

LA PÉDAGOGIE DES SCIENCES
Premier et second degré

par Victor HOST

- I -

Introduction

A l'issue de la Seconde Guerre mondiale l'enseignement scientifique a subi une mutation profonde pour répondre à des demandes diverses : d'abord pour former les spécialistes nécessaires au développement rapide des sciences et des techniques, ultérieurement pour donner à l'ensemble de la population la formation scientifique et technologique qui permet de se situer et d'agir dans un environnement qui subit des mutations profondes.

Dans la plupart des pays l'innovation dans l'enseignement scientifique a cessé d'être purement empirique et centrée sur le contenu, les pratiques devinrent progressivement l'objet d'une observation, d'une analyse et d'une explication. On chercha à les rationaliser en prenant en compte l'interaction entre l'objet de l'enseignement et le sujet qui apprend. De ce fait la pédagogie ou didactique des sciences s'est progressivement constituée en un domaine autonome défini par sa problématique, son champ conceptuel et ses règles d'action.

La bibliographie indiquée ci-dessous se limite à ce domaine spécifique. Elle ne comporte pas de références aux ouvrages généraux de sciences de l'éducation ou d'épistémologie des sciences bien qu'ils aient souvent orienté les recherches. D'autre part, elle ne mentionne que des ouvrages de langue française ou des ouvrages étrangers facilement accessibles et susceptibles d'éclairer les problèmes concrets rencontrés par le praticien. La faible part accordée aux publications de l'URSS ne signifie pas que l'importance de leur innovation est minimisée mais que pour des raisons diverses leurs productions ne sont pas directement utilisables pour des activités de formation ou d'animation.

Les publications de pédagogie des sciences diffèrent largement par leur forme et leur contenu. Elles peuvent être regroupées en fonction de 3 grandes familles de problèmes :

- ◊ Certaines portent sur l'établissement et la régulation d'un curriculum. Il s'agit de fonder un plan d'études sur des bases objectives (mise en oeuvre de finalités éducatives sous une forme opérationnelle, prise en compte des données de l'analyse épistémologique) et de le rendre opérationnel en agissant sur l'ensemble des variables qui interviennent dans l'institution scolaire : matériel didactique, plan de formation, etc.
- ◊ D'autres sont orientées vers l'analyse du processus d'apprentissage, l'orientation des procédures d'enseignement (les différentes formes d'organisation du travail, l'aménagement de l'environnement pédagogique, les différents modes d'intervention du maître) et les modalités de la formation des enseignants.

◊ L'analyse critique des procédures d'évaluation permet aussi une approche de l'ensemble des problèmes posés par la pédagogie des sciences.

Un certain nombre de publications donnent une information globale sur les problèmes de didactique des sciences et leur évolution au cours des dernières décades :

1. UNESCO. - *L'innovation dans l'enseignement des sciences : synthèse mondiale* / par Albert BAEZ.- Paris : Unesco, 1977.

2. UNESCO (éd.).- *Tendances nouvelles de l'enseignement de la physique.*- Paris : Presses de l'Unesco, 1976.- Vol. 3.

3. UNESCO (éd.).- *Tendances nouvelles de l'enseignement de la chimie.* Paris : Presses de l'Unesco, 1975.- Vol. 4.

4. UNESCO (éd.). - *Tendances nouvelles de l'enseignement de la biologie.*- Paris : Presses de l'Unesco, 1976. Vol. 4.

5. UNESCO (éd.).- *New trends in primary school science education.*- Paris : Presses de l'Unesco, 1983 ou *Nuevas tendencias de la educacion científica en la escuela primaria*, id.

6. FREY, K. (éd.).- *Research in science education in Europe.*- Amsterdam : Savets et Zeilinger, 1977.

◊ Deux revues permettent de suivre l'évolution de la recherche en didactique des sciences :

7. *ASTER : Revue de didactique des sciences de l'équipe Esciez.* Paris, INRP. (Nouvelle série à partir de 1986.)

8. *European Journal of Science Education.* Publié par Taylor et Francis, London. (Bulletin de liaison des chercheurs en didactique des sciences.)

◊ Des articles de didactique des sciences se trouvent dans la revue suivante :

9. *Revue Française de Pédagogie.* Paris, INRP.

◊ Signalons pour mémoire que les bulletins des 2 associations de professeurs de physique et de sciences naturelles (Bulletin de l'Union des Physiciens et Bulletin de l'APBG) publient aussi des articles relatifs à la recherche en pédagogie des sciences.

- II -

Problèmes pédagogiques relatifs à la conception et à la régulation des curricula scientifiques

a) La recherche curriculaire

Depuis la Seconde Guerre mondiale la recherche curriculaire s'est développée de façon continue sous une forme systématique voire autoritaire en URSS et les pays socialistes ; elle débouche sur la production des manuels scolaires et de l'ensemble des instruments didactiques (équipements, documents audiovisuels) ; elle commande la mise en place des activités de formation des maîtres.

Par contre elle a démarré plus tardivement et de façon foisonnante aux Etats-Unis ; le lancement du Spoutnik l'a beaucoup stimulée. Elle s'est répandue ensuite dans de nombreux pays d'Europe occidentale.

• ETATS-UNIS

On peut distinguer 3 étapes dans la recherche curriculaire :

◊ Les curricula de la période 60-70 visent avant tout à former des futurs scientifiques. Ils procèdent d'une réflexion épistémologique qui conduit à un renouvellement du contenu et au développement de la réflexion critique. Ils sont conçus par des savants ; les enseignants en sont seulement les utilisateurs. Ils portent en général sur l'ensemble de la discipline à un niveau donné. Citons 2 projets qui ont connu une diffusion mondiale :

10. *Physical Science Study Committee* (PSSC).- Aber SHAIM, CROSS et al.- Lesington : Physics Hath Anco, 1960.

11. *Biological Science Curriculum Study* (BSCS) : 1) version bleue.- Tifin : Houghton, 1962. 2) version jaune.- New York : Harcourt Brace, 1962. 3) version verte.- Chicago : Rand Mac Nally, 1962.

◊ Vers 1970 les curricula visent toujours au renouvellement de l'ensemble de la discipline mais ils concernent la formation scientifique de base. La recherche reste une activité universitaire mais elle prend en compte le développement de l'enfant et les théories de l'apprentissage. Les deux curricula suivants relatifs à l'école élémentaire ont connu une grande diffusion :

12. *Science Curriculum Improvement Study* (SCIS).- 12 fascicules maîtres, 12 fascicules élèves. Traduction française.- Montréal : Editions Psychologiques, 1970. Le projet est centré sur la construction de 12 concepts de base par une investigation étroitement orientée par le choix du matériel.

13. *Elementary Science Study* (ESS) : 50 fascicules destinés aux maîtres. Traduction française.- Montréal : Mac Graw Hill, 1970. Le projet est centré sur le développement des attitudes scientifiques et du processus de découverte à partir de situations qui stimulent la créativité des élèves et des enseignants. Il ne comporte pas de programme de connaissances.

◊ Depuis 1975 la recherche curriculaire a renoncé aux projets trop lourds et trop onéreux ; d'autre part elle a cherché à éviter les réactions de rejet provoquées par l'imposition d'un produit élaboré qui ne prend pas en compte les besoins, les représentations et les innovations des enseignants. La recherche produit surtout des modules bien ciblés qui répondent à un besoin précis : construire le savoir impliqué par la résolution d'un problème de vie donné (hérédité, racisme...) ou adopter l'enseignement scientifique à une catégorie particulière d'élèves (enfants déficients par ex.)

14. BSCS : *Me now (10 à 13 ans)* : Hubbard, Box 104, Northbrook, Illinois 60062 E.U ; *Me and my environment (13 à 16 ans)*, id. Ces deux projets s'adressent à des handicapés psycho-moteurs moyens.

• GRANDE-BRETAGNE

La recherche curriculaire s'appuie sur l'innovation des enseignants et fait participer certains d'entre eux à la recherche. Celle-ci ne fournit pas des plans d'étude fermés mais des instruments de travail pour la construction de plans d'étude à l'échelon local. Elle a d'abord été assurée par une fondation privée (Fondation Nuffield) puis par un organisme semi-public (School Council) ; actuellement elle est localisée le plus souvent dans les universités. A titre d'exemple on peut citer les projets suivants :

15. *Science 5/18* répond au problème suivant : Comment orienter l'activité d'investigation des enfants grâce à la connaissance des objectifs réalisables à partir d'une situation donnée ? Le projet comporte 22 fascicules dont : *Science 5/18*.- L. ENNEVER, W. HARLEM éd.- *With Objectives in Mind*.- London : Mac Donald, 1973.

16. NUFFIELD.- *Combined Science*.- Le projet s'adresse à la classe d'âge 11-13 ans. Il se présente comme une succession de thèmes souvent interdisciplinaires. *Combined Sciences*.- Livres du maître.- 4 vol.- Harmondsworth : Longman Books, 1973.

17. NUFFIELD.- *O Level*.- Physics, Chimie, Biologie.- 6 vol.- Harmondsworth : Longman Books, 1971. Ces projets visent à la fois à renouveler le contenu traditionnel de l'enseignement du 1er cycle et à donner une place plus importante à l'activité des élèves.

18. NUFFIELD.- *A Level Biology* (9 vol.).- Harmondsworth : Longman Books, 1973. La participation de nombreux spécialistes a permis le renouvellement du contenu et des procédures expérimentales de l'enseignement du 2e cycle. D'autres part des approches diversifiées sont proposées pour un même sujet.

• ALLEMAGNE FEDERALE

Chaque région (Land) établit son plan d'études en se servant éventuellement des documents produits par des services de recherche nationaux comme l'IPN de Kiel pour les sciences. Les productions de cet institut sont présentées souvent sous forme de modules centrés sur un problème précis ; par exemple : introduction d'un enseignement des sciences physiques en 6ème et 5ème ; prise en compte de l'environnement dans l'enseignement de la biologie, centration de ce dernier enseignement sur la connaissance de l'homme. A titre d'exemple on peut citer :

19. IPN : *Einheitenbank Curriculum Biologie*.- Köln : Aulis Verlag. Cf. U. KATTMANN.- *Der Mensch und die Tiere* (L'homme et les animaux, 5e ou 6e année scolaire).- 1974. G. EULFELD et al.- *Probleme der Wasserverschmutzung* (Problèmes de pollution de l'eau, 9e et 10e année scolaire).- 1979.

20. IPN : *Physik Curriculum*.- Stuttgart : Klett Verlag. Cf. H. MIKELSKIS, L. LAUTERBACH.- *Energieversorgung durch Kernkraftwerke* (Production d'énergie par les centrales nucléaires, 9e et 10e année scolaire).- 1980.

21. H. BAYRUBER, G. SCHAEFER.- *Kibernetische Biologie*.- Köln : Aulis Verlag, 1978. Essai d'organisation de l'enseignement de la biologie autour des concepts de système, régulation, information.

• RDA

L'ensemble des recherches curriculaires et des activités de mise en place d'un plan d'études est réparti entre les laboratoires de didactique (un laboratoire par discipline et par université).

22. Documents édités pour chaque année scolaire. Berlin : Edition Volk und Wissen. Cf *Lehrbuch Biologie*, avec des indications précises sur la progression et l'organisation de chaque leçon. *Unterrichtshilfen*, avec des conseils pédagogiques en rapport avec chaque leçon du manuel. Et éventuellement : *Programmierter Lehrmaterial*, programmation d'un apprentissage individuel pour un domaine donné : génétique, évolution.

23. Une bibliographie d'ensemble peut être trouvée dans l'ouvrage suivant : G. DIETRICH, éd.- *Methodik Biologie Unterricht*.- Berlin : Volk und Wissen, 1976.

• **FRANCE**

La recherche en didactique ne joue qu'un rôle très limité dans les prises de décision qui s'expriment par les programmes et les instructions. D'autre part, la rédaction des manuels et des autres instruments didactiques est orientée le plus souvent par une réflexion purement empirique. De ce fait les recherches de type curriculaire n'ont qu'un développement limité sauf pour l'école élémentaire (initiation scientifique dans le cadre des activités d'éveil) où les recherches INRP ont donné lieu aux publications suivantes dans la revue *Recherches pédagogiques*.

24. "Activités d'éveil" scientifiques : objectifs, méthodes, moyens." *Recherches pédagogiques*, n° 62, 1972 (Paris, INRP). "Activités d'éveil scientifiques : approche des problèmes écologiques". *Recherches pédagogiques*, n° 70, 1974. "Activités d'éveil scientifiques : initiation physique et technologique". *Recherches pédagogiques*, n° 74, 1975. "Activités d'éveil scientifiques : initiation biologique". *Recherches pédagogiques*, n° 82, 1976.

b) Problèmes posés par les travaux sur les curricula

Le renouvellement des plans d'étude conduit à mettre en évidence certains problèmes généraux impliquant une recherche en didactique :

- Quelle place faut-il donner à la notion d'objectif pédagogique en sciences ?
- Comment réaliser la transposition didactique qui permet de passer de la science des savants à celle des élèves d'un niveau donné ?
- Faut-il garder les cadres disciplinaires de la science universitaire ou procéder à une intégration des enseignements scientifiques ?

• **OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES : FORMULATION ET MISE EN OEUVRE**

Le renouvellement des curricula suscita une réflexion critique sur les finalités de l'enseignement scientifique et sur les procédures permettant de les prendre en compte dans l'enseignement. Les deux publications suivantes illustrent cette réflexion :

25. J.P. ASTOLFI et al.- *Quelle éducation scientifique pour quelle société ?*.- Paris : PUF, 1978.

26. A. GIORDAN et J.-L. MARTINAND éd.- *Compte rendu des 4e Journées sur l'éducation scientifique*.- 3e partie : finalités de l'enseignement scientifique.- Paris : APDRS ; Université de Paris VII (UER de Didactique des disciplines).

Pour éviter que les finalités ne se limitent à des déclarations de bonnes intentions sans entraîner un renouvellement effectif des contenus et des pratiques pédagogiques, il a été nécessaire de les traduire en objectifs pédagogiques opérationnels qui explicitent les différents aspects de la pensée scientifique : construction de concepts, maîtrise de certaines méthodes (observation, expérimentation, modélisation), développement des attitudes qui permettent le transfert effectif du savoir, prise de conscience du rôle social de la science et de ses limites. Des tableaux d'objectifs sont présentés dans les ouvrages suivants :

27. J. KLOPPER.- *L'évaluation de l'apprentissage en sciences*.- Vevey : Ed.

Delta, 1977. (Extrait, introduit par J. LEHMAN, de l'ouvrage : BLOOM et al.- *Handbook on formative and summative evaluation of student learning.*- Montréal : Mac Graw Hill, 1977.

28. "Biologie et initiation expérimentale dans les collèges." *Recherches pédagogiques*, n° 55, 1972.

Pour l'école élémentaire on peut citer les numéros de *Recherches pédagogiques* mentionnés en (24).

A partir de 1960, l'enseignement scientifique a été marqué comme celui des autres disciplines par le mode de la pédagogie par objectifs. Elle vise à orienter l'ensemble des pratiques pédagogiques par des comportements susceptibles d'être observés et mesurés ; les modules de l'IPN de Kiel (19) constituent un exemple caractéristique. Cette procédure apporte une aide importante aux pédagogies centrées sur la transmission du savoir : l'objectif posé au départ sert de principe organisateur de l'ensemble de la leçon, chaque séquence étant orientée par une spécification de l'objectif général. Par contre dans une pédagogie par investigation, l'activité fonctionnelle est souvent première et l'objectif est dégagé à partir des questions et des productions des élèves. L'analyse des objectifs répond à des besoins nouveaux ; il s'agit d'éviter la dérive spontanéiste, d'une part en explicitant le contrat qui lie le maître à la classe et d'autre part en aidant les enseignants par des grilles qui mettent en correspondance les situations d'investigation et des objectifs qu'il est possible de réaliser. Ce problème est abordé en particulier dans les ouvrages suivants :

15. *Science 5/19* (déjà cité).

29. "Démarches pédagogiques en initiation physique et technologique". *Recherches pédagogiques*, n° 108.

La recherche de la rigueur a conduit à l'éclatement des objectifs généraux en une multitude d'objectifs de comportement relatifs à des situations très précises. Or ces derniers ne sont en fait que des indicateurs : ils concrétisent un objectif général dans un contexte particulier, ou ils actualisent une facette d'un objectif dont la signification n'apparaît que si l'on se réfère à l'objectif général. La pensée scientifique évite difficilement le verbalisme stérile et dogmatique si elle ne se construit pas de façon progressive, par une intégration des apprentissages élémentaires qui débouchent sur des compétences générales qui ont une signification fonctionnelle pour l'élève et qui orientent effectivement son activité à l'école et en-dehors de l'école. Dans ces conditions seulement il peut maîtriser des situations complètement nouvelles et remodeler le savoir antérieur. De plus les catalogues d'objectifs établis dans une perspective behavioriste déroutent les maîtres ; ils sont débordés par la multitude des objectifs réalisables au cours d'une séquence donnée alors que leur tâche principale est de connaître les points de passage obligés qui conditionnent la réussite d'un apprentissage à un moment donné. De ce fait la plupart des ouvrages cités proposent une hiérarchisation des objectifs qui varie en fonction des finalités recherchées et des hypothèses épistémologiques adoptées. La notion d'objectif-obstacle en tant que point d'appui de l'action pédagogique a été développée par J.L. Martinand :

30. J.-L. MARTINAND.- *Contribution à la caractérisation des objectifs dans l'enseignement scientifique.*- Berne : P. Lang. (Sous presse).

Il est nécessaire de présenter les objectifs pédagogiques sous une forme

compréhensible aux élèves et aux parents si l'on veut que les enfants se prennent en charge et qu'ils ne soient pas déroutés par la distance qui sépare l'école de leur milieu social. Ce problème est abordé dans :

31. EQUIPE ASTER.- *Formation scientifique et travail autonome.*- Paris : INRP, 1985. (Coll. Collèges, collèges, collèges...)

• TRANSPOSITION DIDACTIQUE

Les prises de décision relatives aux plans d'étude ont toujours été contestées ; l'imposition hiérarchique joue souvent un grand rôle dans leur mise en oeuvre. Dans un premier temps la recherche curriculaire a aggravé cette difficulté à cause de la diversité des plans d'étude produits. Il a paru nécessaire de rechercher les principes permettant de légitimer les choix curriculaires, en particulier de définir les modalités de la transposition didactique : comment passer par transitions successives d'une science au niveau universitaire à un contenu scolaire de niveau déterminé ? Les études en sociologie de l'éducation ont permis une première approche (cf. *Perspectives documentaires en sciences de l'éducation* n°5, 1985, article de J.-C. FORQUIN). En particulier en Angleterre à partir des années 60 il s'est développé une étude critique des savoirs scolaires dans une perspective socio- historique. Les matières scolaires n'apparaissent pas comme les aires de réalité imposées par la réflexion épistémologique mais comme des systèmes sociaux construits à la suite d'interférences multiples. Les ouvrages suivants sont consacrés en partie ou en totalité à l'enseignement scientifique :

32. M.F.D. YOUNG - *Knowledge and Control : New directions for the Sociology of education.*- London : Collin-Macmillan, 1971.

33. P. WORDS & M. HAMMERSLEY.- *School experience.*- London : Croom Helm, 1977. En particulier le chapitre "School science" de M.F.D. YOUNG.

34. D. LAYTON.- *Science for people.*- London : Allen and Unwin, 1973.

D'autres analyses décrivent les conditions qui déterminent l'élaboration et l'implantation d'un curriculum, en particulier le rôle des différents groupes de pression. Citons un ouvrage relatif à un plan d'étude scientifique (Chimie, O Level) :

35. M. WARING.- *Social pressures and curriculum innovations.*

De nombreux travaux de l'IPN de Kiel ont été consacrés à l'analyse des processus d'innovation dans l'enseignement scientifique. Ils conduisent à dépasser le cadre trop étroit de la recherche curriculaire américaine (Robinson) par la prise en compte de la diversité des variables qui se manifestent dans l'institution scolaire. Robinson proposait de déduire les contenus scientifiques des finalités sociales (y compris les besoins individuels reconnus par la société) à partir de la démarche suivante : définir les besoins, traduire les besoins en qualifications, déterminer les compétences scientifiques impliquées par les qualifications. La problématique est développée en particulier dans les deux ouvrages suivants :

36. K. FREY, K. BLANSDORF.- *Integriertes Curriculum Naturwissenschaft.*- Weinheim : Basel, 1973.

37. P. HAUSSLER, R. LAUTERBACH.- *Ziele Naturwissenschaftlichen Unterrichts.*- Weinheim : Basel : Belz, 1976.

Dans la littérature de langue française, l'étude critique de la transposition didactique a d'abord été faite en mathématiques et en grammaire. En sci-

ences elle a été développée par J.-L. Martinand qui a montré l'importance de la pratique sociale de référence : celle-ci détermine les orientations d'un savoir opérationnel, c'est-à-dire réinvestissable et remodelable. Le rôle du pédagogue n'est pas d'illustrer et de reformuler les broyats successifs obtenus par filtration du savoir universitaire, mais de construire un corpus qui servira à informer la pratique quotidienne de l'élève.

38. J.-L. MARTINAND (déjà cité).

Mais la référence à la pratique ne fournit que des repères, des points d'ancrage pour la construction d'un plan d'étude. Bien plus le travail d'analyse a souvent évacué les principes ou algorithmes qui sous-tendent le savoir ou permettent de le mettre en oeuvre ; on favorise ainsi le cloisonnement disciplinaire et la dérive dogmatique. En décrivant les expériences en-dehors de leur contexte historique on fausse souvent leur signification comme l'a montré G. Rumelhard. Des procédures de reconstruction ont été proposées par celui-ci, l'équipe Aster et l'IPN de Kiel (en-dehors des travaux de J.-L. Martinand déjà cités).

39. G. RUMELHARD.- *Les représentations de la génétique dans l'enseignement*.- Berne : P. Lang. (Sous presse.)

40. EQUIPE ASTER.- *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*.- Paris : INRP, 1985. (Coll. Rapports de recherches.)

41. U. KATTMANN, W. ISENSEE éd.- *Strukturen des Biologieunterrichts : 6. IPN Symposium*.- Köln : Aulis, 1975.

Le travail de reformulation impose une prise de distance par rapport au savoir universitaire pour situer les niveaux de formulation par rapport à des paradigmes reconnus et pour adapter les procédures de vérification. Une réflexion épistémologique était indispensable ; elle a d'abord été retardée par le climat empiriste et positiviste qui régnait dans les milieux scientifiques. Un certain nombre d'ouvrages ont contribué à réagir contre cette tendance :

42. G. BACHELARD.- *La formation de l'esprit scientifique*.- Paris : Vrin, 1947. (Toute l'oeuvre de Bachelard peut être citée)

43. G. CANGUILHEM.- *La connaissance de la vie*.- 2ème édition.- Paris : Vrin, 1965.

44. K. POPPER.- *La logique de la découverte scientifique*.- Paris : Payot, 1973.

45. Th. KUHN.- *La structure des révolutions scientifiques*.- Paris : Flammarion, 1972.

46. F. JACOB.- *La logique du vivant*.- Paris : Gallimard, 1970.

47. F. HALBWACHS.- *La pensée physique chez l'enfant et le savant*.- Neuchâtel : Delachaux et Niestlé, 1974.

A l'occasion de la transposition didactique on est souvent amené à se poser le problème suivant : "quelles connaissances sont accessibles à l'enfant, compte tenu de son développement cognitif ?" ou "quelle formulation adopter pour une notion donnée en fonction du développement de l'élève ?". Ce problème sera abordé à l'occasion de l'étude des processus d'apprentissage (cf. III a).

• INTÉGRATION DES ENSEIGNEMENTS SCIENTIFIQUES

Faut-il garder la structure des disciplines telles qu'elles sont enseignées à l'université ou doit-on procéder à un enseignement scientifique intégré, surtout

pour les jeunes enfants ? Ce problème a fait l'objet de discussions passionnées d'autant plus qu'on l'a souvent abordé de façon précipitée : les décideurs ont voulu imposer aux professeurs des formes d'enseignement auxquelles ils n'avaient pas été préparés, sans que la fonction et les modalités de l'intégration n'aient été définies. Il y a actuellement de nombreuses incertitudes sur la manière de définir les disciplines et sur les processus suivant lesquels elles se construisent chez l'enfant. Ce problème est abordé de façon théorique dans l'ouvrage suivant :

48. J. PIAGET éd.- *Logique et connaissance scientifique* .- Paris : Gallimard, 1967. (Encyclopédie de la Pléiade.)

Pour ceux qui définissent les disciplines par leur domaine matériel, par le découpage du réel en fonction de la perception et de l'action, l'intégration consiste à partir de certains problèmes de vie : environnement, prise en charge de son corps (nutrition, santé), gestion des ressources naturelles... pour faire acquérir des connaissances d'abord ponctuelles et qui s'organisent progressivement en une structure disciplinaire par raison d'économie. Lorsqu'on définit au contraire les disciplines par leur champ conceptuel ou leur domaine méthodologique c'est-à-dire, à partir de l'activité cognitive du sujet on est amené à différencier progressivement des compétences transversales d'abord très floues ; elles peuvent être d'ordre conceptuel - énergie par exemple - ou d'ordre méthodologique comme la maîtrise de la démarche expérimentale. Les publications de l'UNESCO font apparaître la complexité du problème et les incertitudes rencontrées :

49. UNESCO ed.- *New trends in integrated science teaching*.- Paris : UNESCO.- Vol. I, 1971 ; Vol. II, 1973 ; Vol. III, 1974 ; Vol. IV, 1977.

Rappelons aussi les publications de l'INP de Kiel (cf. 36)

Le problème des liaisons interdisciplinaires ne sera pas abordé ici. Les rapports mathématiques - sciences expérimentales ont fait l'objet de nombreuses publications des IREM. Signalons simplement le numéro de Recherches Pédagogiques consacré au rapport entre langages et activités scientifiques :

50. "Eveil scientifique et modes de communication". *Recherches pédagogiques*, n° 117, 1983.

- III -

Processus d'apprentissage, procédures d'enseignement et itinéraires de formation

a) Processus d'apprentissage

• *A quelle théorie peut-on se référer pour expliquer et réguler les apprentissages scientifiques ?*

Les apprentissages scientifiques sont avant tout des apprentissages conceptuels. D'après Ausubel ces derniers peuvent se classer en apprentissages par réception portant sur la transmission du savoir socialisé que le sujet est appelé à comprendre et à mémoriser et les apprentissages par investigation- construction qui s'appuient sur les données dégagées par l'expérience du sujet. Le premier mode définit au préalable la structure logique de la discipline qui commande

l'ensemble de la démarche ; l'expérimentation ne sert qu'à illustrer une formulation générale ; les activités de création sont reléguées au rang d'applications souvent tronquées, les interactions entre élèves négligées. Le second mode construit les points d'ancrage ponctuels du savoir à partir d'une démarche de découverte mais néglige souvent l'organisation du savoir en une structure. Actuellement on tend à définir l'appropriation du savoir scientifique comme une activité de longue haleine impliquant l'articulation de séquences très différentes par leur logique et leur fonction ; des apprentissages élémentaires très différents sont nécessaires si on veut déboucher sur des acquis signifiants pour l'élève, susceptibles d'être appliqués dans des situations nouvelles et d'être remodelés. Le problème n'est pas de choisir une théorie de l'apprentissage pour réguler une séquence déterminée : investigation en situation d'autonomie, dialogue interactif, dialogue socratique, travail sur documents, écoute d'une émission de TV, démonstration expérimentale accompagnant l'exposé du maître. Par ailleurs les théories de l'apprentissage permettent aussi de réguler l'articulation des séquences en un *modèle pédagogique* cohérent (cf. III b) par exemple "comment dépasser les ambiguïtés de la méthode de découverte" d'abord préconisée de manière naïve sans recherche en didactique - ou "comment éviter les inconvénients d'une pratique pédagogique de la transmission du savoir grâce à des activités de recherche qui ne sont pas marginalisées dans l'esprit des élèves ?"

La bibliographie citée di-dessous se rapporte principalement à l'analyse des comportements des élèves au cours d'apprentissages scientifiques. Les recherches visent le plus souvent à réguler le modèle pédagogique d'apprentissage par investigation.

51. A. GIORDAN et al.- *L'élève et/ou les connaissances scientifiques.*- Berne : P. Lang, 1983.

52. E. CAUZINILLE-MARMECHE et al.- *Les savants en herbe.*- Berne : P. Lang, 1983.

53. J.P. ASTOLFI et al.- *Expérimenter.*- Toulouse : Privat, 1983.

54. A. GIORDAN.- *Une pédagogie pour les sciences expérimentales.*- Paris : Le Centurion, 1978.

55. Ch. FREINET.- *Le tâtonnement expérimental.*- Cannes : CEL, 1965.

56. A. GIORDAN et J.-L. MARTINAND.- *Les démarches scientifiques expérimentales / Premières journées sur l'éducation scientifique.*- Paris : Editions APDRS ; Université de Paris VII.

57. A. GIORDAN et J.-L. MARTINAND .- *Approche du processus de construction des concepts en sciences / 2èmes journées sur l'éducation scientifique.*- Paris : Editions APDRS ; Université de Paris VII.

58. CHAMPAGNE et KLOPFER.- *Interactions of students knowledge with their comprehension of science experiments.*- Pittsburg : Learning Research and Development Center.

• *Que peut-on apprendre à un niveau de développement donné ?*

Certains didacticiens des sciences (Novak) nient l'existence de stades de développement et réduisent les difficultés d'apprentissage de l'enfant à un aspect quantitatif : la capacité de mémorisation est proportionnelle au nombre de points d'ancrage déjà construits, d'où le développement exponentiel du savoir et l'importance d'une présentation logique des connaissances. Mais au cours

des deux dernières décades un nombre croissant de chercheurs (en particulier anglo-saxons) a adopté les deux hypothèses suivantes :

- Certaines difficultés d'apprentissage ne peuvent être surmontées de façon durable par une simple décomposition analytique de la difficulté ; l'enfant doit maîtriser au préalable certaines méthodes générales de raisonnement.
- L'initiation scientifique précoce peut être un facteur de développement cognitif si elle s'appuie sur une investigation autonome débouchant sur une symbolisation ; chez le jeune enfant elle permet de diversifier l'activité intellectuelle liée à l'action sur les objets.

Les recherches de Piaget ne définissent pas une pédagogie parce qu'elles négligent certaines variables comme le rôle de la langue et de la communication au cours de l'apprentissage, mais elles permettent de repérer les obstacles qui bloquent la construction des concepts de base. On peut citer :

59. J. PIAGET.- *La causalité physique chez l'enfant*.- Paris : Alcan, 1927.
60. J. PIAGET et B. INHELDER.- *Le développement des quantités chez l'enfant*.- Neuchâtel : Delachaux et Niestlé, 1941.
61. J. PIAGET.- *Le développement de la notion de temps chez l'enfant*.- Paris : PUF, 1946.
62. J. PIAGET et B. INHELDER.- *La psychologie de l'enfant*.- Paris : PUF, 1966.- (Que sais-je ?)

D'autres travaux s'inspirent des recherches piagétienne pour aborder des problèmes d'apprentissages plus spécifiques :

15. *Science 5/13* (déjà cité).
24. *Recherches pédagogiques*, N° 74, déjà cité (référence à Wallon).
47. F. HALBWACHS (déjà cité).
63. W. HARLEM.- *Match and Mismatch : 1. Raising questions*.- London : Macmillan, 1976.

• *Comment expliquer l'oubli du savoir scientifique ou sa régression en stéréotypes ?*

Au cours des deux dernières décades les recherches sur les représentations ont refoulé la conception de l'appropriation du savoir définie comme une suite d'apprentissages élémentaires localisés dans le temps. Au cours de la résolution des problèmes de vie et de l'intégration de l'information le sujet se construit des instruments d'explication et de prévision, les représentations spontanées qui reflètent sa structure cognitive ou résultent des interactions sociales. Les représentations peuvent constituer un obstacle aux apprentissages scolaires ou bien expliquer leur régression et leur oubli apparent : le savoir scolaire n'est pas réinvesti ou se confond avec les représentations antérieures. Les recherches sur les représentations ont d'abord été effectuées dans le domaine de la pédagogie des adultes. Elles constituent actuellement un champ de recherche important en didactique des sciences. De nombreux ouvrages déjà cités comportent une étude des représentations, en particulier :

19. IPN : *Einheitenbank Curriculum Biologie*.- Köln : Aulis Verlag. Représentations relatives aux différences raciales.

24. *Recherches pédagogiques*, n° 86. Représentations relatives au vivant et au corps humain.
29. *Recherches pédagogiques*, n° 108. Vue d'ensemble sur le problème des représentations
39. G. RUMELHARD.- *Les représentations de la génétique dans l'enseignement*.- Berne : P. Lang. (Sous presse.)
40. EQUIPE ASTER.- *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*.- Paris : INRP, 1985. (Coll. Rapports de recherches.) Prise en compte des représentations dans la construction du savoir.
56. *1ères Journées sur l'éducation scientifique*.
57. *2èmes Journées sur l'éducation scientifique*.

On peut ajouter :

64. L. VIENOT.- *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*.
65. R. DRIVER, E. GUESNE, A. TIBERGHIEU.- *Childrens' ideas in Science*.- Melton-Keynes : Open University Press, 1985.
66. A. GIORDAN et F. MARTINAND.- *Diffusion et appropriation du savoir scientifique* / 3èmes Journées sur l'éducation scientifique.- Paris : Ed. APDRS ; Université de Paris VII.
67. *Quels types de recherches pour renouveler l'éducation en sciences expérimentales ?* / 5èmes Journées sur l'éducation scientifique (même éditeur)

b) Procédures d'enseignement

Comment orienter les processus d'appropriation du savoir compte-tenu du choix des finalités, des hypothèses relatives à l'apprentissage et des possibilités ou contraintes relatives au cadre institutionnel ?

• MISE AU POINT D'UN MODÈLE PÉDAGOGIQUE COHÉRENT

Le cadre de référence qui oriente les décisions des maîtres définit un modèle pédagogique (modèle au sens scientifique du mot). Il est déterminé d'une part par les variables citées ci-dessus, d'autre part par la nécessité de prendre en compte un certain nombre de contraintes :

- Comment articuler des activités de type très différent : cours, travaux pratiques, projets réalisés en situation d'autonomie, activités en dehors de l'école ? Quelle est leur fonction, quelle doit être leur importance relative ?
- Comment diversifier la pédagogie et individualiser les apprentissages en particulier dans les classes hétérogènes ?

Les recherches portant sur les modèles centrés sur la transmission du savoir se sont orientées principalement sur le processus d'individualisation de l'apprentissage grâce à la technologie de l'éducation. Il a d'abord été réalisé par des procédures multimédia décrites dans les deux ouvrages suivants :

68. S.N. POSTLETHWAIT, J. NOVAK.- *The audio-tutorial approach to learning*.- Minneapolis : Burgess, 1969.
69. UNESCO.- "New trends in the utilization of educational technology for science education". *Integrated multi-media systems for science education*.- Paris : Presses de l'Unesco, 1974, pp. 144-185.

Actuellement les ressources informatiques tendent à renouveler les procédures (cf. ci-dessous).

Les modèles centrés sur l'apprentissage par investigation se sont centrés pendant longtemps sur la maîtrise des méthodes et l'accès à des savoirs ponctuels (cf. *ESS, Science 5/19*). Puis l'accent a été mis sur la nécessité d'élaborer de façon progressive une structure conceptuelle. Ce problème est abordé en particulier dans les ouvrages suivants qui ont déjà été cités.

29. *Recherches pédagogiques*, n° 108 (école élémentaire).

31. Equipe Aster.- *Formation scientifique et travail autonome* (collèges).

40. Equipe Aster.- *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*.

Il faut signaler que certaines B.T. du mouvement Freinet ne sont pas seulement des instruments de travail pour les élèves mais fournissent des suggestions aux maîtres pour les aider à pratiquer une pédagogie de la découverte. Par exemple :

70. B.T., n° 835, 886, 949. Edité par CEL (BP 66, 06322 Cannes-Le-Bocca Cedex).

• **LE MATÉRIEL DIDACTIQUE** : matériel et instruments de laboratoire, manuels, documents audio-visuels, logiciels...

En sciences il assure deux fonctions différentes : servir de support à l'information que l'élève sera appelé à comprendre et à mémoriser, permettre l'action investigatrice qui conduit à la construction du savoir à partir de l'expérience. L'analyse de la littérature fait surtout apparaître l'importance des problèmes non résolus ou abordés de façon purement empirique :

- Peut-on remplacer l'action effective sur les objets qui implique la maîtrise des instruments et des techniques par des exercices simulés portant sur des documents ? Il y a peu d'études comparatives relatives à ce sujet.

- A quoi doit servir un manuel scolaire et comment faut-il le composer ? Après l'avoir négligé on tend à le redécouvrir et à expliciter sa fonction spécifique par rapport aux moyens audio-visuels et à l'informatique.

- Quels moyens audio-visuels faut-il privilégier dans l'enseignement scientifique ? Le dépouillement d'une littérature abondante semble confirmer la proposition de Klopfer : "Il n'y a pas de skill pédagogique dont la supériorité peut être considérée comme établie". L'efficacité d'un instrument ne dépend pas de ses caractères techniques mais de sa pertinence relative à la fonction qu'il assume à l'intérieur d'un modèle pédagogique.

- Quel rôle peuvent jouer les instruments informatiques dans les apprentissages scientifiques ? Le rôle de l'ordinateur est conçu de façon totalement différente suivant le modèle pédagogique de référence. Pour les uns (M. Caillot) il apporte une contribution décisive à l'ingénieur didactique qui se propose de rationaliser les apprentissages cognitifs. Pour les autres (S. Papert) il est le médiateur du *jaillissement de l'esprit*.

Les problèmes évoqués ci-dessus sont abordés dans les ouvrages suivants :

69. UNESCO. - *New trends in science education* (déjà cité).

71. A. GIORDAN et J.-L. MARTINAND.- *L'information dans l'éducation*

scientifique / 4èmes Journées sur l'éducation scientifique.- Paris : Ed. APDES ; Université de Paris VII, 1982.

72. JOURNEES DE SEVRES.- *Informatique et enseignement des sciences naturelles* : compte rendu.- Sèvres : CIEP, 1984.

c) Itinéraires de formation

Les problèmes sont différents pour les maîtres du secondaire qui ont reçu une formation de spécialistes et les instituteurs qui sont des généralistes.

Pour les professeurs du 2e degré l'idée d'une formation pédagogique ayant un fondement théorique et complémentaire de la culture scientifique est admise de façon quasi générale malgré certaines contestations d'arrière-garde. Par contre son contenu fait l'objet de nombreux tâtonnements. L'ouvrage suivant présente une synthèse des différents problèmes :

73. MAIDENHEAD éd.- *Science teacher education project (step)*.- Montréal : Mac Graw Hill, 1972.- 6 volumes dont *The art of science teacher* et *Innovation in teacher education*.

En ce qui concerne les institutions on bute sur deux difficultés à l'échelle mondiale :

- Comment donner des bases scientifiques suffisantes à des enseignants polyvalents lorsque les horaires de formation sont très réduits.

- Comment dépasser les attitudes et les représentations induites par un enseignement de type impositif si l'enseignant doit pratiquer une pédagogie de construction du savoir par investigation autonome ?

Ces problèmes sont abordés dans les publications suivantes :

74. M. DEVELEY.- *Contribution à la définition d'un modèle de formation initiale des instituteurs en activités d'éveil biologique*.- Paris : Université de Paris VII, Un résumé de cette thèse se trouve dans le *Bulletin de la Société A. Binet et Th. Simon*, n° 602, 1985, pp. 28-56.

75. W. HARLEM éd.- *The training of primary science educators*.- Paris : Unesco, 1984.

La régulation de l'activité pédagogique et la formation des maîtres passe par l'observation des situations de classe. Pour pouvoir progresser et évaluer l'efficacité de son action pédagogique le maître doit pouvoir connaître le décalage entre ce qu'il croit faire (d'après les réponses aux questionnaires) et ce qu'il fait (d'après les grilles d'observation).

Une vue d'ensemble des procédures d'observation du maître se trouve dans les deux ouvrages suivants :

76. "Activités d'éveil scientifiques. Eléments d'évaluation". *Recherches pédagogiques*, n° 110, 1980, pp. 81-125.

77. M. POSTIC.- *Observation et formation des enseignants*.- Paris : PUF, 1977.

La formation des maîtres suppose des documents. Les manuels de didactique des sciences expérimentales qui visent à les rendre accessibles sont édités de façon courante à l'étranger. Notre choix sera arbitraire :

78. J. SCHWAB et P. BRANDWEIN.- *The teaching of science*.- Cambridge :

Harward University Press, 1963.

79. W. KUHN.- *Methodik und Didaktik des Biologieunterrichts*.- München : P. List Verlag, 1971.

80. G. DIETRICH éd.- *Methodik Biologieunterricht*.- Berlin : Volk und Wissen, 1976.

- IV -

Procédures d'évaluation

On peut distinguer deux familles de problèmes :

- Quels instruments permettent d'évaluer effectivement les différents objectifs qui définissent la formation scientifique ?
- Comment peut-on adapter les modalités de l'évaluation (choix des instruments, conception des procédures, exploitation des données) à la fonction précise que doit remplir celle-ci ?

a) Les instruments de l'évaluation : épreuves et grilles d'observation

• LES ÉPREUVES

L'évaluation a d'abord été réalisée sous forme d'épreuves ; les recherches sur les tests ont contribué à leur donner plus de rigueur. Mais on a établi progressivement que leur emploi était justiciable de nombreuses critiques.

D'une part les tests classiques ne permettaient pas d'évaluer des objectifs considérés comme prioritaires par de nombreux didacticiens des sciences, les objectifs d'attitude et de méthode. La pseudo-scientificité de l'évaluation contribuerait à masquer d'avantage cette lacune. D'autre part leur réalisation sous forme papier crayon court-circuitait l'action sur les objets qui constitue un aspect essentiel de la démarche scientifique. De ce fait l'évaluation de l'objectif recherché pouvait être faussée pour de multiples raisons : on était amené à évaluer souvent un simple conditionnement verbal et la maîtrise de la langue écrite était parfois le facteur décisif de la réussite de l'épreuve ; la réponse à une question ponctuelle et imposée ne permet pas de savoir si l'élève a saisi la signification fonctionnelle de la compétence globale qui est relative au comportement évalué et par suite la s'il est capable de réinvestir son apprentissage. On tend à introduire des épreuves qui se rapprochent davantage des activités scientifiques : questionnement portant sur un support exigeant un contact avec les objets, exercice comportant une expérimentation effective. Ces épreuves permettent par ailleurs de vérifier la maîtrise des techniques.

La source de documentation la plus importante sur les instruments et procédures d'évaluation en sciences est constituée par la série *Science in School* éditée par W. HARLEM.

81. W. HARLEM ed.- *Science in School : Age 11*.- London : HMSO.- Report 1 : 1981, Report 2 : 1983, Report 3 : 1983, Report 4 : 1984.

82. W. HARLEM ed.- *Science in School : Age 13*.- London : HMSO.

83. W. Harlem ed.- *Science in School: Age 15*.- London : HMSO.

Deux ouvrages déjà cités apportent aussi une documentation importante sur les instruments d'évaluation en sciences :

27. J. KLOPFER.- *L'évaluation des apprentissages en sciences*.

49. *New trends in integrated science teaching : 4. Evaluation*.

• LES GRILLES D'OBSERVATION

Le souci de rigueur a conduit à négliger pendant longtemps une procédure d'évaluation pratiquée spontanément par les maîtres : l'observation de l'activité de l'élève. Elle est réalisable en sciences au cours des travaux pratiques où le travail de groupe et le travail autonome jouent un grand rôle. Le maître n'observe pas seulement le produit de l'action mais la manière dont les enfants opèrent. Les grilles d'observation visent à préciser et objectiver les indicateurs susceptibles d'être repérés par le maître. Elles ne permettent pas de classer et de noter les élèves ; mais elles permettent de déceler les causes d'échec individuel et constituent le moyen le plus simple pour évaluer l'évolution des attitudes et les capacités faisant intervenir la pensée divergente. Pour être utilisables ces grilles doivent d'ailleurs être repensées par les maîtres. Les deux ouvrages ci-dessous donnent des indications sur la construction et l'utilisation des grilles d'observation :

84. W. HARLEM.- *Match and Mismatch*. Vol. 1 : *Raising questions* (déjà cité). Vol. 2 : *Finding answers*.- 1976.

70. "Activités d'éveil scientifiques : éléments d'évaluation". *Recherches pédagogiques*, n° déjà cité.

b) Les modèles de l'évaluation suivant la fonction recherchée

Il importe d'adapter les procédures d'évaluation à la finalité recherchée et de suivre de près les conditions de mise en oeuvre si l'on veut éviter de mettre l'évaluation au service d'une sélection par l'échec.

• L'évaluation *sommative* de l'élève en vue de la notation (examens et classements) constitue la fonction la plus banale. Mais sa mise au point a exigé de nombreuses recherches pour arriver à des banques d'épreuves équivalentes donnant des résultats reproductibles. On tend parfois à les compléter par des procédures d'évaluation d'un projet réalisé par l'élève (Nuffield A Level : 10 % de la note).

• L'évaluation *formative* de l'élève vise d'abord à favoriser la relation individualisée ; elle permet aussi au maître de réguler sa pédagogie. La recherche suivante fournit des indications détaillées sur les procédures d'évaluation formative en sciences :

85. G. COLLET-EMARD, A. KERLAN, Ch. ROSSI.- *Evaluation formative et activités d'éveil scientifiques*.- Vesoul : Ecole Normale. Recherche ministérielle n° 14 (Direction des Ecoles).-

L'évaluation formative peut être prolongée par l'auto-évaluation qui facilite la prise en charge de l'élève par lui-même. Les documents ci-dessous peuvent être utilisés :

86. J.P. ASTOLFI et al.- *Fichier d'auto-évaluation en biologie*, classes de 6e et 5e.- Marly-le-Roi : CES. (Epuisé).

87. M.M. RAFFIN, B. GRANGE.- *Développer l'évaluation formative en sciences physiques.*- Lyon : CEPEC. (1, rue de l'Abbé Papon, 67005 Lyon).

• *Evaluation d'un échantillon national en vue de connaître le fonctionnement du système éducatif*

Il ne s'agit pas de juger le niveau individuel d'un élève ou d'une classe mais de cerner les variables pédagogiques et institutionnelles qui déterminent leurs performances : adaptation des programmes, impact de la formation des maîtres, de l'équipement, des effectifs..., effet des recouvrements, impact des facteurs sociaux etc. Les épreuves sont habituellement complétées par des questionnaires adressés aux maîtres et des enquêtes sur le terrain. De nombreux pays ont entrepris cette recherche ; on peut signaler :

81, 82, 83. déjà cités. Les recherches portant sur l'échantillon national de Grande-Bretagne fournissent une mine d'informations sur les problèmes d'évaluation.

88. L. C. COMBES, J. KEEVES.- *Science education in 19 countries : an empirical study.*- Stockholm : Almgvist and Wiksell, 1973. (International studies in evaluation ; 1.) Cette évaluation porte sur les classes terminales du 2e degré.

89. MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE.- *Evaluation de l'enseignement dans les collèges : Sciences physiques.* - Paris : Ministère de l'éducation, 1982. (Études et documents.)

90. MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE.- *Evaluation de l'enseignement dans les collèges : Sciences naturelles.* - Paris : Ministère de l'Éducation Nationale, 1982. (Études et documents.)

91. MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE.- *Evaluation de l'enseignement à l'école élémentaire : CM2.*- Paris : Ministère de l'Éducation Nationale, 1984.

Ces trois documents comportent aussi des informations sur la pédagogie des maîtres et leurs représentations. Ils peuvent être utilisés dans les activités de formation.

• *Étude de l'impact des styles pédagogiques des maîtres sur les résultats des élèves.*

Le style pédagogique des maîtres est défini à partir de questionnaires ou d'observations de classe ; les résultats des élèves par des épreuves et des grilles d'observation. Ces études ne permettent pas d'établir la supériorité d'un modèle pédagogique (en particulier à cause des incertitudes sur les objectifs à évaluer) mais elles permettent de contredire certains jugements naïfs sur la dégradation de l'enseignement et le laisser-aller des maîtres ou sur l'efficacité d'une pédagogie de l'imposition. L'ouvrage suivant permet d'illustrer cette procédure :

92. EGGLESTON, GALTON, JONES.- *Processes and products of science teaching.*- London : MacMillan, 1976.

Victor HOST