

# Computadores, Aprendizagem e Ensino da Física: o computador como «Laboratório Conceptual» (\*)

VITOR DUARTE TEODORO (\*\*)

## 1. MODALIDADES E EFEITOS DA UTILIZAÇÃO DE COMPUTADORES

No relatório de uma conferência recente sobre Computadores em Educação (Lesgold & Reif, 1983) afirma-se que actualmente não se coloca a questão se os computadores deverão ser ou não utilizados nas escolas. Eles já o são, embora ainda numa escala reduzida, quer em países em desenvolvimento — como é o caso de Portugal — quer em países desenvolvidos da Europa e da América. A generalização da utilização de computadores no ensino é, portanto, um dado adquirido com que temos de contar à partida. As questões que os educadores devem colocar são, assim, não se deve ou não utilizar computadores em actividades educativas mas sim questões do tipo: 1) Quais as boas modalidades de utilização de computadores nas diversas disciplinas?; 2) O que é que a investigação em teoria da aprendizagem, cognição, motivação e inteligência artificial tem a dizer acerca do modo como os computadores afectam a aprendizagem?; 3) Quais as modalidades que maximizam a eficiência do computador no ensino das diversas disciplinas?;

4) Como é que as escolas podem integrar os resultados da investigação nos seus critérios? (Lesgold & Reif, 1983).

A maior parte das utilizações actuais de computadores nas escolas e, em particular no ensino das Ciências, são utilizações muito limitadas, quer quanto à modalidade de utilização (uma grande percentagem de tempo é gasto com programas de «drill-and-practice» e tutoriais) quer quanto ao número de alunos que efectivamente abrange (Becker, 1987). Em Portugal, devido ao reduzido número de programas disponíveis — consequência do facto de não existirem produtores de programas para o mercado educativo — as utilizações centram-se fundamentalmente em torno do uso de simulações e de micromundos de aprendizagem desenvolvidos no âmbito do Projecto MINERVA.

Os computadores são ainda encarados por grande parte da comunidade educativa — e em particular pelos professores — como máquinas que podem ser programadas para ensinar e avaliar, segundo uma perspectiva de que «ensinar é transmitir algo aos alunos». Esta perspectiva dos professores é perfeitamente justificada. De facto, mostra a história das inovações que, quando se difunde uma inovação, a primeira tendência consiste na reprodução das «velhas» tarefas com o novo instrumento. Só mais tarde, com a descoberta

(\*) O autor agradece à Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria Odete Valente os comentários realizados à versão preliminar deste artigo.

(\*\*) Faculdade de Ciências e Tecnologia (UNL).

progressiva das potencialidades do instrumento inovador, se concretizam mudanças qualitativas na sua utilização. Compreende-se, assim, que os computadores tenham sido utilizados inicialmente em actividades educativas — e ainda o sejam, como vimos — segundo práticas tradicionais, procurando reproduzir as funções do professor, em particular aquelas que são mais *penosas* como, por exemplo, as que envolvem a *prática* e o *exercício* de determinadas aprendizagens. Um exemplo típico deste tipo de utilização é constituído pelos programas de sequências de pergunta-resposta em que o aluno tem imediato *feedback* sobre as suas respostas.

A utilização do computador com programas de *exercício e prática (drill-and-practice)* e como *tutor* tem vindo cada vez mais a perder a sua importância em meio escolar. De facto, as condições de *sucesso* destas modalidades de utilização têm maior probabilidade de ocorrer com adultos fortemente motivados (daí as suas potencialidades no *treino* de adultos) do que com crianças ou jovens que possuem períodos de atenção continuada muito mais reduzidos. Além disso, a questão-chave da educação escolar não é o *treino* de capacidades, mas sim o *desenvolvimento* de todas as dimensões educativas, que não se reduzem ao domínio cognitivo.

Uma nova geração de programas tutoriais está actualmente em desenvolvimento, como resultado da investigação em inteligência artificial. Essa nova geração distingue-se da anterior e dos programas clássicos de «drill-and-practice» pelo facto de apresentar a capacidade de adaptação ao aluno, orientando-o no progresso da sua aprendizagem. Um sistema tutorial inteligente é constituído por quatro módulos básicos: uma base de conhecimentos, um modelo do aluno, um modelo pedagógico e um *interface* com o utilizador (Dede, 1986).

As perspectivas abertas com as aplicações da inteligência artificial na educação, nomeadamente os sistemas tutoriais inteligentes, têm sido difundidas com imenso vigor. Note-se, no entanto, que alguns autores mantêm um elevado grau de ceticismo sobre a viabilidade da concretização dessas perspectivas em áreas de ensino mais complexas do que a aritmética

elementar ou tópicos de igual grau de complexidade (por ex., Arsac, 1987).

Ainda antes dos computadores apresentarem potencialidades gráficas, permitindo o desenho de imagens no ecrã, surgiram aplicações que envolviam a simulação de processos, sempre que conhecidos os algoritmos que regulam esses processos. Estas simulações constituíam meros processos de cálculo de parâmetros que, de outro modo, não seriam facilmente calculados. Os resultados, apresentados na forma de tabelas numéricas, exigiam, em geral, da parte dos alunos uma análise pormenorizada. O domínio deste tipo de simulações obrigava ao conhecimento mais ou menos aprofundado de linguagens de programação.

Com o aparecimento de computadores com potencialidades gráficas, começaram a surgir programas que simulam processos físicos, químicos, biológicos, etc., apresentando animação de objectos e traçado de gráficos. Em geral, esta segunda geração de programas de simulação é, tal como a anterior, fortemente orientada, isto é, o aluno ou o professor são *conduzidos* para observar aquilo que os autores dos programas pretendem.

Os programas de simulação mais recentes surgem cada vez menos *orientados*, isto é, permitem ao aluno *explorar* por si próprio o ambiente que o programa simula. Esta *liberdade* de exploração pode inclusivamente chegar ao ponto do aluno poder *definir ou alterar o modelo da realidade* que o programa utiliza de modo a confrontar diversos «modelos alternativos». Este novo tipo de programa funciona como «utilitário de aprendizagem», na medida em que é uma *ferramenta* de aprendizagem manipulada pelo aluno, não *ensinando* nada directamente. A sua utilização pode contribuir — como veremos adiante — para ultrapassar a «barreira crítica» que a investigação recente em educação em Ciências tem identificado de modo sistemático. Essa «barreira crítica» é devida à utilização de «modelos alternativos» e de pré-conceitos extremamente *resistentes*, mesmo quando os alunos são sujeitos a um ensino formal clássico.

Uma outra modalidade de utilização de computadores no ensino das Ciências é a

utilização no controlo e aquisição de dados. Esta modalidade, comum a muitas áreas da investigação científica, está a tornar-se numa das mais importantes, em particular com alunos dos anos terminais do ensino secundário. Basicamente, o controlo e a aquisição de dados com computadores em ambientes educativos consiste na utilização de computadores e de *interfaces* adequados para recolher informação do mundo físico (temperaturas, posições, intervalos de tempo, resistências eléctricas, frequências, etc.) e sua utilização para condicionar a evolução do sistema — controlo — ou simplesmente para registo e tratamento dos dados. O controlo de equipamentos experimentais e a aquisição de dados com computadores, apesar de constituir uma importante inovação no ensino da Física, não é, no entanto, qualitativamente diferente dos processos clássicos de controlo e aquisição.

Que efeitos tem a utilização de computadores no ensino? Esta questão pode ter dois tipos de respostas: um primeiro tipo de resposta incide nas comparações sobre os resultados escolares, nomeadamente os resultados em exames e testes, de alunos que aprendem com computadores e de alunos que aprendem por processos considerados tradicionais. Este tipo de resposta foi procurado por uma primeira geração de investigadores até ao princípio dos anos 80. A importância deste tipo de investigação é, actualmente, colocada em questão. Segundo Clark e Solomon (1986, p. 465), «(...) as primeiras investigações advogaram entusiasticamente o estabelecimento de comparações entre o uso de diferentes *media* mas subestimaram o desenvolvimento de teorias respeitantes ao modo como os novos *media* devem ser utilizados para influenciar a aprendizagem. (...) Muitos investigadores continuaram a pesquisar se havia ou não benefícios da utilização dos *media*. Mas, como se tornou evidente, a aprendizagem em situações instrucionais é um processo muito mais complexo que envolve muitas vezes interações entre tarefas específicas, características particulares dos alunos, e várias influências do *medium* e do método. Nesta diversidade de influências, os efeitos da variável *medium*, como variável global e indiferenciada, pode não ser produtiva».

Num estudo meta-analítico, Clark e Solomon (1986) concluíram que o efeito da utilização de computadores era de aproximadamente 0.5 numa escala normalizada de desvio padrão 1, o que corresponde à passagem do percentil 50 para o percentil 69. Note-se, no entanto, que este efeito se reduz substancialmente nos estudos em que a variável professor é controlada (para 0.13, segundo Clark, 1983).

O segundo tipo de resposta à questão sobre os efeitos da utilização de computadores corresponde melhor a uma perspectiva cognitivista, dominante na investigação actual. Está relacionado com os atributos específicos do computador como *medium*. As respostas deste tipo são, assim, essencialmente de tipo qualitativo, centradas nas diferenças provocadas no processo de aprendizagem e não nos resultados escolares.

Considerando apenas as utilizações dos computadores no ensino das Ciências, a generalidade dos educadores e investigadores reconhece que podem existir diferenças qualitativas na utilização de computadores face aos métodos tradicionais (Linn, 1986). Parece ser consensual afirmar que essas diferenças são, no essencial, função, não apenas da utilização de computadores, mas, fundamentalmente, do modo como são utilizados. Um mesmo programa pode ser utilizado por diferentes professores segundo estratégias completamente diferentes. Por exemplo, um programa de simulação de movimentos pode ser utilizado por um professor para *demonstrar* as leis do movimento e por outro professor como instrumento de investigação sobre as regularidades e leis dos movimentos.

Que novas perspectivas — e dificuldades — se abrem para a utilização de computadores no ensino da Física? Antes de procurarmos resposta para esta questão, façamos uma breve síntese de alguns problemas actuais da investigação em ensino e aprendizagem da Física.

## 2. «MODELOS ALTERNATIVOS» E «PRÉ- -CONCEITOS» COMO BARREIRAS CRÍTICAS NA APRENDIZAGEM

Desde o fim da década de 70 muitos investigadores têm colocado em evidência um dos maiores obstáculos à aprendizagem

significativa em Ciências: os modelos e conceitos alternativos (*alternatives frameworks*) utilizados pelos alunos, resultado de uma *ciência* própria, correspondendo, em muitos casos, ao *sensu comum*. Essas concepções alternativas encontram-se particularmente bem estudadas para algumas das áreas da Física, nomeadamente para os conceitos relacionados com o repouso e o movimento — conceitos da mecânica. Esses estudos mostram a forte persistência das concepções alternativas dos alunos, mesmo após períodos mais ou menos longos de ensino formal da Física (McCloskey *et al.*, 1983). Mais recentemente, muitos autores têm investigado este fenómeno para conceitos e modelos alternativos utilizados pelos alunos noutras áreas das Ciências (Giordan & Vecchi, 1987 e Osborne & Freyley, 1985, apresentam uma boa síntese desses estudos).

Segundo Driver (1985), as concepções alternativas dos alunos apresentam as seguintes características gerais: 1) são baseados em características observáveis; 2) os alunos argumentam em termos de propriedades dos objectos em vez de interacção entre elementos de um sistema; 3) apenas as situações de movimento necessitam explicação; situações estacionárias não são objecto de explicação; 4) os alunos utilizam características de vários conceitos científicos simultaneamente mas de modo indiferenciado; 5) os alunos têm tendência a raciocinar sequencialmente numa direcção determinada.

É consensual afirmar que o ensino das Ciências deve partir dos conceitos e modelos alternativos que os alunos já possuem. Ensinar Ciências deve ser muito mais uma actividade de reconstrução de estruturas conceptuais do que fornecimento de novos conceitos (Linn, 1986).

Poderão os computadores contribuir de modo significativo para consecução deste paradigma de educação em Ciências?

### 3. «MODELOS ALTERNATIVOS E PRÉ-CONCEITOS»: O COMPUTADOR COMO INSTRUMENTO ESTIMULADOR DA REFORMULAÇÃO CONCEPTUAL

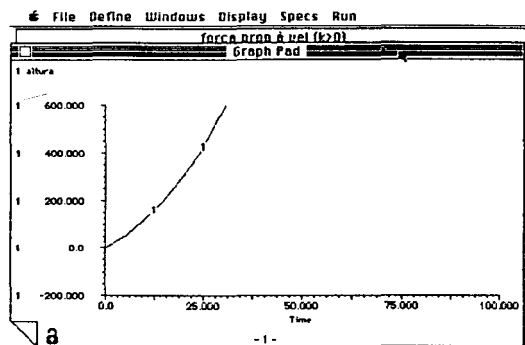
Têm sido propostas um conjunto de novas estratégias de ensino com vista a melhorar a

aprendizagem significativa de conceitos em Ciências. Algumas dessas estratégias centram-se em torno da utilização de simulações computacionais, em regra orientadas segundo a *ciência oficial*, não permitindo aos alunos a investigação das implicações dos seus próprios *modelos*. Driver (1983) sugere que a aprendizagem significativa das Ciências tem maior probabilidade de ocorrer quando os alunos são conduzidos a explicar os seus modelos e explorar as implicações de diferentes concepções da realidade. Ora, os computadores podem ser instrumentos privilegiados para *aceitar* os modelos dos alunos e *mostrar as respectivas implicações*.

Existem já alguns programas, de uso relativamente elementar, que aceitam que o utilizador defina um modelo matemático e verifique que tipo de resultados teria com esse modelo. Por exemplo, a figura 1 mostra como variaria — em função do tempo — a altura de um objecto que é lançado verticalmente de baixo para cima com uma certa velocidade inicial admitindo que a força que actua o objecto é proporcional à *velocidade* (com

FIGURA 1

Representação da altura de um objecto em função do tempo, quando o objecto é lançado verticalmente de baixo para cima, segundo um modelo alternativo correntemente utilizado por alunos que estudam Física (*Força proporcional à Velocidade*) [Simulação obtida em computador com o STELLA]

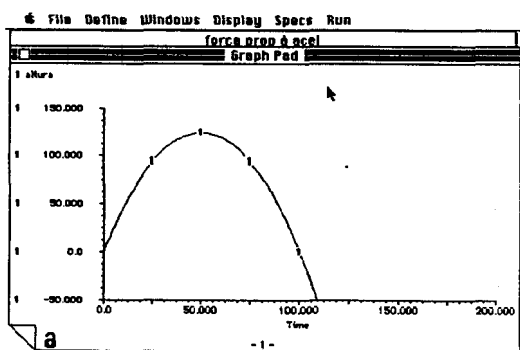


constante de proporcionalidade positiva). Note-se que este é um dos modelos alternativos mais utilizados pelos alunos que estudam Física (Viennot, 1979).

Como se pode observar no gráfico, a altura aumentaria cada vez mais depressa. Contrastemos os resultados obtidos com este modelo alternativo com o modelo correspondente às leis de Newton — segundo as quais a *força* é proporcional à *aceleração* — figura 2. Neste caso, o objecto sobe até atingir uma certa altura máxima, voltando após um certo intervalo de tempo até à posição de partida.

FIGURA 2

**Representação da altura de um objecto em função do tempo, quando o objecto é lançado verticalmente de baixo para cima, segundo um modelo correspondente às leis de Newton (*Força* proporcional à *Aceleração*) [Simulação obtida em computador com o programa STELLA]**



As simulações foram obtidas com o programa STELLA (*Structural Thinking Laboratory*) um programa descrito pelos seus autores como um «laboratório de aprendizagem» onde é possível definir um modelo para um sistema dinâmico (i.e., um sistema que possui características que dependem do tempo) e investigar o comportamento dessas características do sistema no decurso do tempo.

STELLA exige, como todos os programas de uso geral, um conhecimento relativamente aprofundado da sua própria linguagem. Exige igualmente uma importante capacidade: a capacidade de interpretação de gráficos. Por estas razões, a sua utilização apenas se adequa a alunos de anos terminais do ensino secundário ou dos primeiros anos do ensino superior.

NEWTON, um programa em desenvolvimento sob a orientação do autor, é um outro exemplo de um programa que permite ao aluno explorar concepções alternativas respeitantes ao movimento e repouso dos corpos. NEWTON cria um ambiente onde é permitido manipular todas as variáveis determinantes do movimento (gravidade, atrito, massa, velocidade inicial, etc.) e definir o modelo que se pretende utilizar para efectuar a simulação. Este programa funciona como um *laboratório conceptual* de mecânica, i.e., um laboratório onde se testam conceitos e modelos da mecânica num ambiente imaginário.

O movimento dos objectos é mostrado em representação estroboscópica (representação da posição em intervalos de tempo iguais). Este tipo de representação é fundamental para uma interpretação imediata dos movimentos, na medida em que permite analisar simultaneamente — de modo directo e de modo indirecto — todas as características relevantes do movimento: a trajectória, a variação de velocidade e a aceleração. Por exemplo, na figura 3, mostram-se três objectos que se deslocam segundo trajectórias rectilíneas, um com velocidade constante (portanto com aceleração nula), outro com velocidade crescente (logo, com aceleração com o mesmo sentido da velocidade) e um terceiro com velocidade decrescente (portanto, com aceleração de sentido oposto à velocidade).

FIGURA 3

**Representação do movimento de três objectos com características diferentes (NEWTON)**

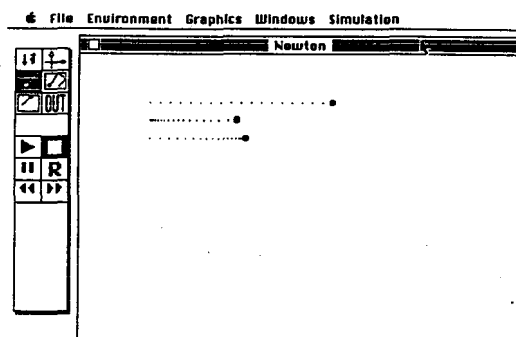


FIGURA 4

Representação do lançamento de um objecto segundo uma concepção alternativa (NEWTON)

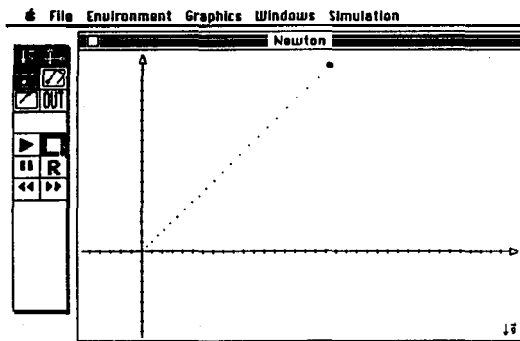
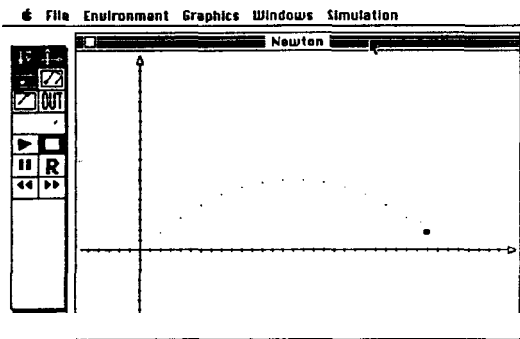


FIGURA 5

Representação do lançamento de um objecto segundo o modelo aceite pela comunidade científica (NEWTON)



NEWTON permite igualmente a representação de todas as grandezas vectoriais (velocidade, força, aceleração, etc.) directamente sobre as diferentes posições, de modo a permitir aos alunos analisar como variam em instantes sucessivos.

A característica mais original de NEWTON consiste na possibilidade que oferece ao aluno de utilizar diferentes concepções sobre o movimento e confrontá-las com as suas implicações. Por exemplo, a fig. 4 mostra como se comportaria um objecto que é lançado ao ar admitindo que é válida a concepção alternativa «força é proporcional à velocidade». Com este modelo, um objecto lançado ao ar nunca mais regressaria ao solo...

Contraste-se esta representação com a representação de um lançamento segundo as leis da mecânica (fig. 5).

NEWTON permite ao aluno a investigação de muitas outras situações. Por exemplo, a fig. 6 foi obtida com um objecto que foi lançado rectilíneamente da esquerda para a direita, com velocidade constante, e em seguida foi submetido a uma força perpendicular apenas durante um certo intervalo de tempo. Resultados preliminares obtidos com a utilização de NEWTON por alunos mostram que a maioria dos alunos (e alguns professores...) supõem que um objecto nessas condições, após deixar de ser actuado pela força perpendicular à trajetória rectilínea inicial, se deslocaria segundo uma trajetória paralela à inicial — fig. 7.

Um outro exemplo de uma situação possível de ser explorada (com modelos científicos ou alternativos) é o lançamento de um objecto de um avião. Com atrito desprezável, onde cai o objecto? Na vertical do local onde é lançado, à frente ou atrás?

Apesar de alguns autores reforçarem a importância dos alunos utilizarem os seus próprios modelos e concepções alternativas não há ainda na literatura referências explícitas aos efeitos cognitivos da utilização de laboratórios conceptuais implementados em computador que permitam concluir sobre as potencialidades e implicações desta nova modalidade de utilização

FIGURA 6

Movimento de um objecto submetido durante um certo período de tempo a uma força (NEWTON)

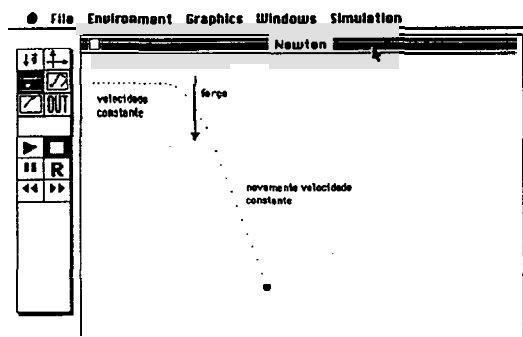
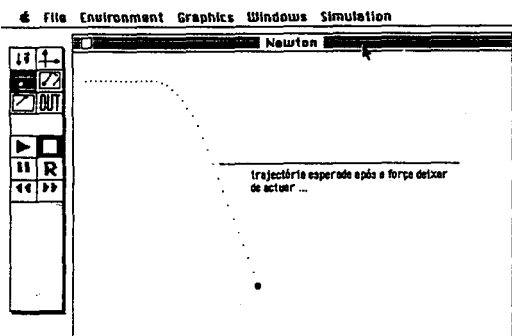


FIGURA 7

**Movimento de um objecto submetido durante um certo período de tempo a uma força: as expectativas da maioria dos alunos (NEWTON)**



de computadores no ensino. Algumas questões podem desde já ser levantadas, suscitadas por esta nova modalidade de utilização de computadores: 1) o uso de modelos alternativos é factor de confusão ou contribui para reestruturar de modo significativo a estrutura conceptual dos alunos?; 2) A manipulação de variáveis em ambientes computacionais tem o mesmo estatuto cognitivo que a manipulação em situações reais?; 3) Como se processa a aprendizagem num laboratório conceptual?; 4) Como se processa o confronto entre a simulação e a realidade?

Ainda não dispomos de respostas adequadas a estas questões que estão a ser objecto de um projecto de investigação em curso.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arsac, J. (1987). *Les Machines à Penser. Des Ordinateurs et des Hommes*. Paris: Seuil.
- Becker, H. (1987). Using Computers for Instruction, *Byte*, February.
- Clark, R. (1983). Reconsidering Research on Learning from Media, *Review of Educational Research*, 53: 445-460.
- Clark, R., & Solomon, G. (1986). Media in Teaching. In *Handbook of Research on Teaching* (American Educational Research, Ed.), N.Y.: Collier Mcmillan.
- Dede, C. (1986). A Review and Synthesis of Recent Research in Intelligent Computer-Assisted Instruction, *Int. J. Man-Machine Studies*, 24: 329-353.

- diSessa, A. (1988). The Third Revolution in Computers and Education, *J. Rer. Sc. Teaching*, 24(4): 343-367.
- Driver, R. (1981). Pupils' alternative Frameworks in Science, *Eur. J. of Sc. Education*, 3: 93-101.
- Driver, R. (1983). *The Pupil as Scientist*. Milton Keynes: Open University Press.
- Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A. (1985). *Children's Ideas in Science*. Milton Keynes: Open University Press.
- Giordan, A. & Vecchi, G.. *Les Origines du Savoir. Des conceptions des Apprenants aux Concepts Scientifiques*. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.
- Lesgold, A & Reif, F. (1983). *Computers in Education. Realizing the Potencial*. Washington: US Gov. Printing Office.
- Linn, M. (1986). *Establishing a Research Base for Science Education: Challenges, Trends and Recommendations*. Report of a National Conference. Berkeley: University of California.
- McCloskey, M., Washburn, A. & Felch, L. (1983). Intuitive Physics: The Straightdown Belief and its Origin, *J. of Exp. Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 9: 636-649.
- Osborne, R. & Freyley, P. (1985). *Learning in Science. The Implications of Children's Science*. London: Heineman.
- Viennot, L. (1979). *Raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire*. Paris: Herman.
- Stella (1987). *Software from High Performance Systems*. Lyme: New Hampshire.

#### RESUMO

Discutem-se neste artigo algumas das aplicações «clássicas» dos computadores no ensino das Ciências e da Física em particular. Após uma breve síntese de alguns dos problemas actuais no ensino da Física, apresenta-se uma nova modalidade de utilização de computadores no ensino desta disciplina: o computador como «laboratório conceptual» onde os alunos podem explorar as suas próprias concepções e modelos e confrontá-las com a realidade.

#### ABSTRACT

In this paper, some of the «classical» uses of computers in Science education, and in Physics in particular, are discussed. After a short synthesis of some contemporary problems in Physics education, a new use of computers in this field is presented: the computer as a «conceptual lab», where students can explore their own concepts and models, and compare them with reality.

**DELACHAUX & NIESTLÉ**

**ACTUALITÉS PÉDAGOGIQUES ET PSYCHOLOGIQUES**

**Collection dirigée par**

***Jean-Paul Bronckart et Pierre Mounoud***

*Dans la même collection:*

*J.-P. Bronckart & coll.*  
**Le Fonctionnement des Discours**  
Un modèle psychologique  
et une  
méthode d'analyse

*J.-P. Bronckart, M. Kail &  
G. Noizet*  
**Psycholinguistique de  
l'Enfant**  
Recherches sur  
l'acquisition du langage

*M. Duru-Bellat*  
**Le Fonctionnement de  
l'Orientation**  
Genèse des inégalités  
sociales à l'école

*M. Fayol*  
**Le Récit et sa  
Construction**  
Une approche de  
psychologie cognitive

*A. Giordan & G. De  
Vecchi*  
**Les Origines du Savoir**  
Des conceptions des  
apprenants aux concepts  
scientifiques

*J. Houssaye*  
**École et Vie Active**

**Andrew W. ELLIS**

**LECTURE, ECRITURE  
ET DYSLEXIE**

**Une Approche cognitive**

**DELACHAUX & NIESTLÉ**

*G. Paicheler*  
**Psychologie des Influences  
Sociales**  
Contraindre, convaincre,  
persuader

*B. Schneuwly*  
**Le Langage Écrit Chez  
l'Enfant**  
La production des textes  
informatifs et argumentatifs