatif (53, 54), l'enquête internationale de l'I.E.A. permet les comparaisons entre pays (48).
- Suivre la mise en place d'un plan d'études pour réduire le décalage entre celui-ci et le curriculum effectivement pratiqué par les maîtres ou bien rendre opérationnelles les lignes directrices d'un curriculum ouvert par le biais de l'évaluation (c'est le cas de nombreux curricula anglais).

L'évolution des idées relatives aux objectifs conduit actuellement à mettre l'accent sur les points suivants :

- Il est nécessaire de donner une plus grande place aux opérations intellectuelles qui permettent de mettre le savoir scientifique en œuvre : activités d'analyse, de synthèse (en particulier traitement de données numériques), de résolution de problèmes. D'où la nécessité de limiter la part des questions fermées au profit de problèmes où le raisonnement est explicité.
- Il est utile de vérifier la maîtrise effective des méthodes et des techniques par des exercices de laboratoire, différentes procédures d'objectivation sont en cours d'expérimentation (Naffield A. Level, application du B.S.C.S. en Israël).
- L'activité de projet met en évidence des qualités (créativité, organisation, prise de responsabilité) qui apparaissent peu dans les épreuves ordinaires. Elle est prise en compte dans la note d'examen pour le A. Level, en Pologne une mention aux Olympiades (activité de projet) donne accès à l'université sans examen.

Il existe encore un décalage important entre les épreuves d'examen centrées souvent par des performances pointillistes et les évaluations réalisées par les auteurs de curricula (18 b, 21 c, 23, 28 b) qui visent à cerner des compétences, des structures réinvestissables en dehors de la situation scolaire. En Angleterre le Science Working group de l'A.P.U. cherche à réduire ce décalage (50).

2. Evaluation formative

Elle vise à éclairer le maître sur l'efficacité de sa pédagogie, à faciliter l'aide individualisée aux élèves et à permettre à ces derniers la prise en charge progressive de leur propre formation. Les épreuves ne suffisent pas à couvrir ces besoins ; il est nécessaire d'observer comment les enfants opèrent à cause du décalage entre l'activité scientifique réelle et sa formalisation verbale, à cause des difficultés éprouvées par beaucoup de jeunes enfants à s'exprimer par écrit. Or les possibilités d'observation sont importantes en sciences à cause de l'importance des travaux pratiques et des activités d'exploration dans la nature : le maître a la possibilité de suivre les progrès de la pensée scientifique, de la maîtrise globale d'une méthode. La maîtrise de l'observation des élèves est avant tout question de formation. L'objectivité prend une signification nouvelle : il ne s'agit pas d'aboutir à une note chiffrée indépendante de l'observateur mais d'apprendre à voir les repères significatifs en vue d'apporter une aide individualisée (52, 55).

De nombreuses recherches actuelles portent aussi sur la production d'instruments d'auto-évaluation. Elles sont utiles en particulier pour évaluer l'efficacité du travail autonome. Si elles sont bien construites, elles peuvent attirer l'attention de l'élève sur les véritables objectifs de l'enseignement, le détacher des apprentissages purement factuels et l'habituer à réinvestir l'acquis en dehors de l'école.

Après avoir assuré un renouvellement rapide des contenus mais sans tenir compte suffisamment de la situation concrète de l'institution scolaire, la recherche pédagogique en sciences tend à prendre des formes plus diversifiées et plus modestes en prenant davantage en compte les finalités généreuses de l'éducation, les besoins individuels des élèves et le pouvoir d'innovation des maîtres.

Victor HOST.

1. Ouvrages de synthèses édités par les organisations Internationales

a) Unesco

1. **Tendances nouvelles de l'enseignement de la physique.** — vol. 1, 1966 ; vol. 2, 1970 ; vol. 3, 1976.
2. **Tendances nouvelles de l'enseignement de la chimie.** — vol. 1, 1965 ; vol. 2, 1967 ; vol. 3, 1972 ; vol. 4, 1975.
3. **Tendances nouvelles de l'enseignement de la biologie.** — vol. 1, 1966 ; vol. 2, 1967 ; vol. 3, 1971 ; vol. 4, 1976.
4. **Enseignement scientifique intégré.** — vol. 1, 1970 ; vol. 2, 1975 ; vol. 3, 1976.
5. **New trends in the utilisation of educational technology for science education, 1974.**
6. **New trends in primary sciences education** (sous presse).
7. **New trends in science teachers formation** (sous presse).

b) Conseil de l'Europe - Strasbourg

8. Saunders. — **Etude des programmes européens**, n° 3, Biologie, n° 4, Chimie, n° 6, Physique, Conseil de la Coopération Culturelle, 1972.
9. Frey (K.) et al. — **Research in Science Education in Europe**, Amsterdam : Swets & Zeitlinger, 1977.

c) O.C.D.E. (Organisation de Développement et de Coopération Economique, Paris)

10. **L'Enseignement actuel de la physique, 1965** (les autres volumes de la série « Enseignement rénové des sciences » sont plus anciens).

d) International Clearing House on Science and Mathematics Curricular Development
University of Maryland, College Park, MD 20742 (Etats-Unis)

11. Lockard (D.). — **Working International Bibliography on Trends in Biological Education, 1975.**
12. Lockard (D.). — **8th Report of the International Clearing house on Science and Mathematics Curricular Development, 1972. — 9th Report on Science and Mathematics Curricular Development, 1976.**

(Ces publications donnent une courte analyse des recherches en didactique de langue anglaise et des projets de curricula en cours de réalisation. La plupart de ces documents peuvent être obtenus sur microfiches.)

2. Recherches curriculaires

13. Baez (A.V.). — **L'Innovation dans l'enseignement des sciences.** Ed. Unesco, 1977 (ouvrage de synthèse qui présente en particulier les problèmes spécifiques des pays en voie de développement).
14. **Projet de recherche Activités d'éveil scientifiques à l'école élémentaire de l'Institut National de Recherche Pédagogique.** Publications **Recherches Pédagogiques.** — Paris : I.N.R.P./S.E.V.P.E.N., 29, rue d'Ulm, 75005.
 - N° 62 : **Activités d'éveil scientifiques : I. Objectifs, Méthodes, Moyens, 1976.**
 - N° 70 : **Activités d'éveil scientifiques : II. Première approche des problèmes écolologiques, 1974.**
 - N° 74 : **Activités d'éveil scientifiques : III. Initiation physique et technologique, 1975.**
 - N° 88 : **Activités d'éveil scientifiques : IV. Initiation Biologique, 1976 ; V. Initiation physique et technologique, suite (sous presse) ; VI. Evaluation par l'observation des élèves (sous presse).**
15. **Projet de recherche Biologie et Initiation expérimentale dans les C.E.S. de l'Institut National de Recherche Pédagogique.** Publication **Recherches Pédagogiques.** — Paris, I.N.R.P./S.E.V.P.E.N., 29 rue d'Ulm, 75005.
 - N° 55 : **Biologie et Initiation expérimentale dans les C.E.S. : Objectifs.**
16. **Projet de la Fondation Nuffield, Ecole élémentaire.** — **Nuffield Junior Science Animal and Plants, 2 vol.** — London : Longman Books, 1968.
17. **Projets de la Fondation Nuffield, Niveau Collèges.**
 - **Nuffield Combined Science (11-13 ans), 4 volumes pour les maîtres.** — Harmondsworth : Longman Books, 1970.
 - **Nuffield Secondary Science (13-16 ans), 2 volumes.** — Harmondsworth : Longman Books, 1971.

18. Projets de la Fondation Nuffield, Niveau Lycées.
 - **Nuffield A Level Physics.** — Harmondsworth : Longmans Books.
 - **Nuffield A Level Biologie**, 9 volumes. — Harmondsworth : Longmans Books.
 - **Nuffield A Level Chemistry**, Handbooks for Teachers. — Harmondsworth : Longmans Books.
 - Evaluation du projet biologie dans **Journal of Biological Education**, vol. 5, 1971 et vol. 6, 1972 (réf. 57).
19. Projet : **Science 5/13**. 22 fascicules destinés aux maîtres dont : Ennever (L.). — **With Objectives In Mind.** — London : Macdonald, 1973.
20. Projet du Physical Science Study Committee (PSSC), Etats-Unis. — Aber, Shalm, Cross, Dodge, Walter. — **Physics.** Lexington. — DC. Heath Anco, 1960.
21. **Biological Science Curriculum Study** (Etats-Unis, 2^e cycle).
 - Version bleue, Boston : Houghton Mifflin, 1962.
 - Version jaune, New York : Harcourt Brace, 1962.
 - Version verte, Chicago : Rand Mac Nally, 1962.
 - Klinckmann (E.). — **Biology Teachers' Handbook.** — New York : J. Wiley and Sons, 1970.
 - Grobman (A.). — **The changing classroom.** — New York : Doubleday and Co, 1969.
22. **Elementary Science Study** (Etats-Unis, 6 à 12 ans). — Manchester : Mac Graw Hill Book Company, 1968 (50 fascicules destinés aux maîtres). — Trad. fr., Montréal : Mac Graw Hill Company, 1970.
23. **Science Curriculum Improvement Study** (Etats-Unis, 6-12 ans). — Chicago : Rand & Mac Nally, 1970. Trad. Ed. Psychologiques, Montréal.
 - 12 fascicules maîtres, 12 fascicules élèves.
 - Karplus (R.), Thier (D.). — **A new look at elementary school science.** — Chicago : Rand & Mac Nally, 1970.
 - Karplus (R.), Thier (D.). — **What is curriculum evaluation ?** — Chicago : Rand & Mac Nally, 1970.
24. Institut für der Pädagogik die Naturwissenschaften, Kiel, R.F.A. :
 - **I.P.N. Curriculum Physik, Unterrichtseinheiten.** — Stuttgart : Klett Verlag (1970-1978). (modules pour l'enseignement de la physique, classes 5 à 10).
 - **I.P.N. Curriculum Chemie, Unterrichtseinheiten.** — Stuttgart : Klett Verlag, (1970-1978) (modules pour l'enseignement de la chimie, classes 5 à 10).
25. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, Kiel, R.F.A. :
 - **I.P.N. Einheitenbank, Curriculum Biologie.** — Köln : Aulis Verlag (1972-1978) (modules pour l'enseignement de la biologie, classes 5 à 8).
 - Schäfer, Bayruber. — **Kybernetische Biologie.** — Köln : Aulis Verlag, 1976.
26. U.R.S.S. Ministère de l'Education. — **Tendances actuelles de l'enseignement des sciences expérimentales** (Réponse à un questionnaire Unesco). Texte ronéotypé original Unesco ; traduction I.N.R.P.
27. Müller (J.). — **Programmiertes Lehrmaterial.** — Berlin : Akademie der Pädagogischen Wissenschaften der D.D.R., 1976 (R.D.A.).
28. **African Primary Science Program.** — Massachussets (USA). Ed. Newton, 1969. — Duckworth (E.). — **Evaluation du projet A.P.S.P.**, Thèse, Université de Genève.
29. **Projet pilote concernant les nouvelles méthodes et techniques d'enseignement de la biologie.** — Unesco, 1972.

3. Processus d'apprentissage, méthodes d'enseignement, formation des maîtres

30. Didactique des sciences et psychologie (Table ronde du C.N.R.S., du 4 au 7 mai 1977). — Paris, **Revue Française de Pédagogie**, n° 45, 1978.
31. **Recherches sur les processus d'apprentissage en sciences.** — Compte rendu des Journées de Chamonix de février 1979. — Publication ronéotypée A.P.D.R.S., Tour 45-46, Université Paris VII, 2 place Jussieu, 75005 Paris (le compte rendu des Journées de 1980 est en préparation).
32. Astolfi (J.P.) et al. — **L'acquisition des connaissances scientifiques par apprentissages individualisés et autonomes.** — Paris, I.N.R.P. (sous presse).
33. Astolfi J.P.) et al. — **Quelle éducation scientifique pour quelle société ?** — Paris : P.U.F., 1978.
34. Giordan (A.). — **Une pédagogie pour les sciences expérimentales.** — Paris : Ed. du Centurion, 1978.
35. Schwab (J.) et Brandwein (P.). — **The Teaching of Science.** — Cambridge : Harvard University Press, 1962.

- 35 b. Publications du Laboratoire de l'I.R.E.S.P.T., Paris VII, 2, Pl. Jussieu. — Articles de Delacote, Guesne, Martinand, Tiberghien, Viory (repris dans *Revue Française de Pédagogie*, n°s 34 et 49, et *Bulletin de l'Union des Physiciens*).
36. Bruner (G.). — *Toward a Theory of Instruction*. — Cambridge : Harvard University Press, 1966.
37. Novak (J.). — *A Theorie of Instruction*. — Cambridge : Harvard University Press, 1966. Posethwait, Novak. — *The Audio-tutorial, Approach to Learning through Independent Study and Integrated Experience*. — Minneapolis : Burgess Publication, 1969.
39. Dawydow. — *Arten der Verallgemeinerung im Unterrichtsprozess* (trad. du russe). — Berlin : Ed. Volk und Wissen, 1977.
40. Galperin (Leontev). — *Probleme der Lerntheorie* (trad. du russe). — Berlin : Volk und Wissen, 1977.
42. Walter (H.K.). — *Programmierung im Unterrichtsprozess*. — Berlin : Volk und Wissen, 1977.
43. Kattmann (U.), Isensee (W.). — *Strukturen des Biologie unterrichts*. — Köln : Aulis Verlag, 1975.
44. Stawinski (W.). — *Theoretische und empirische Untersuchungen zur Gestaltung des Laborunterrichts in Fach Biologie*. — Publ. Université de Cracovie, 1978.
45. *Science Teacher Education Project (STEP)*. — Maidenhead (G.B.) : Mac Graw Hill Book, 6 vol., dont : *The art of a science teacher*. — *Innovation in teacher education*.

4. Evaluation

48. Comber (L.C.), Keeves (J.). — *Science Education in Nineteen Countries : an Empirical Study*. — *International Studies in Evaluation*, vol. 1, Stockholm : Almqvist & Wiksell, 1973.
47. Klopfer (L.). — *L'évaluation de l'apprentissage en sciences*. — Vevey : Ed. Delta, 1977 (Extrait de Bloom et al. — *Handbook on formative and summative evaluation of student learning*. — New York : Mac Graw Hill, 1971 (trad. Lehmann).
48. Eggleston, Galton, Jones. — *Processes and Products of Science Teaching*. — London : Mac Millan, 1976.
49. Harlem (W.). — *Match and Mismatch*, vol. I : *Raising Questions* ; vol. II : *Finding Answers*. — London : Mac Millan, 1976.
50. Assessment of Performance Unit ; Science Working Group. — *Assessment of scientific development*. — London : School Council, 1977.
51. National Assessment of Educational Progress (Etats-Unis).
— *Objectives of Science*. — Princeton : Educational Testing Service, 1965.
— Report 1 : *Science*. — Washington : National Center for Educational Research and Development, 1970.
— Report 7 : *Group Results*. — Washington : National Center for Educational Research and Development, 1971.
52. *Recherches Pédagogiques*. — *Evaluation de la recherche Activités d'éveil scientifiques : Méthodes d'observation*. — Paris : I.N.R.P.-S.E.V.P.E.N. (sous presse).
53. Postic (M.). — *Observation et formation des enseignants*. — Paris : P.U.F., 1977.

5. Revues de didactique des sciences ou revues ayant consacré des numéros spéciaux à la didactique des sciences

54. *European Journal of Science Education*. — London : Taylor et Francis.
55. *The School Science Review*. — London : The Journal of The Association for Science Education.
56. *Journal of Biological Education*. — London : Academic Press.
57. *The Science Teacher*. — Washington : National Science Teachers Association.
58. *The American Biology Teacher*. — Washington : N.A.B.T. (National Association of Biology Teacher).
59. *Soviet Education*. — New York : Ed. Sharpe.