

## **Didactique computationnelle, évocation d'un projet de recherche**

N. Balacheff  
DidaTech  
Laboratoire LSD2  
CNRS et UJF, Grenoble

La modélisation des processus didactiques constitue un domaine de question commun aux didacticiens et aux chercheurs en Intelligence Artificielle (I.A.). Chacune des deux communautés a abordé ces questions par des voies historiques différentes. Pour ce qui est de l' I.A., c'est aux États-Unis que l'on peut situer la naissance de ces recherches, avec le questionnement épistémologique ouvrant à la mise en évidence des spécificités d'une connaissance constituée en objet d'enseignement initié par William Clancey dans les années 80. Plus récemment, des questions ont été ouvertes sur le rôle des situations et de leurs caractéristiques dans la construction du sens. C'est le courant du "situated learning", semble-t-il porté par L. Resnick et J.S. Brown. Ces problématiques sont en fait très différentes de celle que nous développons et explorons en France depuis une vingtaine d'année, néanmoins elles montrent des points de convergence, sinon dans la formulation des problèmes du moins dans la reconnaissance de la résistance de la connaissance au projet d'enseignement qui en est la source. De façon assez paradoxale, on peut noter que c'est dans le domaine des mathématiques que les informaticiens ont fait les progrès les plus importants, mais que les relations entre les communautés de recherche "computer science" et "mathematics education" sont restées longtemps très limitées.

En France, les équipes du GDR "Didactique" et du PRC I.A. conduisant des travaux sur le thème des environnements d'apprentissage informatisés pour l'enseignement ou la formation se sont nettement rapprochées ces dernières années. Des collaborations se sont engagées comme en atteste l'organisation commune des Journées *EIAO de Cachan*<sup>1</sup>. Plus significativement encore, des coopérations concrètes entre informaticiens et didacticiens ont été développées pour conduire des actions de recherche, notamment : APLUSIX au LRI (Orsay), CABRI-géomètre au laboratoire LSD2 de l'IMAG (Grenoble), DEFI à l'IRMAR (Rennes), ELISE et STUDIA au LIUM (Le Mans), MENTONIEZH à l'IRISA (Rennes). Ces collaborations ont permis la création d'un groupe commun soutenu à la fois par le GDR "Didactique" et le PRC I.A.

---

<sup>1</sup> EIAO pour Environnement Interactif d'Apprentissage avec Ordinateur

A mon sens, ce domaine de recherche n'occupe pas dans la communauté scientifique française la place qu'il devrait avoir. Le principal obstacle à sa pleine reconnaissance me semble être le fait que les travaux s'engagent sur un terrain sur lequel sont déjà fortement implantées des entreprises dédiées à l'innovation à la fois pédagogique et technologique : poursuite du vieux rêve de technologies nouvelles de formation promettant des environnements "high tech." qui, par leur capacité à rendre visible l'invisible, à offrir des objets virtuels à la manipulation directe, et à gérer une intervention didactique discrète (coaching), permettront de reconstituer les conditions d'apprentissage permettant une authentique activité, une interaction sociale féconde (collaborative learning), une construction du sens dans une situation proche de la réalité (apprenticeship). L'expression de ce vieux rêve est ici ma traduction libre du discours d'un chercheur nord-américain (Brown 1989), qui exerce l'influence la plus remarquable sur ce domaine dans le cadre de l'approche dite des "sciences cognitives". Bien sûr les choses ne sont pas aussi faciles, les produits offerts déçoivent souvent le consommateur crédule pour qui la mise en avant des performance techniques tient le plus souvent lieu de justification, les prototypes eux-mêmes sont rarement à la hauteur des articles qui en décrivent les spécifications.

Comment se démarquer de l'innovation, de ses illusions et de ses zéloteurs ? Cette question se pose aussi bien pour le didacticien que pour le chercheur en I.A. L'un comme l'autre a bien du mal à faire reconnaître le caractère fondamental de ses travaux, tant la confusion est facile. Cette confusion est encore facilitée par le fait qu'une recherche sur les environnements d'apprentissage informatisés est en général associée étroitement à une production effective sous forme de prototype, voire de produit. La difficulté est familière au didacticien déjà confronté à la clarification du statut de l'ingénierie didactique dans ses propres travaux. De plus, pour ce dernier, s'ajoutent les craintes plus ou moins clairement exprimées, mais fréquentes, d'une informatique envahissante qui conduirait à la disparition de l'enseignant, voire de l'élève, des problématiques didactiques ...

Il n'est pas possible dans le cadre des quelques pages de ce compte-rendu de présenter en détail les questions que l'on peut actuellement identifier dans le domaine de la modélisation informatique des processus didactique et qui entrent dans le champ d'intérêt du didacticien. On peut trouver un premier essai dans cette direction dans un texte destiné à la communauté informatique (Balacheff 1991) ; par ailleurs un numéro spécial de la revue *Recherches en Didactique des Mathématiques* (RDM, à paraître début 1994) fait un tour assez complet de certaines de ces questions. En revanche, dans les limites de ce texte, je tenterai de situer ce questionnement par la présentation de quelques mots-clés.

Qu'est ce que l'I.A. ? C'est la première question que posera le didacticien. Essayer de répondre est un peu téméraire, du fait de la présence du mot *intelligence* toute tentative provoque des réactions vigoureuses. J'essaierai cependant. On peut caractériser l'intelligence artificielle comme étant, à la fois, la science et la technologie des représentations et traitements de l'information

pour la production de dispositifs dont les comportements paraissent raisonnés pour l'observateur humain. En fait, l'I.A. fait passer l'informatique de l'ère des technologies de l'information à celle des technologies cognitives. Son objet est la modélisation des connaissances et des raisonnements pour produire et contrôler des dispositifs aux compétences et aux performances au moins égales à celles de l'acteur humain. Les concepts sous-jacents aux théories développées en I.A. et les techniques employées, sont complexes et il n'est bien sûr pas question de les évoquer ici. Je remarquerai seulement que dans bien des domaines de l'I.A., démonstration automatique, vision, geste, parole, etc., les modélisations mises en œuvre (implemented) ne sont pas directement identifiables à des modèles anthropomorphiques. C'est la première raison pour laquelle la modélisation et la réalisation de processus didactiques soulèvent des problèmes spécifiques dans le champ de l'I.A. comme dans celui de la didactique.

Pour le didacticien il ne suffira pas d'affirmer que les dispositifs réalisés "tournent", pour reprendre une expression familière, pour assurer qu'ils sont la réalisation d'un processus didactique pertinent. Il faudra encore pouvoir décrire la spécificité de ce dispositif au regard de la connaissance à enseigner et de la connaissance de référence, décrire la nature des interactions qu'il permet, pour quel apprentissage, et finalement dire les conditions de son insertion dans un processus didactique. Ces questions, qui relèvent fondamentalement d'une problématique épistémologique, s'adressent aussi au chercheur en intelligence artificielle dans la mesure où l'on est assez rapidement conduit à une interrogation épistémologique sur les concepts et les outils informatiques eux-mêmes.

Le domaine de recherche que constitue la modélisation informatique des processus didactique me semble être une extension naturelle des travaux conduits jusqu'ici en didactique des mathématiques. Notamment sous l'impulsion de Guy Brousseau, a été développée une théorie des situations didactiques qui fonctionne de facto dans nos travaux comme un outil d'ingénierie et de modélisation, tout autant que nous exploitons sa valeur prédictive et explicative des phénomènes de didactique. Le moyen d'explicitation de cette théorie est essentiellement la langue naturelle, elle en exploite la puissance d'expression mais hérite aussi de ses imprécisions et de ses ambiguïtés. Le passage à une modélisation formelle serait significatif de la maturité de nos travaux, de leur capacité à expliciter les phénomènes qui nous occupent en vue d'un calcul assez explicite et rigoureux pour avancer dans l'évaluation du caractère prédictif de nos théories. L'enjeu théorique de la modélisation informatique des processus didactique est donc, à mon sens, de se soumettre à la discipline d'une modélisation calculable, au sens du calcul par une machine<sup>2</sup>, et de conduire cet effort dans le paradigme de la didactique expérimentale développé par Guy Brousseau (1978, 1986).

Au prix d'un léger néologisme, conforté par l'usage anglo-saxon, je vois volontiers ici les bases d'une *didactique computationnelle*.

---

<sup>2</sup> i.e. un opérateur non susceptible de suppléer par l'interprétation aux lacunes de l'explicitation langagière.

L'objet de la didactique computationnelle est l'étude des problèmes liés à la construction, à la mise en œuvre et au contrôle de processus didactiques représentés par des modèles symboliques calculables au sens du calcul par un dispositif informatique. Cette branche de la didactique est inséparable de la didactique expérimentale. Privée du questionnement épistémologique et de la validation de ses implémentations dans une démarche expérimentale rigoureuse, elle ne serait que la forme savante d'une ingénierie innovante, pédagogique ou technologique, de sens commun.

Les débuts des recherches dans le domaine qui nous intéresse, peuvent être identifiés au projet SCHOLAR<sup>3</sup> de modélisation du dialogue orienté vers la transmission de connaissances, engagé aux États-Unis au début des années 70. Une autre ligne de recherche développée un peu plus tard, et qui jouera un rôle essentiel, est le projet de passer de systèmes qui "font" (les systèmes experts) à des systèmes qui enseignent ce qu'ils savent faire. Un projet emblématique de cette orientation est le projet GUIDON conduit par Clancey (1983) dont j'évoquais plus haut le rôle initiateur dans ce domaine. Bien d'autres projets, importants par leurs réalisations et la nature des questions qu'ils abordent, on vu le jour et se sont développés au cours des vingt dernières années. On en trouve un panorama à peu près exhaustif dans Wenger (1987). Le tour d'horizon de Wenger est essentiellement anglo-saxon, pour ce qui concerne la France on peut se faire une idée assez précise grâce aux actes des *journées EIAO de Cachan* et au numéro spécial, à paraître, de RDM.

De mon point de vue, le résultat important de ces développements est la naissance d'une nouvelle épistémologie des systèmes artificiels. La problématique initiale (McCarthy 1977) est en quelque sorte retournée. L'objet n'est plus seulement l'étude des "faits du monde" susceptibles de modèles calculables, et des questions de validation des résultats de ces calculs, mais plus généralement l'étude des rapports entre la connaissance représentée et la représentation elle-même. Le concept clé qui a émergé de cette problématique est le concept de fidélité (fidelity) : "Researchers have identified several different kinds of fidelity that serves in different situations. There are at least four kinds : *physical fidelity* (feels the same), *display fidelity* (looks the same), *mechanistic fidelity* (behave the same), and *conceptual fidelity* (is thought of as the same)." (Burton 1988, p.119-121). À l'évidence cette problématique est très éloignée, et d'un point de vue théorique, et du point de vue de la nature des résultats qu'elle peut produire, des problématiques que nous avons développées et des résultats que nous avons pu obtenir quant aux rapports entre la connaissance et ses représentations, et plus spécialement entre connaissance à enseigner et connaissance de référence. Je propose de reprendre ces questions, pour l'étude des rapports entre modèles calculables et objets de leur modélisation, sous le thème de la *transposition informatique* (Balacheff 1993a).

---

<sup>3</sup> Pour des références précises on se reportera à (Wenger 1987).

L'approche empirique des rapports entre les prototypes informatiques produits (ou les produits tout simplement) et leurs mises en œuvre sur le terrain a conduit à d'autres conceptualisations, tels le "situated learning" ou le "situated cognition" (Brown 1989), l'apprenticeship" (Collins *et al.* 1989), les distinctions entre valeur d'usage et valeur d'échange de la connaissance (Lave *et al.* 1989). Ce mouvement de conceptualisation est largement soutenu aux États-Unis par une réflexion critique sur l'École comme lieu institutionnel d'apprentissage. Je vois d'abord ici les effets d'une rationalisation ad hoc des échecs de la révolution informatique initialement promise plutôt que ceux des théorisations à proprement parler. Cette orientation est probablement la conséquence de l'absence de prise en compte de la spécificité épistémologique et didactique des processus de formation ou d'enseignement considérés. En revanche, ces concepts attestent de phénomènes que la théorie des situations didactiques nous permet de saisir, de problématiser et d'étudier. Il faut aussi s'attendre à ce que ces phénomènes conduisent à de nouveaux concepts dans le champ de la didactique expérimentale elle-même. Il en est déjà ainsi avec l'explication, comme type de phénomène didactique, dont la recherche en didactique s'est peu préoccupée mais qui constitue un élément central de l'appareillage conceptuel dans le domaine qui nous intéresse.

L'une des questions les plus immédiatement posées à la didactique computationnelle est celle de la modélisation de l'apprenant<sup>4</sup>. Les outils théoriques de la didactique expérimentale m'ont conduit à préciser les rapports de deux niveaux fondamentaux de modélisation : modélisation comportementale et modélisation épistémique (Balacheff 1991, 1993b), la première visant à la reproduction par le calcul des comportements de l'apprenant à l'interface du système, la seconde visant à rendre compte de la signification des comportements identifiés, autrement dit la nature des conceptions qui les sous-tendent. Le passage du modèle comportemental au modèle épistémique est l'objet du diagnostic. Dans ce contexte la principale question devient celle de préciser la relation de ces modèles avec ceux validés par la didactique expérimentale.

La didactique computationnelle a aussi pour objet des questions spécifiquement didactiques, dont la principale peut être formulée abruptement en posant la question de savoir ce qui est calculable dans les processus didactique. La prise en charge par la machine d'un processus didactique conduit à poser la question de la modélisation calculable de la dévolution, de l'institutionnalisation, voire du contrat. En fait, il est probable qu'une part seulement de chacun de ces phénomènes didactiques sera modélisable pour être calculée. Ces questions ne peuvent donc être considérées qu'au sein d'une problématique envisageant le dispositif informatique comme partie d'un système plus global qui le comprend : le système didactique.

D'autres questions entrent dans le champ commun de la didactique expérimentale et de la didactique computationnelle : les coopérations possibles entre environnements d'apprentissage

---

<sup>4</sup> Ce terme désigne l'élève dans l'institution scolaire, le formé dans une institution de formation, voire l'autodidacte. D'une façon générale, il s'agit de l'individu pris dans une situation explicitement organisée pour permettre un apprentissage.

informatisés et enseignants, les conditions de ces coopérations, la nature du contrôle possible de la part de l'enseignant, passage d'information, gestion de la mémoire de la classe comme problème de la continuité des processus didactiques mais aussi problème explicite des choix d'informations à conserver par le système ...

## Références

- Balacheff, N. (1991) Contribution de la didactique et de l'épistémologie aux recherches en EIAO. in Bellissant, C. (Ed.) *Actes des XIII<sup>e</sup> Journées francophones sur l'informatique*. Grenoble : IMAG.
- Balacheff N. (1993a) Transposition informatiques. in R. Gras et al. (Eds) *Vingt ans de didactique des mathématiques en France*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Balacheff N. (1993b) Modélisation de l'apprenant. *Recherches en Didactique des Mathématiques*. (à paraître)
- Brousseau, G. (1978) L'observation des activités didactiques. *Revue française de pédagogie*. 45
- Brousseau, G. (1986) Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques, *Recherches en didactique des mathématiques* . VII (2) pp. 33-116
- Brown, J.S. (1989) *Situated learning – Toward a new epistemology of learning*. Palo Alto : Institute for research on learning.
- Burton, R. R. (1988) The Environment Module of Intelligent Tutorial Systems. In Polson, M. C.; & Richardson, J. J. (Eds.) *Foundations of Intelligent Tutorial Systems*. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates. pp.108-142.
- Clansey W.J. (1983) The epistemology of a rule-based expert system: a framework for explanation. *Artificial Intelligence* Vol. 20 (3) pp.215-251
- Collins, A.; Brown, J.S.; & Newman, S.E. (1989) Cognitive apprenticeship : teaching the craft of reading, writing and mathematics. In Resnick, L.B. (Ed.) *Knowing, Learning and Instruction*. Hillsdale, N.J. : Lawrence Erlbaum Associates. pp.453-494.
- Lave, J.; & Wenger, E. (1989) *Situated learning : Legitimate Peripheral Participation*. Research Report N°IRL 89-0013. Palo Alto : Institute for Research on Learning.
- McCarthy, J. (1977) Epistemological Problems of Artificial Intelligence. *Proceedings IJCAI-77*. Cambridge, MA. pp.1038-44.
- Wenger E. (1987) *Artificial Intelligence and Tutoring Systems*. Los Altos, California : Morgan Kaufmann Publisher.