

POINT DE VUE d'un chercheur en didactique des sciences

La recherche-développement : une voie vers une "structure didactique" de la physique empiriquement fondée

P.L. LIJNSE

Centre for Science and Mathematics Education
Utrecht University, P.O.B. 80.008
3508 TA Utrecht, The Netherlands

(Traduit par la rédaction)

Résumé

Dans le domaine de l'éducation scientifique, un travail considérable de développement de programmes à grande échelle a été effectué au cours de ces dernières décennies, les perspectives allant d'une approche en termes de "structure de la discipline" à une approche "science, technique et société". Dans le même temps, la recherche sur les idées des élèves a attiré l'attention sur des problèmes, jusque-là sous-estimés, d'apprentissage et d'enseignement, susceptibles d'expliquer en grande partie le succès limité des efforts curriculaires dès que ceux-ci concernent des apprentissages cognitifs. Les solutions envisagées sont principalement issues de perspectives cognitives constructivistes; elles sont formulées en termes de stratégies générales d'enseignement visant un "changement conceptuel" plus ou moins contraint. De notre point de vue, une "recherche-développement" couplant de façon cyclique développements curriculaires à petite échelle et recherche approfondie en situation de classe sur les processus d'enseignement-apprentissage est nécessaire. De telles recherches devraient produire des exemples de manières d'enseigner fructueuses, en relation avec de nouvelles structures conceptuelles

des programmes. L'élaboration de telles "structures didactiques" constitue un programme de recherche à long terme, et demande des échanges et une coopération internationaux.

Mots clés : *constructivisme, structure didactique, relation théorie-pratique, recherche-développement, développement curriculaire.*

Abstract

In the past decades, much work has been done in physics education on large scale curriculum development, ranging from a "structure of the discipline" approach to STS. At the same time, research on pupils' ideas has drawn attention to underestimated problems of learning and teaching, that may largely explain the limited success of the curriculum efforts as far as cognitive learning is concerned. Proposed solutions are mainly inspired by a constructivist cognitive science perspective and are formulated as general teaching strategies that aim at a, more or less forced, process of "conceptual change". However, in our view, "developmental research" is needed in which small scale curriculum development is cyclically coupled to in-depth classroom research of teaching-learning processes. Such research should result in worked out examples of successful ways of teaching, according to new conceptual curriculum structures. Designing such "didactical structures" constitutes a longer term research programme, that asks for international exchange and cooperation.

Key words : *constructivism, didactical structure, relation theory-practice, developmental research, curricular development.*

INTRODUCTION

Un travail considérable visant à améliorer l'enseignement de la physique a été réalisé depuis les années cinquante. Un grand nombre de programmes de développement de curricula ont été lancés dans ce but avec différentes perspectives. L'accent a été mis selon les cas sur "la structure de la discipline", sur "l'enseignement par la découverte" et "être un chercheur pour un jour", sur la théorie piagétienne et les stades de développement cognitif, et dernièrement sur ce que l'on appelle l'éducation "science - technique - société" (STS) (Eijkelhof & Kortland, 1988 ; Yager, 1992).

Une part importante du travail récemment réalisé sur les curricula s'est effectuée par réaction aux curricula développés antérieurement (parmi lesquels le PSSC et Nuffield O-Level Physics furent des exemples très suivis), qui ont été considérés comme non adaptés à tous les élèves. Aux Pays-Bas, par exemple, le projet PLON a représenté un effort important de développement de programmes "science-technique-société" pour l'enseignement secondaire.

Sa principale raison d'être peut être définie succinctement comme : "physique pour tous, par la mise en œuvre d'un enseignement-apprentissage fondé sur l'activité des élèves dans des contextes signifiants de la vie quotidienne" (Lijnse et al., 1990 ; Eijkelhof & Kortland, 1988). Les attentes par rapport à un tel enseignement étaient, d'une part que les élèves perçoivent les contenus enseignés comme plus signifiants, et d'autre part qu'ils soient davantage en mesure de comprendre et de mettre en relation avec le monde extérieur les concepts appris à l'école. L'évaluation a montré que la première proposition était raisonnable ; la seconde est apparue moins évidente (Wiestra, 1990). Ceci illustre à nos yeux un sentiment plus général, à savoir que les efforts curriculaires n'ont pas (encore) produit de réels progrès, tout au moins si l'on s'intéresse à un apprentissage signifiant de la physique.

Dans le même temps, la recherche en didactique de la physique, dans un deuxième domaine d'activité, a produit de nombreuses études qui ont attiré l'attention sur l'importance de thèmes tels que les "*alternative frameworks*"¹, la résolution de problèmes et la métacognition. Ces résultats peuvent, au moins pour une part, expliquer que les efforts curriculaires passés n'aient été que modérément fructueux. Et il semble que nous devions encore trouver de meilleures façons d'enseigner la physique. On peut bien sûr arguer que ces améliorations pourraient venir de l'application des résultats de recherche à la pratique. Néanmoins, dans la mesure où une bonne part de la recherche en didactique de la physique est intégrée théoriquement dans une perspective cognitiviste et dans les philosophies modernes de la connaissance, sa production consiste surtout en des stratégies et théories plus générales. Ceci explique, à notre avis, que les plaintes au sujet de l'écart entre théorie et pratique soient aussi sérieuses que durables (Wright, 1993).

C'est pourquoi il faut, comme nous allons l'explicitier, développer d'autres recherches qui prennent appui sur un cadre théorique plus fortement lié au contenu. De fait, nous considérons l'amélioration de l'enseignement de la physique, à un niveau très concret, comme le but principal de la recherche en didactique de la physique. A voir la littérature, nous ne sommes pas certains qu'un tel but puisse être considéré comme admis. Nos théories devraient avoir pour but, en premier lieu, non pas tant de contribuer à des idées générales sur l'enseignement et l'apprentissage, bien que nous puissions et devions en élaborer, mais plutôt de comprendre et d'améliorer la pratique de l'enseignement de la physique. Ce point de vue pragmatique a peut-être à voir avec le fait qu'à Utrecht, comme en d'autres lieux du continent européen, la recherche en didactique de la physique est développée dans le cadre du département de physique de l'université, ce qui diffère par exemple de pays tels que la Grande-Bretagne, l'Australie et le Canada où elle est principalement développée dans les "*Schools of Education*". Comme on le sait, les chercheurs

1. Nous avons volontairement conservé "*alternative frameworks*", qui pourrait être traduit par "conceptions alternatives" (NDLR).

en sciences de la nature, les physiciens en particulier, sont extrêmement sceptiques sur la valeur de la recherche en éducation. Ceci devient douloureusement sensible en des temps de restrictions budgétaires où, dans de nombreux endroits, des chercheurs en didactique de la physique (ou d'autres disciplines scientifiques) sont parmi les premiers à être remplacés. Ainsi, savoir si la recherche en didactique de la physique ne mène pas seulement à des discussions, mais si elle constitue également un préalable nécessaire à des améliorations démontrables de l'enseignement scientifique lui-même n'est pas, loin s'en faut, une question académique ; c'est pour les chercheurs une question de survie.

1. L'INSTRUCTION "DU HAUT VERS LE BAS"

Si l'on regarde de plus près les programmes de physique "traditionnels", on peut dire que les concepts enseignés sont, en général, les concepts de base de la physique. L'ordre dans lequel ils sont enseignés reflète la structure "logique" de base de la discipline. Les situations dans lesquelles ces concepts doivent être appliqués sont les habituelles situations paradigmatiques idéalisées. C'est justement ce dernier aspect que les programmes STS souhaitent modifier, en enseignant dans des contextes de la vie réelle, tout en conservant inchangées pour l'essentiel, en général, la structure et la séquentialisation des concepts - mis à part le fait que la complexité des situations réelles peut rendre nécessaires de nouveaux concepts (voir par exemple PLON, 1986 ; De Jong et al., 1990).

Que ce soit dans les programmes traditionnels ou dans la plupart des curricula STS, l'enseignement se base et se focalise sur la physique, sans prendre véritablement en compte ce que les élèves connaissent, pensent, ce qui les intéresse et ce qui est pertinent par rapport aux contextes visés. La stratégie a alors pour but la transmission "de haut en bas" des concepts, même si la manière d'enseigner peut comporter de nombreuses activités de "discussion" et de "découverte". Dans les deux types de curricula, un tel enseignement conduit de façon inévitable à un processus de développement conceptuel contraint, ce qui explique l'absence apparente mentionnée ci-avant de différences en termes d'effets d'apprentissage (Wiestra, 1990). Comme nous l'avons déjà signalé, de nombreuses recherches ont montré que les pré-connaissances des élèves doivent faire l'objet de davantage d'attention dans l'enseignement. De cela on tire argument pour affirmer que l'apprentissage suppose un processus de changement conceptuel plutôt que de transmission de concepts. Dans un enseignement STS, les idées communes des élèves jouent même un rôle plus problématique que dans l'enseignement traditionnel. Enseigner la physique en référence à des contextes de la vie quotidienne oblige à affronter la complexité de tels contextes ; ce choix a pour autre conséquence que l'on ne peut certainement plus ignorer les problèmes conceptuels

associés aux différences entre connaissance commune et physique. De plus, il apparaît que les élèves ont aussi des idées "du sens commun" concernant les contextes par rapport auxquels ils doivent appliquer les connaissances qui font l'objet d'apprentissages.

C'est ce dernier type de pré-connaissance qui explique pourquoi, même si nous réussissions raisonnablement dans l'enseignement d'un savoir conceptuel correct, celui-ci ne pourrait cependant pas être mis en œuvre dans des situations de la vie réelle, comme nous l'avons repéré par exemple dans notre recherche sur l'enseignement de la radioactivité dans une perspective d'analyse des risques (Eijkelhof, 1990).

2. LE CHANGEMENT CONCEPTUEL : UN ENSEIGNEMENT "DU HAUT VERS LE BAS" AMÉLIORÉ ?

Nous pouvons admettre avec beaucoup d'autres la nécessité de stratégies d'enseignement améliorées qui prennent en compte les pré-connaissances des élèves. Ceci reflète le choix d'une perspective (au moins) "trivialement constructiviste" (Von Glasersfeld, 1989), qui est impliquée dans des affirmations telles que *"le sens se construit"* et *"les concepts ne peuvent être transférés des enseignants vers les élèves"* (Duit, Goldberg & Niedderer, 1992), etc. Prendre le "constructivisme trivial" au sérieux suppose un important changement de perspective, qui n'est didactiquement pas du tout trivial. Cependant ceci ne dit pas encore grand chose sur la manière d'enseigner. La phrase *"l'enseignant doit avoir une bonne idée des concepts que les élèves peuvent déjà avoir, et dès lors engager les élèves dans des activités susceptibles de les aider à construire la compréhension désirée"* (Duit et al., 1992) donne une part trop importante de ce travail essentiel au professeur et aux élèves, et trop peu au chercheur.

Freudenthal (1991), dans un commentaire sur le "constructivisme", écrit : *"Si « constructivisme » doit vouloir dire quelque chose de didactique, ce mot doit préciser qui est censé « construire ». [...] Si j'envisageais d'accepter le terme « constructivisme », je voudrais dire un programme ayant une philosophie qui confère aux apprenants la liberté de leur propre activité. [...] En l'absence d'un contexte convaincant, des termes tels que construction, reconstruction et constructivisme sont condamnés à rester des slogans. Le seul contexte qui compte sur le plan didactique est l'instruction elle-même, c'est-à-dire l'instruction développée en allant de sa conception jusqu'à sa réalisation."*

Ceci désigne, à notre avis, un problème essentiel. Si l'on ignore la liberté des apprenants, l'enseignement produit inévitablement un développement conceptuel contraint et donc des conceptions erronées. Il est contradictoire de se réclamer du "constructivisme", à savoir le point de vue selon lequel les élèves (ou les personnes) construisent leur propre compréhension sur la

base de ce qu'ils connaissent déjà, et en même temps de prescrire ce qu'ils doivent construire, ou de dévaluer immédiatement ce qui a été construit. Le problème majeur de l'enseignement constructiviste est donc de concevoir un enseignement susceptible d'amener les élèves à construire librement les idées que l'on veut justement leur enseigner. Freudenthal nomme ce processus d'apprentissage "*réinvention guidée*" (à ne pas confondre avec le "classique" apprentissage par la découverte). Dans la plupart des "modèles constructivistes d'enseignement" développés à ce jour, c'est précisément cette nécessaire liberté des apprenants à réaliser et suivre leurs propres constructions qui manque ou est sous-évaluée.

De fait, on pourrait raisonnablement jeter un doute sur le qualificatif de "constructiviste" affecté à de telles approches. Par exemple, dans le changement de statut – modèle du "*changement conceptuel*" (Posner et al., 1982) –, les conceptions des élèves sont surtout considérées comme de mauvaises idées qui doivent être modifiées aussi vite que possible. Pour ce faire, l'enseignant doit concevoir des activités qui affaiblissent la valeur des idées des élèves et valorisent les idées enseignées. On voit mal comment une telle approche peut construire de façon positive sur les propres élaborations des élèves. Ceci s'applique également, de façon plus ou moins importante, aux stratégies de conflit (Nussbaum & Novick, 1982) ou à l'approche CLISP telle qu'elle est décrite par Driver et Oldham (1986). Ainsi, nous sommes en désaccord avec Scott et al. (1992) lorsque, dans leur description de trois voies d'enseignement, ils déclarent: "*Toutes ces voies tentent d'établir des liens entre la pensée des élèves et le point de vue scientifique et peuvent donc être considérées comme des approches constructivistes d'enseignement également justifiées.*" C'est précisément la manière dont ces liens sont développés qui constitue une différence cruciale. Autrement, le terme "constructiviste" perd presque sa signification. Cela ne veut pas dire, bien sûr, que de telles approches ne peuvent améliorer les résultats de l'apprentissage par rapport à ceux de l'enseignement traditionnel. Cela explique cependant que l'éventail de telles améliorations est et restera limité. Fondamentalement, ces approches pourraient être caractérisées comme utilisant de nouvelles stratégies pour améliorer l'enseignement "du haut vers le bas".

A notre avis, un changement plus radical est nécessaire. Si nous voulons que les élèves comprennent réellement et se servent de ce qu'on leur enseigne, nous devons nous engager avec eux dans un processus d'apprentissage "de bas en haut". A l'instar de Freudenthal, nous pourrions dire que nous ne devrions pas enseigner les concepts de physique (comme produits), pas même d'une manière constructiviste comme décrit ci-dessus, mais guider les élèves dans l'activité de "physicaliser" leur monde. Ceci suppose de concevoir de façon précise des tâches d'apprentissage en s'appuyant sur une connaissance approfondie des pré-connaissances des élèves et de leur développement en relation avec l'ensemble des tâches d'apprentissage. Ceci entraîne une tension entre "un guidage par l'aval" et "la liberté par l'amont",

que l'on peut seulement réguler de façon empirique. La conception d'un tel enseignement est donc nécessairement un processus empirique de recherche et de développement fortement interconnectés, que nous appellerions "recherche-développement". Ceci suppose un processus cyclique de réflexion théorique, analyse conceptuelle, développement curriculaire à petite échelle, et recherche en situation de classe de l'interaction entre processus d'enseignement et d'apprentissage. La description et la justification finales, fondées empiriquement, de ces processus et activités en étroite interaction constituent ce que nous appelons une "structure didactique" possible sur le sujet considéré.

3. L'APPRENTISSAGE SIGNIFIANT DE LA PHYSIQUE : UN PROCESSUS PRODUCTIF DE COMMUNICATION

Lors du développement de telles structures didactiques, un des principaux centres d'intérêt est l'étude du langage et des actions des élèves, et des professeurs, dans les situations interactives d'enseignement. Ceci pose inévitablement le "*problème de l'interprétation*" (Klaassen, 1994b). De notre point de vue, ce problème est rarement traité de façon convenable. Nous pensons qu'il n'est pas très pertinent de conclure par exemple que, du point de vue du physicien, les élèves ont de nombreuses conceptions erronées et qu'ils raisonnent de manière inconsistante d'un contexte à l'autre, bien que les deux soient très courants dans la littérature sur les "changements conceptuels". De telles conclusions ne sont en général pas fondées sur une interprétation de ce que disent les élèves, mais seulement de ce qu'ils ne disent pas, c'est-à-dire la physique correcte. Pour être capable de construire les connaissances des élèves, et d'utiliser leurs constructions de manière productive, nous devrions d'abord connaître, quand ils disent ce qu'ils disent, ce qu'ils signifient réellement.

Klaassen (1994a) a attiré l'attention sur ce problème. Il considère qu'une interprétation pertinente devrait être au centre de l'enseignement de la physique (en fait de tout l'enseignement) et qu'une grande partie de la littérature sur les idées des élèves est coupable d'une mauvaise interprétation. Le problème de l'interprétation se pose ainsi : comment être capable de se comprendre mutuellement, étant donnée la nature des faits que nous avons à notre disposition ? Le raisonnement de Klaassen (1994a, 1994b) que je suis brièvement ici, est fondé sur les travaux de Davidson (par exemple 1990), un philosophe du langage bien connu ; selon lui, la plus petite unité dans laquelle le problème de l'interprétation peut être résolu est un triangle : deux des sommets sont les interlocuteurs qui sont conscients du triangle et le troisième sommet est le monde des objets et des événements partagés par les interlocuteurs, dont les propriétés et l'existence sont indépendants de ce qu'ils pensent. Quand on interprète la compréhension interpersonnelle, il y a une

exigence nécessaire à affronter, afin de rendre intelligible la conduite de la personne que l'on interprète : il faut décrire les actions de la personne et ce qu'elle croit et désire de telle manière que, comme cela a été décrit, on puisse voir que ce que fait cette personne est la seule chose raisonnable qu'elle ait à faire. Ainsi, dans l'interprétation, il est nécessaire d'imposer les conditions de cohérence et de consistance sur l'ensemble des croyances, désirs, intentions, actions, etc., que nous attribuons à la personne.

Afin de donner du contenu à ce que pense précisément une personne, nous devons affronter une autre exigence. Celle-ci est fondée sur l'idée évidente que, dans la plupart des cas, cette pensée concerne les objets et les événements qui en sont la cause. Ces deux exigences, qui dans leur interaction complexe nous permettent cette compréhension interpersonnelle, peuvent être résumées ainsi : pour que quelqu'un soit compréhensible, on doit l'interpréter de telle manière qu'il soit très largement consistant, qu'il croie en ses vérités, et qu'il aime ce qui est bien (de point de vue de celui qui interprète). Ceci constitue, sous une forme résumée, le principe de charité de Davidson que Klaassen invoque comme un guide nécessaire pour l'interprétation de ce que pensent les élèves aussi bien que pour la construction d'un "bon enseignement". Toute interprétation dépend de notre habileté à trouver une base commune.

Une des conséquences de ce principe est que nous ne devons pas interpréter les paroles des élèves à un niveau "atomique", mais que nous devons essayer de trouver un modèle (*pattern*) qui prenne en compte le plus de paroles possible (ce qui est l'opposé de ce qui arrive dans la plupart des questions de recherche sur les conceptions erronées). Partant du fait que, fondamentalement, nous vivons dans le même monde que nos élèves, nous pouvons conclure que nous ne comprenons pas leurs propos tant que nous n'avons pas le sentiment que, dans certaines circonstances, ce qu'ils disent a du sens. Ce point de vue est plutôt en contradiction avec la plupart des interprétations constructivistes des idées des élèves, et avec sa branche radicale en particulier. Grandy et Hamilton (1993), par exemple, écrivent au sujet des théories des élèves : "*Naturellement, ces théories sont souvent incomplètes, incohérentes et peu judicieuses.*" On a porté beaucoup d'attention au processus individuel de construction des connaissances, laissant la nature essentiellement sociale de la communication et de l'interprétation largement en dehors de l'étude. Cependant, si l'enseignement de la physique est concerné par la compréhension des connaissances culturelles publiques, la recherche ne devrait pas se centrer autant sur les aspects individuels et idiosyncratiques de la construction des connaissances, mais plutôt sur ses aspects essentiellement communs.

Réaliser que le système de croyances "du sens commun" des élèves concernant le monde, étant ce qu'il est, ne peut qu'être en grande partie correct, conduit à considérer qu'il y a une base commune de départ de la communication et de l'enseignement. Interpréter l'apprentissage de la physique

comme un apprentissage à parler, au moins partiellement, de façon nouvelle du monde commun dans lequel nous vivons, ne conduira à un apprentissage signifiant que si les élèves sont engagés dans un processus graduel et social, dans lequel une compréhension mutuelle est constamment assurée. Comme le pose Freudenthal (1991), il s'agit d'étendre, de systématiser et d'organiser les expériences des élèves dans un "sens commun" d'un ordre de plus en plus élevé. Ainsi, au lieu de juger qu'entre la connaissance scientifique et la connaissance commune, il y a discontinuité (Reif & Larkin, 1991), on devrait considérer celles-ci comme les points extrêmes d'une échelle. Cela ne veut pas dire que la connexion ne puisse pas être faite de manière continue (quoi que cela puisse signifier). Ainsi, si le professeur parle le langage de la physique, et même s'il s'exprime dans des termes simples, il ne peut être immédiatement compris comme il le voudrait par les élèves qui ne connaissent pas ce langage (par exemple Lijnse, 1992). Ceci est la véritable caractéristique de ce que nous avons décrit comme un enseignement "du haut vers le bas". Le résultat est connu comme étant du verbalisme, des conceptions erronées et des connaissances insuffisamment opératoires. Cela signifie que, lorsque les chercheurs se lamentent sur les conceptions erronées et leur "résistance au changement", le blâme porte sur les élèves qui ne comprennent pas ce qu'on leur enseigne. A notre avis, ce blâme devrait porter sur notre manière inopportune d'enseigner. La résistance des *"alternative frameworks"* n'est pas un donné, elle indique seulement que dans notre enseignement nous ne savons pas encore laisser les élèves développer leurs *"alternative frameworks"* de manière productive. Et, si nous ne savons pas comment enseigner de façon productive, alors d'un tel enseignement résultent inévitablement des conceptions erronées. Celles-ci sont alors le résultat d'un "mauvais" enseignement. "Mauvais" non pas dans un sens absolu, mais dans le sens que nous ne savons pas encore comment le faire différemment. C'est précisément pourquoi nous avons besoin de recherche pour trouver de nouvelles voies.

Réussir à se comprendre est essentiellement un processus social : il s'agit de parler, d'interpréter ce sur quoi on parle, et d'organiser des événements où les participants puissent se mettre d'accord. L'étude de l'apprentissage de la physique devrait alors se centrer sur ce processus social. Comment le réguler de telle manière qu'il soit et reste enraciné dans une compréhension mutuelle ? Comprendre ce processus est alors la clé de la compréhension de l'enseignement et de l'apprentissage. Cela signifie entre autres que les processus d'apprentissage, du côté des élèves, devraient être étudiés en relation avec les processus d'enseignement, du côté des professeurs. Les études sur le développement individuel des concepts (Scott, 1992 ; Niedderer & Goldberg, 1993) passent à côté de cet aspect essentiel de l'enseignement et de l'apprentissage de la physique. Les relations étroites et indispensables entre l'apprentissage et l'enseignement semblent précisément être absentes, par exemple, dans la citation suivante : *"Une fois que nous aurons commencé à mieux comprendre comment les idées des enfants peuvent progresser dans des domaines particuliers de la science, alors nous serons mieux placés pour développer des*

approches d'enseignement pour appuyer cette progression." (Scott, 1992). Un tel centrage sur "ce qui est dans le cerveau" (Niedderer & Goldberg, 1993) semble avoir son origine dans la recherche en sciences cognitives. Comme nous l'avons clairement dit dès le début, de notre point de vue la recherche sur l'éducation scientifique devrait prendre une autre voie.

4. D'AUTRES ASPECTS POUR CONCEVOIR DES STRUCTURES DIDACTIQUES

Bien que le principe de charité puisse constituer un point de vue nécessaire pour construire des structures didactiques productives, il ne fournit pas, bien sûr, des indications concrètes pour une telle construction. Aussi nous mentionnons ci-dessous quelques aspects intimement liés dans l'élaboration de structures didactiques.

Les buts et les objectifs

La conception de l'instruction et des études sur les processus d'apprentissage et d'enseignement ne peut être séparée d'un point de vue sous-jacent sur l'éducation (en physique). Par exemple, dans notre travail, nous donnons toujours beaucoup d'importance à la "physique contextualisée", ou dans une terminologie STS à la signification personnelle et sociale du contenu d'un curriculum. En termes modernes, ceci entraîne que le point de vue de la "cognition située" devrait être développé, à la fois comme point de départ et comme point d'arrivée pour l'enseignement. Cependant, quels que soient les buts et les objectifs, ils ne peuvent être fixés *a priori*; ils découlent aussi d'un processus de recherche-développement.

La motivation

Cet aspect demande que nous considérons l'intérêt des élèves non seulement de façon globale, comme cela est tenté dans les curriculums STS, mais aussi de façon "locale". Les activités devraient être conçues de telle manière que les constructions propres des élèves, leurs questions et leur motivation guident largement le professeur (et le concepteur). Un tel enseignement peut seulement avoir lieu dans des situations ouvertes d'apprentissage, dans lesquelles la tâche du professeur est de problématiser le sujet et de faire émerger les questions des élèves, de leur permettre de penser à des hypothèses possibles ou des réponses, de leur permettre de concevoir des façons de tester leurs hypothèses, de leur donner l'information et de réagir de manière appropriée, etc.

Le développement conceptuel

Cet aspect est au cœur du sujet. On peut caractériser les grandes lignes d'un enseignement non contraint par trois périodes successives (Ten Voorde, 1977, 1990 ; Klaassen, 1994b) :

1) une période de sélection de l'attention, ancrée dans le monde des élèves et visant à leur permettre de sélectionner leurs connaissances. Les élèves prennent alors conscience d'un besoin d'apprendre, de formuler un problème commun ;

2) une période correspondant à une transition du niveau de base à un niveau descriptif ;

3) une période au cours de laquelle, si nécessaire, il y a transition du niveau descriptif à un niveau théorique.

La métacognition

Dans la perspective de la métacognition, l'enseignement devrait en grande partie poser les problèmes au lieu de les résoudre. Ceci signifie qu'au lieu de demander aux élèves de regarder en arrière et de réfléchir sur leurs idées et opinions pour les remplacer, ce qui est une recommandation habituelle, le défi de l'approche "du bas vers le haut" est de demander aux élèves de regarder en avant et de réfléchir avec ce qu'ils savent déjà pour étendre leurs savoirs, en les laissant eux-mêmes expliciter et formuler des problèmes qui entraînent un processus d'apprentissage. Ils peuvent alors développer une prise de conscience plus positive de leurs propres processus d'apprentissage, attitudes et capacités.

L'apprentissage des professeurs

Il est essentiel de se centrer non seulement sur l'apprentissage des élèves, mais aussi, en relation directe, sur celui des professeurs (en physique et en didactique). Nous ne devrions pas seulement partir des idées des élèves sur le monde, mais aussi des idées des professeurs sur l'enseignement et l'apprentissage. Pour éviter un trop grand écart entre théorie et pratique, il semble nécessaire que, sauf si des outils concrets d'enseignement sont déjà disponibles pour les élèves, les deux processus d'apprentissage (élèves et professeurs) soient étudiés ensemble, réfléchis et pris en compte dans des outils de formation initiale et continue des maîtres.

La structure du curriculum

Comme la structure disciplinaire de la physique n'est pas le point de départ le plus adapté pour concevoir le contenu d'enseignement, nous suggérons que la recherche-développement à long terme conduise à une structure didactique qui s'appuie sur des recherches empiriques permettant l'enseignement de l'ensemble de la physique. Ceci consiste en une description empirique d'un développement conceptuel longitudinal et enseignable autour de sujets tels que "la structure de la matière", "les causes et processus", "mathématisation et modélisation"... Un tel but demande aussi une réflexion profonde sur les concepts, la structure, l'histoire et les buts de la physique.

La théorie didactique

On peut décrire de façon détaillée des structures didactiques possibles pour un certain sujet dans ce que nous appelons un scénario. Un scénario décrit et justifie avec un nombre considérable de détails les tâches d'apprentissage et leur relations, et quelles actions les élèves et le professeur sont supposés faire. Ceci peut être envisagé comme la description et la justification théorique de processus hypothétiques d'enseignement et d'apprentissage, en étroite relation. En mettant à l'épreuve ce scénario et en le contrôlant, on peut le tester, et en conséquence le réviser. A la fin, on peut considérer le scénario comme une théorie spécifique d'un domaine concernant l'enseignement et l'apprentissage d'un sujet particulier. Une réflexion sur les scénarios pour des sujets différents peut conduire à des théories de "plus haut niveau".

La méthodologie de recherche

La recherche-développement utilise une grande variété de méthodologies. Dans les premières étapes, l'accent est principalement mis sur l'utilisation de méthodes qualitatives d'interprétation, parmi lesquelles : l'introspection, les entretiens, l'observation de classe, l'analyse de protocoles de processus d'apprentissage, l'analyse du développement historique des concepts, l'analyse du contenu, etc. En général, plusieurs méthodes peuvent être utiles pour révéler et clarifier les problèmes d'enseignement et d'apprentissage, et trouver des idées pour les résoudre. Dans les étapes ultérieures, on peut utiliser également des méthodes plus quantitatives.

Le scénario sert de description et de justification des méthodes et résultats, les décrivant et les analysant en profondeur afin qu'il soit convaincant par lui-même. Il ne s'agit pas de "prouver" quelque chose mais de rendre possible pour les autres de juger ce qui a été fait et leur permettre de "reconstituer" par eux-mêmes les processus décrits.

La diffusion et la mise en œuvre

Bien que de tels scénarios ne soient certainement pas suffisants pour résoudre les problèmes usuels de mise en œuvre, le fait qu'ils soient construits à partir de recherche et de développement en classe, constitue un avantage potentiel considérable si l'on veut établir des liens entre la théorie et la pratique à un niveau concret. En fait, comme le propose Freudenthal (1991), le terme "mise en œuvre de résultats" n'est pas adéquat dans le cas de la recherche-développement. Celle-ci demande beaucoup plus un processus graduel et continu de diffusion, d'usage, de réflexion et de développement ultérieur d'idées, afin d'établir des changements à tous les niveaux.

Les valeurs

Comme toute l'éducation est fondée sur des valeurs, la conception de structures didactiques demande un enracinement explicite dans ce qu'on pourrait appeler "une vision globale" de l'enseignement de la physique, c'est-à-dire une vision intégrée de la nature de l'enseignement et de l'apprentissage, de la nature et du contenu de la physique, de la nature et des buts de l'éducation en général et de l'enseignement de la physique en particulier.

EN GUISE DE CONCLUSION

Dans cet article nous plaidons en faveur d'une "recherche-développement", comme voie cohérente à la fois de développement de l'enseignement de la physique et de progrès vers une théorie didactique. Comme tel, cela peut être considéré comme un programme de recherche à long terme. Notre plaidoyer est issu d'une insatisfaction par rapport à la recherche actuelle sur l'enseignement des sciences. La plupart des résultats de recherche sont si généraux qu'ils ne peuvent déboucher sur une prescription concernant la façon dont ils devraient ou pourraient être appliqués. De ce fait, la tâche de mise en œuvre de ces résultats est à la charge des praticiens. Cela signifie que la même théorie peut en pratique être appliquée de manière très différente. Ainsi, sous le même titre de théorie, il y a dans la réalité de grandes différences.

Pour éviter ce problème, nous visons une description détaillée, une justification et une compréhension des activités et des processus d'enseignement et d'apprentissage d'un contenu spécifique. En travaillant dans cette perspective, nous devons naturellement intégrer des idées plus générales à celles sur les contenus spécifiques, puisque les deux jouent un rôle. Cependant, nous aimerions insister sur le fait que si les chercheurs en didactique de la physique (en coopération avec les professeurs) ne se centrent pas sur ces derniers, personne d'autre ne pourra le faire, et personne d'autre ne pourra mettre une

théorie, quelle qu'elle soit, en pratique. Malheureusement, précisément à cause des caractéristiques décrites, la recherche-développement n'est pas (encore ?) considérée comme réellement de la recherche, opinion qui semble même être reflétée par la littérature internationale de recherche sur l'enseignement des sciences. Si, en tant que communauté de recherche, nous ne réussissons pas à échanger points de vue et expériences concernant la construction et la description des activités effectives d'enseignement-apprentissage, et les processus à un niveau plus concret, les progrès réels dans notre champ resteront fortement inhibés, et restreints à un échange de rhétorique théorique.

La recherche-développement combine, comme dit précédemment, le pratique et le théorique, l'apprentissage des élèves et l'apprentissage des enseignants, les buts de l'enseignement de la physique et leur nécessaire pédagogie. Elle n'a pas pour but de construire de "grandes théories" telles que, par exemple, la compréhension de l'esprit humain, mais de comprendre et développer une bonne pratique d'enseignement. Cela peut être une manière de travailler plus réaliste dans ses buts bien que, en même temps, elle impose la nécessité d'un grand effort. Beaucoup trop grand, en fait, pour être fait par quelques personnes seulement, car cette manière de travailler demande une coopération internationale à un niveau très concret.

Remerciements

Je voudrais remercier de nombreux collègues pour les discussions enrichissantes et pour leur approbation de l'utilisation (éventuellement incorrecte) de leurs idées, en particulier : H.M.C. Eijkelhof, C.W.J.M. Klaassen, A.H. Verdonk and H.H. ten Voorde.

BIBLIOGRAPHIE

DAVIDSON D. (1990). *Essays on actions and events*. Oxford, OUP.

DE JONG E., ARMITAGE F., BROWN M., BUTLER P. & HAYES J. (1990). *Physics in context*. Melbourne, Heinemann Educational.

DRIVER R. & OLDHAM V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, n° 13, pp. 105-122.

DUIT R., GOLDBERG F. & NIEDDERER H. (Eds.) (1992). *Research in physics learning : theoretical issues and empirical studies*. Kiel, IPN.

EIJKELHOF H.M.C. & KORTLAND J. (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, pp. 282-305.

EIJKELHOF H.M.C. (1990). *Radiation and risk in physics education*. Utrecht, CD-β Press.

EIJKELHOF H.M.C. & LIJNSE P.L. (1992a). Experiences with research and development to improve STS-education on radioactivity and ionizing radiation. In R.E. Yager (Ed.), *The status of science-technology-society reform efforts around the world*. ICASE-Yearbook 1992, ICASE, pp. 47-55.

FREUDENTHAL H. (1991). *Revisiting Mathematics Education*. Dordrecht, Kluwer.

GRANDY R. & HAMILTON R. (1992). Prototypes and Conceptual Change. In S. Hills (Ed.), *The History and Philosophy of Science and Science Education*, vol. I. Kingston, Queen's University, pp. 435-448.

KLAASSEN C.W.J.M. (1994a). Knowledge acquisition as interpersonal understanding. In P.L. Lijnse (Ed.), *European Research in Science Education*. Utrecht, CD-β Press, pp. 322-330.

KLAASSEN C.W.J.M. (1994b). *A problem posing approach to the teaching of radioactivity* (titre provisoire). Utrecht, CD-β Press (à paraître).

LIJNSE P.L., LICHT P., DE VOS W. & WAARLO A.J. (Eds) (1990a). *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*. Utrecht, CD-β Press.

LIJNSE P.L., KORTLAND K., EIJKELHOF H.M.C., VAN GENDEREN D. & HOOYMAYERS H.P. (1990b). A thematic physics curriculum: a balance between contradictory curriculum forces. *Science Education*, n° 74, pp. 95-103.

LIJNSE P.L. (1992). Pupils and teachers operating from different frames of reference: a main problem in physics teaching. In H. Kühnelt, M. Berndt, M. Staszal & J. Turlo (Eds), *Teaching about reference frames, from Copernicus to Einstein*. Torun, NCUP, pp. 392-397.

NIEDDERER H. & GOLDBERG F. (1993). *Qualitative interpretation of a learning process in electric circuits*. Atlanta, NARST.

NUSSBAUM J. & NOVICK S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, n° 11, pp. 183-200.

PLON (1986). *Curriculum materials*. 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*, vol. 66, n° 2, pp. 211-227.

REIF F. & LARKIN J.H. (1991). Cognition in Scientific and Everyday Domains: Comparison and Learning Implications. *Journal of Research in Science Teaching*, n° 28, pp. 733-760.

SCOTT P.H. (1992). Pathways in learning Science: A case study of the development of one student's ideas relating to the structure of matter. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Eds), *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies*. Kiel, IPN.

SCOTT P., ASOKO H., DRIVER R. & EMBERTON J. (1992). *Working from children's ideas : An analysis of constructivist teaching in the context of a Chemistry topic*. Melbourne, Monash (à paraître).

TEN VOORDE H.H. (1977). *Verwoorden en Verstaan*. Den Haag, SVO/SDU.

TEN VOORDE H.H. (1990). On teaching and learning about atoms and molecules from a Van Hiele point of view. In P.L. Lijnse et al. (Eds.), *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles*. Utrecht, CD-β Press, pp. 81-104.

VON GLASERSFELD E. (1989). Cognition, Construction of Knowledge, and Teaching. *Synthese*, n° 80, pp. 121-140.

WIERSTRA R.F.A. (1990). *Natuurkundeonderwijs tussen leefwereld en vakstructuur*. Utrecht, CD-β Press.

WRIGHT E.L. (1993). The irrelevancy of science education research : perception or reality ? *NARST News*, n° 35, pp. 1-2.

YAGER R.E. (Ed.) (1992). *The status of science-technology-society reform efforts around the world*. ICASE Yearbook 1992, ICASE.