

# LE DEVELOPPEMENT DE PROGRAMMES<sup>1</sup> DANS L'ENSEIGNEMENT DE LA PHYSIQUE

*P.L. Lijnse, Centre for Science and Mathematics Education, Université d'Utrecht, Pays Bas*

## Introduction

Dans la préface de son célèbre ouvrage "The Process of Education" (1960), le psychologue Bruner a écrit sur "la conviction d'être au début d'une période de nouveaux progrès et d'intérêts concernant la création de programmes et de méthodes d'enseignement scientifique. Il considère qu'une évaluation de ces progrès et intérêts peuvent permettre de mieux guider les développements futurs.

A cette époque, un optimisme semblable se répand dans les autres pays, conduisant à la vague bien connue des programmes des années soixante et soixante-dix qui a inondé le monde de l'éducation scientifique. Aujourd'hui, 35 ans plus tard, il apparaît opportun de regarder cette période passée, et de nous demander quels sont les progrès résultants de ce développement des programmes et des recherches associées.

Pour guider cette réflexion, il peut être instructif de regarder plus en détail ce qui a été considéré comme les principaux problèmes et perspectives en 1960. Résumons tout d'abord brièvement quelques-unes des principales conclusions de Bruner.

En ce qui concerne "l'importance de la structure" il a été énoncé que : "... pour un sujet donné, le programme devrait être déterminé par les notions les plus fondamentales qui émanent des principes sous-jacents structurant le sujet en question. Enseigner des thèmes spécifiques ou des compétences, sans clarifier leur contexte dans la structure fondamentale plus large du domaine de connaissances, s'avère peu rentable à plusieurs titres. En premier lieu, un tel enseignement rend excessivement difficile à l'étudiant la généralisation de ce qu'il a appris à ce qu'il abordera plus tard. En deuxième lieu, l'apprentissage qui n'est pas parvenu à atteindre les principes généraux a peu de chances d'amener à un intérêt intellectuel (...). Troisièmement, les connaissances acquises, sans les structures suffisantes pour être mises en relation, seront plus facilement oubliées."

Pour autant que les choix des contenus sont concernés, cette idée d'insister sur la "structure de la discipline" semble assez bien correspondre à ce que les physiciens théoriciens estiment habituellement important dans l'enseignement de leur domaine. Bruner a ajouté néanmoins une argumentation psychologique à cette proposition de base.

Concernant un second thème, la "disposition à apprendre", Bruner avance sa célèbre et très controversée hypothèse selon laquelle il est possible d'enseigner de manière efficace n'importe quel domaine sous une forme intellectuellement honnête à n'importe quel enfant, à n'importe quel stade du développement. On considère que cette hypothèse met en jeu trois aspects : le processus du développement intellectuel de l'enfant, l'acte d'apprentissage (en particulier l'acte de "découverte") et la notion de "programme en spirale". Depuis lors, ces aspects ont reçu une attention considérable dans le développement de programmes, comme nous allons le constater.

Un troisième thème de Bruner est relatif au fait que "dans beaucoup d'apprentissages à l'école et dans les examens, l'accent est mis sur les formulations explicites, sur les capacités des élèves à reproduire des formules littérales ou numériques. En l'absence de recherche, il n'est pas évident que cet accent soit défavorable au développement ultérieur d'une bonne compréhension intuitive, de plus ce que constitue une compréhension intuitive n'est pas clair non plus."

Il énonce que "normalement, la pensée intuitive repose sur la familiarité avec le domaine de connaissances en jeu et avec sa structure". Quoiqu'il en soit, "la complémentarité de la nature

intuitive et analytique de la pensée devrait être reconnue", et en particulier "le formalisme de l'apprentissage scolaire a en quelque sorte dévalué l'intuition".

Alors, que faire de cela ? "Est-ce que l'enseignement de certaines procédures heuristiques pourrait favoriser la pensée intuitive ? Par exemple, est-ce que l'on devrait explicitement enseigner aux élèves que "lorsque vous ne parvenez pas à voir comment traiter le problème, essayez simplement de penser à un problème similaire plus simple ; utilisez ensuite la méthode employée pour résoudre le problème plus simple comme un plan pour résoudre le problème plus compliqué ?". Dans ces assertions, on peut voir une préfiguration du virage cognitif que la psychologie a pris depuis les années soixante, et qui a beaucoup influencé la recherche en didactique de la physique.

Pour introduire le quatrième thème, l'auteur affirme que "en évaluant ce qui doit être fait pour améliorer l'état de l'art des programmes, nous sommes inévitablement amenés à discuter de la nature des motivations dans l'apprentissage et des objectifs que l'on peut espérer atteindre en éduquant la jeunesse". Cette discussion est pertinente pour tous les niveaux en jeu, depuis le professeur comme individu et l'élève en classe de physique jusqu'au rôle général de l'enseignement de la physique dans la société. Ainsi, ce thème demandera toujours une attention particulière.

Finalement, en ce qui concerne les "aides à l'enseignement", la conclusion est que "la tâche de l'enseignant comme quelqu'un qui communique, qui est un modèle et une figure d'identification peut être facilitée par l'utilisation d'une grande variété de moyens qui renforcent l'expérience, la clarifie, et lui donne sa signification personnelle". Lorsque nous comparons l'ordinateur personnel avec la "machine à enseigner" des années soixante, nous pouvons voir combien ce thème, depuis que Bruner a écrit ce livre, a acquis une signification complètement nouvelle dans l'enseignement de la physique.

Il est frappant de se rendre compte combien ce qui a été présenté ci-dessus s'applique toujours de nos jours. Dans le développement de programmes de physique et dans les recherches sur l'enseignement de la physique, on se débat toujours avec ces mêmes difficultés. Néanmoins, dans les 35 dernières années, beaucoup de travail a été fait. La plupart des progrès qui ont été réalisés, si on peut les appeler ainsi, devraient apparaître à la lecture de ce livre.

Dans ce chapitre, je me restreindrai aux principales expériences relatives au développement de programmes de physique (tels que je les considère). De nombreuses questions peuvent émerger. Par exemple, est-ce que nous enseignons aujourd'hui (ou toujours ?) la structure des disciplines, comme Bruner le préconise ? Est-ce que les programmes de physique sont adaptés au développement intellectuel des enfants, et si c'est le cas, de quelle manière ? Est-ce que l'apprentissage par la découverte est toujours sur la liste des stratégies d'enseignement courantes en physique ? Quels sont les buts et objectifs que nous visons aujourd'hui, et comment abordons-nous le problème de la motivation pour apprendre ?

En traitant certaines de ces questions, je structurerai ma description selon trois fils directeurs : les buts et les contenus, l'enseignement et l'apprentissage, et les types de développement et d'application des programmes.

Comme nous le savons tous, l'enseignement de la physique n'est pas une constante mais une variable. Il change en relation directe avec les développements de la société dont il fait partie, avec les évolutions des points de vue de la société sur l'éducation et les sciences et avec les évolutions de la physique et de la technologie elles-mêmes (Lijnse, 1983). Après l'écriture de manuels scolaires traditionnels, le développement professionnel de programmes est apparu comme un moyen pour adapter l'enseignement à ces changements perpétuels. Même si cela n'est pas habituellement considéré comme étant une recherche en soi, cela a incité au développement de nombreuses recherches (Fensham, 1994).

## Buts et contenus

### "La structure de la discipline"

Le premier grand projet, le cours de physique PSSC, tout d'abord destiné aux élèves d'un niveau scolaire suffisant pour accéder à l'enseignement supérieur (French, 1986), a eu une influence internationale considérable (PSSC 1960). Comme Matthews (1994) le décrit : "son intention était de se centrer sur la structure conceptuelle de la physique, et d'enseigner le sujet comme une discipline : les applications étaient presque totalement absentes du texte. La pression de l'air par exemple n'est pas mentionnée dans l'index, elle est traitée dans le chapitre sur "la nature des gaz", et le chapitre se déroule entièrement sans citer les baromètres ou les machines à vapeur, le premier faisant son apparition dans les notes du chapitre". Le type d'enseignement du PSSC inclut un grand nombre d'expériences, reflétant l'objectif que l'élève soit "un scientifique pour la journée". Cette dernière caractéristique semble s'appliquer encore plus au projet anglais Nuffield-Physics également très influent (O-level, de 11 à 16 ans ; A-level, de 16 à 18 ans). Ces projets, de manières différentes, sont généralement centrés sur la structure disciplinaire de base (Ogborn, 1978). Comme Rogers (1966), qui a été à l'origine du Nuffield de physique pour le O-level, l'indique : "Et pour les choses que l'on enseigne vraiment, nous devrions choisir des sujets aux utilisations variées. Je ne veux pas parler des applications pratiques, mais des liens avec les autres parties de la physique. La science devrait apparaître à nos élèves comme une structure croissante de savoirs, dans laquelle un fragment qui a été appris réagit avec les autres fragments pour construire un savoir plus complet".

Le projet pour le O-level visait à "enseigner pour comprendre" et à "une physique pour tous" ("un cours approprié l'éducation générale de l'homme ou de la femme"). Ultérieurement cependant, on a pris conscience que ces programmes n'étaient pas vraiment adaptés à "la physique pour tous", mais qu'ils convenaient mieux aux élèves les plus doués des filières scientifiques. Ainsi, la rationalité de tels programmes était mieux décrite par l'un des propres titres de Rogers "la physique pour les esprits curieux".

Un des aspects particuliers de ces programmes est qu'ils ont également joué un rôle exemplaire dans leur manière d'aborder le problème de la mise à jour de l'enseignement de la physique d'un point de vue disciplinaire, et plus particulièrement en relation avec le problème de l'enseignement de la "physique moderne". French décrit quelques-uns des principaux choix du PSSC de la manière suivante : "On insistera sur les caractéristiques les plus fondamentales et universelles de la description de la nature par le physicien, tels que le domaine des ordres de grandeur et des effets de changement d'échelle. Il devrait y avoir un thème unificateur dans la présentation d'un sujet, celui de la description atomique et particulière de l'univers. De même, dans l'intérêt de parvenir à des traitements en profondeur, des domaines substantiels de l'enseignement traditionnel (comme le son) seront omis". Et, comme le disent les développeurs du projet Nuffield A-level : "une de nos décisions de base a été de sacrifier de larges champs de connaissances avec l'idée de mieux comprendre un champ plus limité". En fait, en suivant ce principe, ils sont parvenus à réellement développer des introductions à des sujets tels que la physique quantique, la mécanique statistique et l'électronique (à un niveau "avancé").

En dépit de la considérable influence internationale de ces projets, et bien que des innovations similaires aient été tentées par de nombreux pays (GIREP, 1973 ; Aubrecht, 1987 ; Fischler, 1993), on ne peut pas encore conclure. Je pense qu'au niveau de l'enseignement secondaire, le problème didactique du pourquoi, quoi et comment inclure la physique moderne de base n'a pas été résolu de manière satisfaisante. D'autant plus que, du fait des évolutions rapides de la physique, nous n'avons pas à traiter seulement des idées de base sur la physique quantique et la relativité. D'autres nouveaux sujets viennent frapper à la porte des programmes, comme la théorie des chaos, la physique de la matière condensée, la physique computationnelle, la physique des hautes énergies, et la cosmologie (GIREP 1995, 1993, 1991, etc.). En fait, cette évolution rapide conduit les programmes de physique à subir une pression continue, avec un risque réel de devenir de plus en plus surchargés. A cet égard, en raison de sa nature fortement hiérarchique, la structure de la physique peut être considérée non pas seulement comme un guide pour les programmes, mais aussi dans une certaine mesure comme un obstacle,

puisqu'elle donne souvent plus d'indices sur ce qui doit être intégré que sur ce qui doit être laissé de côté.

Ainsi, il ne semble pas exister de consensus sur la manière de traiter cette pression sur les programmes. A la vue du temps nécessaire pour atteindre la compréhension, Arons (1990), par exemple, a toujours choisi d'accepter quelque chose telle que l'atome de Bohr comme un point final utile pour un cours introductif de physique. "Ce qui me paraît faisable et hautement souhaitable dans un cours introductif de physique est de parvenir à ce qui a été compris au début du vingtième siècle : les électrons, les photons, les noyaux, la structure atomique et (peut-être) les premiers aspects qualitatifs de la relativité". Même pour cela, des choix très difficiles doivent être faits : "Pour réussir cela, il est impossible d'inclure tous les sujets traités habituellement dans les cours introductifs de physique. On doit laisser des lacunes, même si cela peut paraître douloureux. Comment décider de ce qui ne doit pas être pris en compte ? Un des moyens puissants, à ma connaissance, est de définir ce que j'appelle "le fil conducteur de l'histoire"<sup>11</sup>". Si l'on souhaite, disons parvenir à l'atome de Bohr, on doit identifier les concepts fondamentaux et les sujets des domaines de la mécanique, de l'électricité et du magnétisme qui permettront de comprendre les expériences et les raisonnements qui définissent l'électron, le noyau atomique et le proton. Le fil conducteur de l'histoire choisi permettra de développer les étayages nécessaires et laissera de côté les sujets non nécessaires à la compréhension du point visé. Pour les élèves poursuivant des études de physique, ces lacunes devront être reconnues, acceptées, gardées en mémoire et comblées dans des cours ultérieurs".

A mon avis, le problème du comment un programmes de physique comme un tout comportant un ensemble de fils conducteurs fortement liés et qu'on déroule peu à peu, nécessite désormais une attention renouvelée (Ogborn, 1978). En d'autres termes, nous devons une fois de plus nous demander comment la structure de la physique (au sens large) peut être agencée dans une structure de programme que l'on peut plus aisément enseigner (de Vos et al., 1994).

### **Un processus et des processus**

Dans les projets mentionnés ci-dessus, l'attention portait essentiellement sur le "processus de la physique" et sur le fait de laisser les élèves expérimenter le "processus de la découverte (ou de l'investigation)". Dans le manuel du PSSC "la physique est présentée non comme un simple ensemble de faits mais plus fondamentalement comme un processus continu par lequel les hommes cherchent à comprendre la nature du monde physique".

Mais les élèves ne doivent pas seulement apprendre un processus que d'autres, en particulier les "grands" physiciens, ont parcouru, ils doivent également faire eux-mêmes l'expérience de ce processus. Pour citer encore une fois Rogers (1966) : "les travaux pratiques sont essentiels non seulement pour apprendre le contenu effectif, mais aussi pour que les élèves puissent construire un rapport personnel au travail scientifique, avec ses joies et ses peines. Ils ont besoin d'être confrontés à leurs propres difficultés comme n'importe lequel des scientifiques professionnels et de goûter à leurs propres succès, pour que la relation du savoir scientifique à l'expérimentation soit quelque chose qu'ils comprennent".

Ainsi, on pourrait dire que cette insistance sur les processus était justifiée en premier lieu pour des raisons internes. C'est une partie de la compréhension de la physique de connaître comment le savoir est produit et comment il se développe. Et comme la physique est une science empirique, on considère qu'une partie inhérente à la physique est d'apprendre la nature en découvrant, en faisant des hypothèses, en testant et en expérimentant par soi-même, c'est-à-dire que les élèves apprennent la physique en faisant de la physique. Depuis, l'utilisation des travaux pratiques dans l'enseignement de la physique s'est considérablement accrue et est devenue une partie intégrante de beaucoup de programmes et de manuels. Cette tendance s'est tellement développée que l'apprentissage des savoir-faire expérimentaux semble parfois devenir un but en lui-même, presque sans relation avec le but de l'expérimentation, c'est-à-dire le développement de nouvelles connaissances (Woolnough and Allsop, 1985 ; Woolnough, 1989 ; Wellington 1989 ; Hegarty-Hazel, 1990 ; Hodson, 1993).

A partir des recherches sur l'apprentissage de la physique, il est également devenu évident que l'idée originelle de l'apprentissage par la découverte était quelque peu trop naïve (Driver, 1983). D'un autre côté, l'apprentissage de la physique par l'action a de nos jours acquis une dimension supplémentaire en raison des possibilités de modélisation de "mondes artificiels" qui ont vu le jour grâce aux moyens informatiques (Mellar et al., 1994).

Retournant à l'histoire, un autre projet américain, qui a reçu une grande reconnaissance internationale, le Harvard Project Physics (1970), s'est centré sur le processus interne de la physique et s'est placé dans une perspective intellectuelle beaucoup plus large puisque les influences externes étaient également prises en compte. Selon les célèbres mots de Rabi : "Je propose d'enseigner la science quel que soit le niveau, du plus faible au plus élevé, de manière humaniste. Elle devra être enseignée dans un processus de compréhension historique, avec une appréhension des aspects sociaux et humains au sens de la biographie, de la nature des gens ayant participé à cette construction, des triomphes, des essais, des tribulations". Par cette insistance particulière, ce projet espérait attirer un plus grand nombre d'élèves (et particulièrement des filles). Du point de vue du physicien, ce projet développe une fois encore des matériaux d'enseignement extraordinaires. Toutefois, ce projet n'a pas réussi de manière significative à attirer plus d'élèves (French, 1986) : pendant longtemps, son approche historique et philosophique a semblé n'être adoptée que par un petit nombre d'enseignants. C'est seulement récemment que ce programme, centré sur l'histoire et la philosophie, a acquis une nouvelle impulsion (Matthews, 1994). La nature de la physique, et plus particulièrement ces aspects historiques, épistémologiques et méthodologiques, est actuellement peu à peu intégrée comme une partie normale des programmes de physique (Aikenhead, 1991 ; Solomon, 1991). En Angleterre, cela a même été inclus dans le programme national préconisé, pendant que, par exemple, aux Pays-Bas, un nouveau programme prenant largement en compte cette perspective est développé pour le "*general science*" (*l'enseignement général scientifique*)".

Historiquement, cette perspective plus générale signifiait que l'accent était (partiellement) déplacé d'un enseignement à partir d'investigations vers un enseignement sur l'investigation. Un changement encore plus radical, à mon avis, ressort de ce que Shulman et Tamir (1973) ont appelé l'enseignement de l'investigation. Cette étape a été franchie dans une troisième approche influente, développée par le *U.S. project SAPA*, qui signifie *Science A Process Approach* (La science, une approche en terme de processus). Dans les termes du psychologue Gagné, ce projet "rejette l'idée d'une "approche par les contenus" de l'apprentissage de faits spécifiques ou de principes relatifs à une science quelconque ou à un ensemble de sciences. En revanche, l'approche SAPA s'appuie sur l'idée de faire apprendre aux enfants des savoir-faire, relatifs aux processus, généralisables qui correspondent à des comportements spécifiques, mais qui portent en eux la promesse d'une grande possibilité de transfert vers d'autres sujets".

Le comportement scientifique a été analysé dans les termes de son constituant le plus simple, "les savoir-faire scientifiques relatifs au processus" estimés comme pouvant faire l'objet d'un apprentissage et d'un enseignement en tant que tels, comme : observer, classifier, mesurer, communiquer, faire des inférences. Depuis, le débat concernant l'insistance sur le savoir scientifique et/ou sur les processus scientifiques se poursuit (Millar et Driver, 1987). De nos jours plus que jamais, il s'agit d'un débat d'actualité du fait que beaucoup de psychologues cognitifs prônent l'apprentissage de "savoir-faire généraux" encore plus vastes (et non plus seulement des savoir-faire scientifiques, voir ci-dessous), non seulement comme un but en lui-même, mais aussi, comme l'a déjà proposé Gagné, comme le moyen approprié de faire face à la menace déjà mentionnée de "l'éléphantiasis" des programmes.

### **Elargissement des buts**

Comme cela a déjà été indiqué ci-dessus, les programmes qui se sont centrés sur la physique en tant que discipline sont apparus, à la fois dans leur raisonnement et dans leurs exigences cognitives (voir ci-dessous), comme étant plus adaptés aux élèves dotés d'un intérêt pour la science qu'à "la physique pour tous". Cela implique des carences dans les programmes pour les

élèves les moins forts et ceux qui sont les moins intéressés par la science. Pour ces derniers, une science (plus) intégrée et les projets de technologie ont été développés (voir par exemple Brown, 1977). Ceux-ci peuvent être interprétés, dans l'esprit de cette période, comme le passage d'un point de vue centré sur la discipline à un point de vue centré sur l'éducation de l'élève. Un des principaux arguments sous-jacents à la science intégrée était que la séparation entre disciplines distinctes ne coïncide pas avec la façon dont les élèves expérimentent le monde (toutefois, comme Black (1985) l'a défendu, les élèves n'expérimentent pas non plus le monde à la manière dont le présente une science intégrée). De ce fait, la science intégrée a été mise en application dans de nombreux pays, même si certains semblent être revenus à une science coordonnée. D'autres pays ont résisté à cette tendance et n'ont pas du tout adopté cette approche.

Les premiers projets technologiques ont principalement été développés comme des activités supplémentaires aux programmes de physique, reflétant une vue de la technologie comme une application de la physique (par exemple, Schools Councils, 1975). A présent, cette vue de la technologie n'est plus considérée comme adéquate, ce qui entraîne une émancipation graduelle de la technologie tendant à devenir une matière à part de l'école (Layton, 1993).

Dans les années soixante-dix, une autre tendance a été développée peu à peu jusqu'à ce qui est aujourd'hui appelé STS (voir par exemple Solomon et Aikenhead, 1994), cet acronyme peut être rattaché à un nombre considérable d'approches différentes. Une d'entre elles concerne la réflexion explicite sur la relation entre science, technologie et société (par exemple, le projet de l'English Science Society (SiS), insistant sur les implications et les questions d'ordre social). Une autre approche donne plus d'importance à la pertinence des contenus pour les élèves, en enseignant la science de la vie quotidienne et les sujets relatifs à ce contexte (par exemple, le projet Dutch PLON pour la physique ; Satis, 1992). De manière générale, les deux approches sont connues comme "la science pour le citoyen" et "la science pour l'action", ou la science (ou physique) contextualisée.

Le projet SiS est un exemple dans lequel la dimension sociale est traitée comme un ajout au programme traditionnel. Dans le projet PLON en revanche, la prise en compte des aspects sociaux des contenus scientifiques, "la physique du consommateur" et d'autres contextes pertinents pour l'élève sont intégrés dans le programme de physique lui-même. Si, cependant les limites du programme sont telles que la physique garde son identité comme physique "correcte", une telle approche peut donner naissance à une tension considérable entre les savoirs qui semblent pertinents pour le contexte choisi et ceux qui seraient nécessaire d'inclure dans la perspective de la physique. En d'autres termes, un équilibre doit être recherché entre la "structure de la physique" et la structure des contextes (Lijnse et al., 1990).

Toutefois, les deux approches impliquent un élargissement des objectifs traditionnels (Fensham, 1988), toujours en lien avec l'idée d'une "science pour tous", même si, dans ce contexte, cette expression est à interpréter de manière différente que précédemment. En rapport avec cet élargissement, dans les années quatre-vingt, de nouveaux thèmes comme l'éducation à l'environnement et la technologie de l'information doivent trouver leur place dans les programmes. Le fait que ces thèmes soient enseignés au sein de l'enseignement traditionnel de physique ou comme des sujets à part a été et est toujours matière à discussion.

De nouveaux problèmes émergent aussi d'un point de vue social, comme par exemple l'adaptation de l'enseignement de la physique aux besoins des filles (Bentley and Watts, 1986) et aux besoins d'une société pluri-culturelle (Reiss, 1993). En fait, dans quelle mesure pouvons-nous élargir nos objectifs en restant toujours dans les limites de l'enseignement de la physique ? Ou peut-être serait-il plus judicieux de supprimer la physique des emplois du temps scolaires ?

Ceci est également en relation avec une autre tendance qui attire aujourd'hui une grande attention, le nouvel accent sur la culture scientifique et technologique de base pour tous, incluant des moyens extra scolaires d'éducation pour tous les publics.

Quoiqu'il en soit, suite à cette tendance à l'élargissement (l'esprit de la fin des années 70 et du début des années 80), nous voyons se dessiner une nouvelle tendance se centrant moins sur la physique pour le "citoyen", et plus sur l'utilité de la physique dans l'éducation d'une main d'oeuvre hautement qualifiée (dans l'esprit de la fin des années 80 et des années 90). Les qualifications professionnelles sont formulées et l'enseignement de la physique est requis pour contribuer à l'acquisition des qualifications. En conséquence, on remarque encore un changement dans les discussions sur les programmes, caractérisé par le passage d'une attention centrée sur l'élève et sur la pertinence à une attention centrée sur le "client" et sur la réalisation, même avec des égards particuliers pour les enfants doués. Cette tendance peut conduire à une pression réduisant les contenus des programmes de physique à son "noyau dur" (décrit de manière préférentielle en objectifs d'acquisitions qui peuvent être évaluées régulièrement). Toutefois, le contenu de ce "noyau dur" n'est plus autant décidé par les physiciens théoriques "purs" ou par les enseignants de physique (comme cela était le cas dans le passé), mais par ceux qui constituent le "marché" pour lequel nous éduquons nos élèves (comme les employeurs et les instituts d'enseignement supérieur).

Ceci est un survol très bref et très subjectif de quarante années de discussions concernant les objectifs et les contenus des programmes. Que pouvons-nous conclure de cette description ? Apparemment, l'enseignement de la physique a subi, et subit encore aujourd'hui, un flux continu d'innovations conçues "par le haut". Une première conclusion évidente pourrait être que, dans des sociétés en perpétuelle évolution avec des points de vue variables sur l'éducation, des thèmes similaires émergent par vagues régulières, pour autant que les buts et les contenus sont concernés. Devons-nous néanmoins conclure que l'enseignement de la physique se situe dans un mouvement ascendant en spirale qu'on peut appeler d'une certaine manière "progrès" (comme l'espérait Bruner) ? Ou devons-nous conclure que l'enseignement de la physique tourne en rond, presque comme un serpent mordant régulièrement sa queue ? Ou est-ce que cette question du progrès se situe simplement dans la "catégorie des erreurs", comme feu le professeur de mathématiques Freudenthal (1990) l'indiquait : "Une fois, lors d'une interview, on m'a demandé si je pensais que ces tentatives d'innovations avaient amélioré l'enseignement, j'ai hésité un instant, et j'ai dit qu'en fait ce n'était pas une bonne question. Les flashes de l'enseignement, pris à des moments différents dans l'histoire, ne sont pas comparables. A une période donnée, chaque société possède l'enseignement qu'elle désire, dont elle a besoin, dont elle a les moyens, qu'elle mérite et qu'elle est capable de donner. L'innovation ne peut pas produire plus d'effets qu'adapter l'enseignement à la société en évolution, ou au mieux, elle peut essayer d'anticiper ses évolutions. Cela est déjà assez difficile". Avant d'aller un peu plus avant dans cette question, regardons tout d'abord les considérations sur les programmes qui résultent des recherches sur l'enseignement (de la physique) et sur l'apprentissage.

## Enseignement et apprentissage

### Béhaviorisme et "Piagétianisme"

Dans les paragraphes précédents, je ne me suis pas centré sur les manières d'enseigner et d'apprendre et sur l'influence des recherches sur cet aspect du développement des programmes. Présentons tout d'abord à grands traits ce point.

Dans les années 50 et 60, le point de vue psychologique dominant en éducation était le béhaviorisme. Il était centré sur la formulation d'objectifs et de buts de l'éducation. Il distinguait les connaissances et les savoir-faire et était organisé en hiérarchies et taxonomies d'apprentissage (Bloom, 1956). En fait, l'approche de Gagné mentionnée ci-dessus est un exemple de ce point de vue (SAPA, 1968). L'instruction programmée et les machines à enseigner ont évolué vers des systèmes d'étude adaptés au rythme de l'individu et vers des apprentissages maîtrisés (Bloom, 1971 ; White, 1979). En dépit de rapports de recherche concernant leurs mises en application réussies, ces approches ont disparu peu à peu, même si d'une certaine manière, elles sont réapparues plus récemment dans beaucoup d'enseignement assisté par ordinateur.

Selon cette position, il serait préférable de diviser le processus d'enseignement en étapes de plus en plus petites, tout en laissant la séquentialisation des contenus suivre la structure "logique" de la discipline. En ce sens, dans le béhaviorisme, le contenu des programmes n'est pas une variable et a un faible lien avec le développement de la "didactique de la physique". Sa contribution durable à l'enseignement de la physique n'a pas été spectaculaire.

Une autre position psychologique qui a eu une grande influence sur l'enseignement de la physique est le "Piagétianisme". La recommandation de Bruner citée ci-dessus, a été prise en considération sérieusement. La description de Piaget de la pensée opérationnelle concrète et formelle a été et est toujours un guide global utile dans la conception de séquences d'enseignement. Outre son influence dans de nombreux projets de programmes (dont certains ont explicitement adopté une perspective Piagetienne, comme ASEP, 1974), la théorie des stades piagetiens a donné lieu, principalement aux USA, à une profusion d'études quantitatives liant les développements cognitifs des élèves à d'autres variables quantitatives. Finalement, ce type de recherches semble avoir eu une faible influence pratique. Un emploi plus utile des stades est celui choisi par la Grande Bretagne. Il s'agissait alors d'un outil permettant d'identifier les exigences, excessivement grandes, de nombreux (et récents) programmes, ainsi que d'un moyen de les adapter aux capacités supposées des élèves en fonction de leur âge (Shayer & Adey, 1980 ; Adey & Shayer, 1994). Tout d'abord, cette recherche a joué un rôle important pour rendre "tangibile" dans quelle mesure et de quelle manière le type de programme mentionné ci-dessus de "physicien pour un jour" tend à surestimer les capacités de l'élève "quelconque". Ainsi, le Piagétianisme a permis de passer de la prise en compte du programme à enseigner comme seul point de départ du développement de ce programme à l'intégration du développement cognitif des élèves. Cela signifie que, du point de vue piagétien, le contenu des programmes est considéré comme une variable "structurelle" qui doit être séquentialisée en accord avec le "développement logique".

Plus tard, des programmes basés sur les structures piagetiennes de raisonnement ont été élaborés pour être mis en oeuvre dans des séances spécifiques au sein des programmes de science, dont le but n'était pas tellement l'amélioration de l'apprentissage des sciences au sens restreint, mais bien plus les progrès du développement cognitif de l'enfant lui-même (Adey, Shayer & Yates, 1989). Toutefois, la signification réelle et les potentialités de la théorie des stades de Piaget est toujours matière à débats (Carey, 1985). Un autre aspect du "Piagétianisme", c'est-à-dire ses fondements constructivistes (Bliss, 1995 ; Adey & Shayer, 1994) est beaucoup moins remis en question : l'idée qu'un apprenant construit essentiellement ses propres connaissances en agissant sur l'environnement. Quand cette idée a été présentée pour la première fois, cela a donné une sorte de fondement psychologique à l'aspect attractif de "l'apprentissage par la découverte" dans l'enseignement des sciences, qui se déroule selon différents modes de "cycles d'apprentissage" : exploration (tâtonnements), invention, découverte (application). Comme nous l'avons indiqué précédemment, même si l'apprentissage par la découverte au sens naïf a une fois de plus disparu, le constructivisme est toujours présent.

Il est difficile de dire en quoi le Piagétianisme a contribué durablement à la didactique. Il est frappant de constater que la théorie des stades de Piaget n'est guère mentionnée dans la littérature actuelle. Même si la plupart de la littérature était très optimiste sur sa valeur, on peut conclure que, de nos jours, la plupart des recherches sont seulement globalement influencées par la théorie des stades piagetiens. Ou peut-être devrions-nous dire que les recherches en didactique de la physique ne tentent plus actuellement de développer les potentiels de cette théorie (voir toutefois Lawson (1994) pour une nouvelle interprétation).

## **Le constructivisme**

Ce changement peut être mis en relation avec l'accroissement spectaculaire depuis la fin des années 70 de ce que j'aime appeler "le constructivisme didactique". Par l'utilisation de ce terme, je me réfère à ce qui a débuté comme un mouvement de "structure alternative", comme cela est parfois approximativement nommé. Ce mouvement peut être appréhendé comme ayant



également des racines dans les (premiers) travaux de Piaget. En fait, il s'est construit à partir de la façon dont Piaget a étudié le contenu des idées des enfants concernant des phénomènes spécifiques, mais non à partir de son analyse en termes des structures logico-mathématiques hypothétiquement sous-jacentes qui ont conduit à la théorie des stades déjà citée. Au début, ce centrage sur le raisonnement des enfants, spécifique des contenus, a conduit à de nombreux diagnostics et de rapports de recherches descriptives sur toutes les sortes d'idées et de concepts des élèves concernant des situations (Driver, Guesne & Tiberghien, 1985). Depuis, cela a été étendu aux idées des élèves sur les expériences (Carey et al., 1991), sur l'apprentissage et l'enseignement, et sur leurs épistémologies (Butler, Songer & Linn, 1991). Par la suite, il a été fait de même pour les idées et les opinions des enseignants (Tobin & al., 1990). L'évolution des conceptions des élèves et des enseignants a également été étudiée, que ce soit lors d'une série de leçons ou sur une période de plusieurs années (Driver et al., 1994).

Parallèlement à ces traditionnelles "implications pour l'enseignement", qui semble être un point final obligatoire à beaucoup trop de recherches, les études expérimentales en classe ont été et sont faites pour trouver des moyens concrets pour améliorer l'enseignement de certains sujets ou pour trouver des stratégies d'enseignement meilleures et plus générales (CLIS 1990). De telles études ont clairement montré que ce champ de recherche a des implications importantes pour le développement de programmes qui doit toujours être réalisé de façon optimale. Cela implique même un certain changement de point de vue sur ce que nous pensons des programmes. Comme Driver (1989) l'écrit : "les programmes ne sont pas ce qui doit être appris, mais une programmation de tâches d'apprentissage, de matériels et de ressources qui permettent aux élèves de construire leur modèle du monde de manière à le rendre plus proche de celui de la science à l'école" Une conséquence importante de ce point de vue est que "les programmes ne sont pas quelque chose qui peut être planifiée à priori, mais doivent être l'objet d'investigations empiriques".

Théoriquement, la position dominante dans ce paradigme est celle concernant "le constructivisme et le changement conceptuel". De nombreuses recherches ont pour objectif d'expliquer les processus de changement conceptuel en termes de processus individuel ou social, et de trouver des stratégies générales permettant que de tels changements se produisent. Une partie de ces stratégies met l'accent sur les "savoir-faire intellectuels d'ordre supérieur" et la métacognition (Baird & Mitchell, 1986). Cela reflète une adéquation forte avec la psychologie cognitive actuelle. De nombreuses discussions sur les méta-niveaux ont lieu lors de l'analyse des opinions divergentes sur le constructivisme et des notions sur les connaissances et l'épistémologie qui lui sont associées (Matthews, 1995). En soi, cela peut être très intéressant, mais je ne pense pas que cela ait (encore ?) réellement conduit à des progrès dans la pratique de l'enseignement de la physique.

A mon avis, l'importance de ce paradigme repose sur le fait que, de nos jours, l'apprentissage des contenus de la physique est devenu une variable principale dans les recherches en didactique de la physique. Les résultats de recherche ne sont plus seulement interprétés dans une perspective psychologique lointaine qui est souvent considérée par les praticiens comme quelque chose de pratiquement inutilisable, même si elle peut être pertinente. D'après mon expérience personnelle, les résultats de recherches spécifiques sur le contenu semblent avoir bien plus d'attrait pour les enseignants, les didacticiens et les développeurs de programme, du fait qu'ils interrogent précisément leur niveau intuitif d'expertise acquis dans la pratique.

Cela est encore une description très générale des recherches sur l'enseignement et l'apprentissage. Est-ce que ces recherches ont influencé la pratique, et si oui, de quelle manière ? Les théories principales ont certainement influencé les développements des programmes précédemment décrits. En écrivant sur la période précédant le début des années 80, White et Tisher (1986) concluent de la manière suivante : "l'énorme quantité d'énergie investie en recherche n'a pas permis de constater que les résultats ont des conséquences sur la pratique". Est-ce que la situation est différente depuis cette époque, ou est-il trop tôt pour porter un jugement ? Comme il l'a été dit, la vague des travaux sur les misconceptions a reçu l'attention d'une large audience de didacticiens. Elle a également eu des impacts sur la formulation des objectifs d'acquisition des programmes, en ce sens que les concepts doivent maintenant être

présentés par étapes progressives. Mon impression est que de nombreux efforts ont été faits pour faire passer le message aux enseignants (par exemple, CLIS 1990). Toutefois, quel a été le message ? Jusqu'à maintenant, les enseignants ont l'impression qu'ils ne font pas assez bien, qu'ils ne réussissent pas à faire suffisamment bien comprendre aux élèves ce qu'ils enseignent, et qu'ils devraient plus prendre en considération les conceptions des élèves. A première vue, il semble que le message soit assez négatif, ce qui permet de comprendre pourquoi les enseignants ne sont pas toujours très désireux de l'écouter. Comment pourrions-nous faire mieux ? Les stratégies générales pour le changement conceptuel ne fonctionnent pas vraiment pour les professeurs de physique tant qu'elles ne peuvent être traduites dans des pratiques concrètes. De plus, les chercheurs n'ont pas encore beaucoup à offrir à ce niveau (par exemple, Tobin & al. 1994), c'est une faiblesse dont ils ont de plus en plus conscience (Fensham, Gunstone & White, 1994). Je dirais que cela est heureux, puisque sans cela, la recherche en didactique de la physique court de nouveau un risque de stagnation après une période encourageante.

## Types de développement de programmes

### Approches basées à l'université

Dans les deux premières parties, j'ai décrit des tendances principales du développement des programmes de physique pour autant que les contenus et les objectifs sont concernés. Dans la troisième partie, j'ai fait de même pour les recherches sur l'enseignement et l'apprentissage de la physique qui avaient de plus ou moins grandes implications sur le développement de programmes. En faisant ainsi, j'ai implicitement mis le doigt sur les progrès majeurs dans les types de programmes, en lien avec les problèmes d'application des programmes et d'utilisation des résultats de recherche dans la pratique. Dans cette partie, j'élaborerai plus explicitement ce thème, ma conviction que le progrès, prévu par Bruner, est intimement lié à la manière dont nous serons capables de résoudre ces problèmes dans l'avenir.

Cependant en premier lieu, on remarquera la différence d'échelles de temps entre celle, vaste, du développement des programmes et celle de la recherche "fondamentale" sur l'enseignement et l'apprentissage. Les projets de programme doivent souvent produire dans un temps limité du matériel d'enseignement qui pourra être et sera utilisé dans les écoles. A l'opposé, les recherches sur l'enseignement et l'apprentissage visent souvent un développement de la compréhension à plus long terme qui participerait à la construction d'une théorie applicable. Une deuxième remarque concerne la mise en oeuvre des programmes qui concerne avant tout la politique de l'éducation. Par exemple, si la situation politique d'un pays est telle que le gouvernement décide d'appliquer un nouveau programme dans toutes les écoles à une date déterminée, l'application sera nécessairement couronnée de succès de manière quantitative, même si en termes de qualité la situation peut s'avérer différente. Une autre situation extrême correspond à une situation politique telle que des écoles ou même des enseignants en tant qu'individus sont libres de choisir ou non d'adopter un nouveau programme. Comme les expériences précédentes l'ont montré, l'application des programmes est alors un tout autre problème.

La plupart des premiers programmes ont été développés par des équipes de projet, auxquelles collaboraient des physiciens universitaires, des spécialistes de l'éducation et des professeurs de physique (par exemple, French, 1986 ; Raizen, 1991). Cela signifiait un changement fondamental par rapport aux méthodes traditionnelles d'écriture de manuels qui relèvent d'un ou deux auteurs, ne pratiquant pas forcément eux-mêmes la physique mais étant des professeurs expérimentés. Au moins aux Etats-Unis, un axiome fondamental était que le perfectionnement des programmes nécessitait le recrutement d'éminents scientifiques (Raizen, 1991). Ou, comme Matthews (1994) l'écrit, dans la première vague, les scientifiques ont dû "fermement tenir les rênes de la réforme des programmes, les professeurs étaient au mieux des valets d'écurie et les facultés d'éducation ont rarement dépassé les portes de l'écurie". Le projet PSSC incarnait le développement "par le haut : sa maxime était : "mettre le professeur à l'épreuve de la physique<sup>iiii</sup>". Cette description met en lumière qu'en général, l'accent portait principalement sur

la mise à jour des contenus scientifiques et que la traduction de théories générales sur l'enseignement et l'apprentissage en matériel d'enseignement et de pratique de classe a surtout résulté en un considérable "dérage" (comme le décrit Fensham), et que le rôle des enseignants était restreint à "essayer" et non à "participer". Comme l'a écrit Welch (1979) : "les scientifiques étaient généralement hésitants à accepter la critique de leur "science" de la part des enseignants de l'école à moins que des données justificatives convaincantes ne soient fournies".

Néanmoins, de tels projets hiérarchiquement organisés à partir du haut ont développé de très beaux et très originaux matériaux d'enseignement innovants, à la fois pour les élèves et les enseignants. Ces programmes ont eu une influence considérable. Par exemple, French (1986) décrit le cours PSSC comme étant caractérisé "par une originalité et une fraîcheur de l'approche". La même caractéristique s'applique à beaucoup d'autres programmes développés pendant cette période.

Une autre caractéristique principale de cette première vague est le développement basé à l'université. Les équipes de spécialistes au centre du projet ont développé des matériaux fantastiques qui devaient être mis à l'essai dans un nombre limité d'école et ultérieurement être appliqués fidèlement à une large échelle. Toutefois, probablement en raison de leur caractère innovant et du haut niveau des normes exigées, cette application n'a pas été faite comme cela était espéré. Très souvent, l'adoption d'un programme ne signifie pas nécessairement l'adoption de son esprit, ou des méthodes d'enseignement préconisées. En effet, le problème qui apparaît est celui des enseignants à l'épreuve d'un programme plutôt que celui de l'application de programmes à l'épreuve des enseignants.

Fensham remarque que, dans les années 70, les preuves s'accumulaient que beaucoup ou la plupart des espoirs et des bonnes intentions des réformateurs n'aboutiraient pas dans les écoles. Et, selon Matthews : "Maintenant, dans les années 90, alors que la réforme des sciences à l'école revient à l'ordre du jour, il est temps de savoir dans quelle mesure l'échec et la confusion étaient dues aux matériaux des programmes, ou aux inadaptations des professeurs, ou aux échecs de la mise en oeuvre et de la logistique, ou aux facteurs culturels anti-intellectuels ou anti-scientifiques, ou à un facteur résiduel de théorie d'apprentissage défectueuse et aux vues inadaptées sur la méthode scientifique en jeu dans les méthodes".

Nous ne disposons pas de suffisamment de temps pour discuter abondamment de ces facteurs. Je voudrai insister ici sur un point important. Il semblerait que le format de développement des programmes, centralisé à partir d'une équipe d'experts, même s'il paraissait à ce moment là raisonnable, conduit à sous-estimer fortement la complexité de la mise en oeuvre des programmes et en particulier le rôle que joue l'enseignant. Comme French (1986) le note : "l'ingrédient crucial pour le succès de toute innovation éducative est l'enseignant de la classe".

### **Approches basées à l'école**

Il est ainsi compréhensible qu'une approche assez différente du développement de programmes fondée sur l'école ait émergé. Il semble probable que ceci survienne en partie en réaction aux problèmes décrits ci-dessus, et en partie du fait qu'en accord avec l'esprit des années 70 et 80, les enseignants, de manière générale, s'émancipent bien plus et sont plus concernés par la physique, par l'enseignement et par l'enseignement de la physique. Comme l'écrit Egglestone (1980) dans la préface d'un ouvrage sur la situation en Grande Bretagne : "les développements de programmes basés à l'école sont devenus dans le début des années 80 la forme dominante du mouvement de ces développements. Après une dizaine d'années pendant laquelle les principaux efforts ont porté sur le projet national, nous avons été conduits à réaliser que si le changement dans les écoles était l'objectif, alors l'initiative devait également venir de l'école". Le résultat a été une réapparition progressive du développement des programmes provenant directement des besoins et de l'enthousiasme des écoles, de leurs élèves et de leurs professeurs.

Les types de développement de programmes "du bas vers le haut" ont généralement abouti à des types de matériaux relativement différents, avec des objectifs et des prétentions variés. Cette utilisation renforcée de méthodes d'enseignement que les enseignants peuvent facilement gérer donne moins d'importance au contenu scientifique de la physique et plus à sa pertinence éventuelle pour les élèves. Ces développements sont moins brillants et plus réalistes et sont en quelque sorte moins innovants et originaux, mais plus utilisables et mieux adaptables localement.

En termes de recherche, ce changement dans le modèle de développement de programmes coïncide plus ou moins avec un changement dans l'attitude de la recherche en éducation. Il s'agit de s'éloigner de la recherche théorique centrée sur le développement et les applications ultérieures des théories générales de l'éducation, et de se rapprocher de la recherche-action ce qui signifie, en premier lieu, de soutenir et d'aider les enseignants à réaliser leurs objectifs, ce qui conduit ainsi à des pratiques modèles reprises ensuite par d'autres.

Les deux modèles "idéalisés" de développement de programmes décrits précédemment ont des rôles complémentaires à jouer. Les projets basés à l'université, avec des scientifiques ou des enseignants, peuvent amener à la conception de programmes très innovants qui ne sont pas nécessairement directement applicables à une large échelle. Toutefois, leur influence à long terme peut être considérable et indispensable. Dans les développements de projets basés à l'école, l'attention est souvent donnée aux intérêts directs de l'enseignant, de telle manière que le développement devienne un mécanisme important dans l'implication des enseignants dans l'amélioration de leur propre situation d'enseignement. Ceci conduit à la mise à disposition de matériaux d'enseignement et d'expériences, en principe, assez facilement applicables. Il s'est souvent avéré qu'une partie de cette amélioration consistait en une adaptation souple de produits des projets menés à grande échelle, plus innovants, ce qui signifie que le développement de programme est à double tranchant.

### **Recherche développementale**

Toutefois, à mon avis, un troisième modèle doit également être considéré, non pas pour remplacer les deux modèles décrits jusqu'alors, mais pour remplir une autre fonction essentielle qui n'est pas satisfaite par les deux premiers. Selon moi, la nécessité de ce modèle provient de la relation explicite entre les recherches sur l'enseignement et sur l'apprentissage, et le développement de programmes, au sens où il faut réduire l'écart entre les théories sur l'éducation et la pratique des programmes. Comme nous l'avons déjà décrit, dans les projets principaux du passé, les théories générales sur l'éducation ont souvent eu une influence dans le fond ou dans la rhétorique des programmes. En fait, il ne s'agit pas d'un hasard malheureux, mais cela est lié à la nature profonde de telles théories. En vérité, le développement réel de tels programmes était bien plus fondé sur les connaissances didactiques spécifiques du contenu, sur les points de vue et les expériences des développeurs. En fait, la même chose s'applique au développement des programmes basés à l'école. La recherche-action aboutit plus souvent au niveau de l'action qu'à celui du développement de théories didactiques à fondement empirique. Ainsi les deux modèles ont donné des résultats sur des différences importantes et sur l'amélioration des pratiques d'éducation mais non sur une manière systématique, basée sur la recherche, de faire progresser les programmes.

Simultanément, le développement des recherches sur l'apprentissage et l'enseignement de la physique semble promettre que de tels progrès peuvent être atteints, à condition que l'on puisse faire en sorte que les recherches sur l'apprentissage et l'enseignement et les développements de programmes scellent leur accord sur une approche commune à long terme.

Je pense que cela pourrait être fait au mieux dans un processus plutôt pragmatique de recherche et développement à petite échelle et intimement connectés. C'est ce que j'aime appeler "recherche développementale" (Lijnse, 1995). Dans ce type de recherches, des chercheurs (physiciens et didacticiens de la physique) et des enseignants de physique collaborent étroitement sur un pied d'égalité. J'envisage un processus cyclique de réflexion théorique, d'analyse conceptuelle, de développement de programme sur une petite échelle (incluant la

formation des maîtres et le développement de tests ou contrôles) et de recherches en classe sur l'interaction du processus d'enseignement- apprentissage. La description et la justification empirique finale de ces processus liés entre eux ainsi que des activités constituent ce que nous pourrions appeler "la 'structure didactique' possible" pour un sujet considéré particulier. Une description et une justification détaillée de telles structures peuvent être données en termes de tâches d'apprentissage, de leurs relations et des actions que les élèves et les professeurs sont censés réaliser. En fait, de telles descriptions peuvent être considérées comme des théories didactiques spécifiques d'un domaine qui sont fondées sur une vue explicite de la physique et de l'enseignement de la physique (Klaassen, 1995). Une réflexion sur de telles théories pour des domaines variés peut conduire à des théories didactiques "d'un plus haut niveau". A long terme, étant donnée que la structure disciplinaire de la physique n'est pas le point de départ le plus adéquat pour la conception de l'enseignement, la recherche développementale devrait également conduire à des structures didactiques empiriques pour l'enseignement de l'intégralité de la physique. Comme Freudenthal (1991) l'indique, le terme "application des résultats" n'est pas le terme adéquat dans le cas de la recherche développementale. Cela demande bien plus un processus graduel et continu de diffusion, d'utilisation, de réflexion et de développement ultérieurs d'idées, de manière à établir des changements à tous les niveaux.

Ce troisième modèle supplémentaire de recherche développementale n'est pas une *fata morgana* théorique, mais un moyen de travailler à la fois de manière pragmatique et réfléchie, ce qui se réalise déjà, de différentes manières dans un assez grand nombre de lieux. Cela signifie en fait que le développement de programmes et la recherche en didactique sont entremêlés. L'approche CLISP (Driver & Oldham, 1987) est un exemple bien connu qui se rapproche de ce que je viens de décrire. Le projet PEEL à Melbourne a suivi un chemin identique bien qu'il ne soit pas centré sur l'enseignement d'un sujet particulier, mais sur le développement de la métacognition. Lors d'écoles d'été récentes pour les étudiants en thèse de didactique des sciences, il est ressorti que beaucoup d'activités traitaient de l'enseignement de X, où X était un sujet particulier (Lijnse, 1994, 1996 ; voir aussi Psillos et Méheut dans cet ouvrage). Aux Etats-Unis, quelques chercheurs en didactique (comme McDermott et Schaffer, 1993) semblent travailler dans des perspectives similaires.

En même temps, cette liste révèle toutefois une fragilité particulière des approches préconisées, comme l'absence de modèles ou d'exemples sur la manière de coopérer et de construire à partir de l'expérience concrète de quelqu'un d'autre. Ceci requiert de rendre disponible des descriptions détaillées de recherches et de matériaux d'enseignement, descriptions qui devront être bien plus détaillées qu'elles ne le sont habituellement dans la littérature de recherche actuelle. Est-ce que les équipements modernes, comme Internet, peuvent jouer ce rôle dans le futur ?

## Conclusion

Je finirai brièvement en résumant les paragraphes précédents dans les termes de ce que je pense être la principale conclusion. En démarrant par la description de Bruner datant de la fin des années 50, en prenant en compte les progrès escomptés dans les développements de programme, j'ai essayé de décrire les principales tendances dans ce développement pour la physique. Un travail important a été fait pour tenter de garder à jour les programmes de physiques à la fois des points de vue conceptuel et éducationnel, tâche qui ne sera jamais achevée.

En même temps, et du fait des premiers efforts pour les programmes, les recherches sur l'enseignement et l'apprentissage de la physique ont montré par le passé que la difficulté de concevoir des programmes et des enseignements a été largement sous-estimée. Ceci indique une deuxième tâche à long terme qui demandera une attention sans fin dans le futur.

Dans les deux tâches, des participants différents, les physiciens, les enseignants de physique et les chercheurs en didactique de la physique ont des rôles différents mais de même importance à

jouer. Comme je l'ai discuté, dans le passé, ces rôles ont plus ou moins conduit à trois modèles de développement de programmes, qui dans un sens sont tous aussi importants, même s'ils visent à des fonctions différentes. Pour l'avenir, la réalisation, tant attendue, des progrès des programmes espérés par Bruner, dépendra, selon moi, de la manière dont on réussira à orienter le travail dans ces différentes perspectives de façon à ce qu'elles contribuent de manière coordonnée et coopérative au développement de nouveaux programmes de physique et aux nouvelles façons d'enseigner.

## Références

- Adey, P., M. Shayer and C. Yates (1989). *Thinking Science*. London: Macmillan.
- Adey, P. and M. Shayer (1994). *Really Raising Standards*. London: Routledge.
- Aikenhead, G.S. (1991). *Logical Reasoning in Science & Technology (Student Text and Teachers Guide)*. Toronto: John Wiley.
- Arons, A.B. (1990). *A Guide to introductory physics teaching*. New York: Wiley.
- Aubrecht, G. (1987). *Quarks, Quasars and Quandaries*. Maryland: AAPT.
- Baird, J.R. & I.J. Mitchell (1986). *Improving the quality of teaching and learning: an Australian case study the PEEL project*. Melbourne: Monash University.
- Bentley, D. & D.M. Watts (1986). Courting the positive virtues: a case for feminist science. *European Journal of Science Education*, 8, 121 -134.
- Black, P. (1985). Could physics be re-admitted to the curriculum? *Physics Education*, 20, 267 -271.
- Bliss, J. (1995). Piaget and after: the Case of Learning Science. *Studies in Science Education* 25, 139 -172.
- Bloom, B.S. (1956). *Taxonomy of Educational Objectives, Handbook I: Cognitive Domain*. New York: Longman.
- Bloom, B.S. (1971). Mastery Learning and its implications for Curriculum Development. In E.W. Eisner: *Confronting Curriculum Reform*. Boston: Little, Brown and Co, 17 49.
- Brown, S.A. (1977). A review of the meanings of, and argumentation for, integrated science. *Studies in Science Education*, 4, 31 62.
- Brown, S. & D. McIntyre (1981). An Action-Research Approach to Innovation in Centralized Educational Systems. *European Journal of Science Education*, 3, 243 258.
- Bruner, J.S. (1960). *The Process of Education*, New York: Random House.
- Butler Songer, N. & M.C. Linn (1991) How Do Students' Views of Science Influence Knowledge Integration? *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 761 784.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in Childhood*, Cambridge: MIT Press.
- Carey, S., R. Evans, M. Honda, E. Jay & C. Unger (1991) 'An experiment is when you try it and see if it works': a study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge, *International Journal of Science Education*, [Missing : number, page]
- Clement, J. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of research in science teaching*, 30, 1241-1257.
- CLIS (1987). *CLIS in the classroom: approaches to teaching*. Leeds: CSSME.
- CLIS: Interactive Teaching in Science, Workshops for Training Courses (1990). ASE.
- Driver, R. (1983). *The pupil as Scientist?* Milton Keynes: O.U.P.
- Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A. (eds.) (1985). *Children's ideas in Science*, Milton Keynes: O.U.P.
- Driver, R. and V. Oldham (1986). A constructivist Approach to Curriculum Development in Science. *Studies in Science Education*, 13, 105 122.
- Driver, R. (1988) Changing Conceptions, *Tijds. Did.  $\beta$ -Wetenschappen*, 6, 161 198.
- Driver, R., J. Leach, P. Scott and C. Wood-Robinson (1994). Young people's understanding of science concepts: implications of cross-age studies for curriculum planning. *Studies in Science Education*, 24, 75 -100.
- Duit, R., F. Goldberg and H. Niedderer (Eds.) (1992). *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*. Kiel: IPN.
- Eggleston, J. (ed.) (1980). *School-based curriculum development in Britain*. London: Routledge.

- Eijkelfhof, H.M.C. & J.Kortland (1988). Broadening the aims of physics education experiences in the PLON-project. In: P.J.Fensham (ed.) *Development and Dilemmas in Science Education*, London: Falmer Press, 282-305.
- Fensham, P.J. (1988) (ed.). *Development and Dilemmas in Science Education*, London: Falmer Press.
- Fensham, P.J. (1992). "Science and Technology". In P.W.Jackson (ed.), *Handbook of Research on Curriculum*. New York: Macmillan, 789-829.
- Fensham, P., R. Gunstone and R. White (Eds.) (1994). *The Content of Science*. London: Falmer Press.
- Fischler, H. (1989) Quantenphysik in der Schule I: Tendenzen der didaktischen Diskussion und Aufgaben der Fachdidaktik, *Physica Didactica* 16, 21-33.
- Fischler H. & Lichtfeldt M. (1992) Modern physics and students' conceptions, *International Journal of Science Education*, 14, 181-190.
- French, A.P. (1986). Setting new directions in physics teaching: PSSC 30 years later. *Physics Today*, sept, 30-35.
- Freudenthal, H. (1991). *Revisiting Mathematics Education*. Dordrecht: Kluwer.
- Gabel, D. (1994) (Ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: Macmillan.
- GIREP (1973). A.Loria and P.Thomson (eds) *Seminar on the Teaching of Physics in Schools: Electricity, Magnetism and Quantum Physics*. Copenhagen: Gyldendal.
- GIREP (1986). *Cosmos: an Educational Challenge*. Noordwijk: ESTEC.
- GIREP (1991). H.Kühnelt, M.Berndt, M.Staszal and J.Turlo (Eds.) *Teaching about Reference Frames: from Copernicus to Einstein*. Torun: NCUP.
- GIREP (1993). L.Chainho Pereira, J.Alves Ferreira and H.A.Lopes (Eds.) *Light and Information*. Braga: Universidade do Minho.
- Hagerty-Hazel, E. (1990) (Ed.) *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. London: Routledge.
- Harvard Project Physics Course (1970). New York: Holt.
- Hodson, D. (1993). Re-thinking old ways: towards a more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*, 22, 85-142.
- Johnson, S. (1984). The underachievement of girls in physics: Towards explanations. *European Journal of Science Education*, 6, 399-409.
- Klaassen, C.W.J.M., (1995). *A problem posing approach to the teaching of radioactivity*. Utrecht: CD-β Press.
- Layton, D. (1992). *Technology's challenge to science education*. Buckingham: Open University Press.
- Lawson, A.E. (1994). Research on the Acquisition of Science Knowledge: Epistemological Foundations of Cognition. In D. Gabel (Ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: Macmillan, 131-177.
- Lijnse, P.L. (1983). Physikunterricht in einer sich wandelnden Gesellschaft. *Physica Didactica*, 10, 43-60.
- Lijnse, P.L., P. Licht, W. de Vos and A.J. Waarlo (Eds.) (1990a) *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic particles*. Utrecht: CD-β Press.
- Lijnse, P.L., K.Kortland, H.M.C.Eijkelfhof, D.van Genderen and H.P.Hooymayers (1990b). A Thematic Physics Curriculum: a Balance Between Contradictory Curriculum Forces, *Science Education*, 74, 95-103.
- Lijnse, P.L. (1995). 'Developmental research' as a way to an empirically based 'didactical structure' of science. *Science Education*, 79, 189-199.
- Matthews, M. (1994). *Science Teaching: the role of history and philosophy of science*. London: Routledge.
- McDermott, L.C. & P.S. Shaffer (1993). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. *American Journal of Physics*, 60, 994-1003.
- Mellar, H., J.Bliss, R.Boohan, J.Ogborn and C.Tompsett (1994). *Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modelling in the Curriculum*. London: Falmer Press.
- Millar, R. & R. Driver (1987). Beyond Processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- Nuffield O-level Physics. London: Longman.
- Nuffield Advanced Science: Physics (1971; revised version: 1986). Harlow: Longman.

- Nussbaum, J. and S. Novick (1982) Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11, 183-200.
- Physical Science Study Committee (1960). Physics. Boston: Heath & Co.
- Ogborn, J. (1978). Decisions in curriculum development a personal view. *Physics Education*, 13, 11-18.
- PLON (1986). Curriculummaterials, Utrecht University/Zeist NIB.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W., Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 2, 211-227.
- Raizen, S.A. (1991). The Reform of Science Education in the U.S.A. Déjà Vu or De Novo? *Studies in Science Education*, 19, 1-41.
- Redish, E.F. (1994). Implications of cognitive studies for teaching physics. *American Journal of Physics*, 62, 796-803.
- Reif, F. and J.H. Larkin (1991). Cognition in Scientific and Everyday Domains: Comparison and Learning Implications. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 733-760.
- Reiss, M.J. (1993). *Science Education for a Pluralist Society*. Buckingham: OUP.
- Royal Society, (1985). The Public Understanding of Science.
- Satis 8-14 (1992). Hatfield: ASE.
- Science, A Process Approach (1968). AAAS.
- Schools Council Project Technology (1975). London: Heinemann.
- Scott, P., H. Asoko, R. Driver and J. Emberton (1994). Working from children's ideas: An Analysis of constructivist teaching in the context of a Chemistry topic. In P. Fensham, R. Gunstone and R. White (Eds.) *The Content of Science*. London: Falmer Press.
- Shayer, M. & P. Adey (1981). *Towards a science of science teaching*. London: Heinemann.
- Shulman, L.S. and P. Tamir (1973). Research on Teaching in the Natural Sciences. In R.M.W. Travers (Ed.) *Second Handbook of Research on Teaching*. Chicago: Rand McNally, 1072-1097.
- Solomon, J. (1988). Science Technology and Society courses: tools for thinking about social issues. *International Journal in Science Education*, 10, 379-387.
- Solomon, J. And G. Aikenhead (Eds.) (1994) *STS Education: International perspectives on reform*. New York: Teachers College Press.
- Tobin, K., J. Butler Kahle and B.J. Fraser (1990). *Windows into Science Classrooms*. London: Falmer Press.
- Tobin, K., D.J. Tippins and A.J. Gallard (1994). Research on Instructional Strategies for Teaching Science. In D. Gabel (Ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: Macmillan.
- Vos, W. De, B. Van Berkel and A.H. Verdonk (1994). A Coherent Conceptual Structure of the Chemistry Curriculum. *Journal of Chemical Education*, 71, 743-746.
- Wellington, J. (Ed.) *Skills and processes in science education*, London: Routledge.
- White, R.T. (1979). Achievement, Mastery, Proficiency, Competence. *Studies in Science Education*, 6, 1-22.
- Woolnough, B. And T. Allsop (1985). *Practical work in science*. Cambridge: CUP.
- Woolnough, B.E. (1989). *Towards a holistic view of processes in science education*. In J. Wellington (Ed.) *Skills and processes in science education*, London: Routledge.
- Wright, E.L. (1993). *The Irrelevancy of Science Education Research: Perception or Reality?* NARST News, 35, 1-2.

---

Notes du traducteur

<sup>i</sup> "Programmes" est la traduction du mot anglais "curriculum" qui peut aussi vouloir dire séquence d'enseignement plus courte qu'un programme officiel en France

<sup>ii</sup> au sens de narration.

<sup>iii</sup> En anglais : "Make physics teacher-proof".