

Apprentissage technologique, un simulateur comme outil d'évaluation des compétences

Bernard Fraysse

Volume 28, Number 2, 2005

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1087222ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1087222ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

ADMEE-Canada - Université Laval

ISSN

0823-3993 (print)

2368-2000 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Fraysse, B. (2005). Apprentissage technologique, un simulateur comme outil d'évaluation des compétences. *Mesure et évaluation en éducation*, 28(2), 1–30. <https://doi.org/10.7202/1087222ar>

Article abstract

This article presents an attempt at technological innovation of a digitally controlled machine-tool simulator. It is concerned with the effects of this training in order to optimize not only the technical process but also the training. The work has been carried out by a team of researchers in mechanical engineering and educational science. The starting point is the question of skills, dealt with in the context of technological training from the point of view of the activities. The initial results are presented and analyzed, which opens up a promising field of research.

Apprentissage technologique, un simulateur comme outil d'évaluation des compétences

Bernard Fraysse

Université Paul-Sabatier, Toulouse

MOTS CLÉS : Évaluation, innovation, compétences, activités, formation technologique

L'article présente une tentative d'innovation en formation technologique d'un simulateur de machine outil à commande numérique. Il s'agit d'évaluer les effets de cette formation afin d'optimiser aussi bien le processus technique que de formation. Le travail est mené par une équipe multidisciplinaire de chercheurs en génie mécanique et en sciences de l'éducation. Le point de départ est la question des compétences traitée en contexte de formation technologique sous l'angle des activités. Les premiers résultats sont présentés et analysés, ouvrant des perspectives de recherche prometteuses.

KEY WORDS : Evaluation, innovation, skills, activities, technological training

This article presents an attempt at technological innovation of a digitally controlled machine-tool simulator. It is concerned with the effects of this training in order to optimize not only the technical process but also the training. The work has been carried out by a team of researchers in mechanical engineering and educational science. The starting point is the question of skills, dealt with in the context of technological training from the point of view of the activities. The initial results are presented and analyzed, which opens up a promising field of research.

PALAVRAS-CHAVE : Avaliação, inovação, competências, atividades, formação tecnológica

O artigo apresenta uma tentativa de inovação em formação tecnológica de um simulador de máquina, utensílio com mecanismo de comando numérico. Trata-se de avaliar os efeitos desta formação a fim de otimizar quer o processo técnico, quer o de formação. O trabalho é conduzido por uma equipa multidisciplinar de investigadores em engenharia mecânica e em ciências da educação. O ponto de partida é a questão das competências tratada em contexto de formação tecnológica do ponto de vista das actividades. Os primeiros resultados são apresentados e analisados, abrindo perspectivas de investigação promissoras.

Note de l'auteur : Toute demande peut être acheminée par courriel à l'adresse suivante : fraysse@insa-toulouse.fr – L'auteur est Maître de conférence à l'INSA de Toulouse, chercheur au Laboratoire d'études des méthodes modernes d'enseignement (LEMME) de l'Université Paul-Sabatier, Toulouse.

Introduction

L'article qui suit présente une tentative d'innovation en formation technologique. Il s'agit de la mise en place, dans le champ du génie mécanique, d'un simulateur de machine outil d'usinage de pièce, à commande numérique. Cette recherche, actuellement en cours, a pour visée l'essai-évaluation d'un dispositif de formation universitaire sur une durée de trois ans. Elle consiste à évaluer les effets d'une formation avec simulateur auprès de plusieurs cohortes d'étudiants, de façon à optimiser à la fois le simulateur et le processus de formation. La recherche implique donc un travail coopératif entre chercheurs en éducation et enseignants-chercheurs universitaires spécialistes de génie mécanique et engagés dans le processus de conception du simulateur. Notre premier travail conduit à la réflexion suivante : en quoi un simulateur peut-il permettre une amélioration des compétences ?

Dans un premier temps, nous aborderons la question des compétences d'un point de vue théorique, en présentant les grandes orientations définissant cette notion ; nous verrons ensuite comment cette notion se décline en contexte de formation technologique ; enfin, nous tenterons de montrer comment l'entrée par les activités peut être pertinente pour évaluer le travail simulé.

Dans un second temps, nos premiers résultats, encore partiels puisque la recherche est en phase initiale, seront présentés dans un processus itératif d'amélioration du dispositif de formation-innovation. L'analyse des résultats et leur degré de pertinence nous permettront de tracer des perspectives pour la suite de notre travail.

Contexte de la recherche

Quel que soit le niveau de formation considéré, les enseignements technologiques de fabrication comportent toujours un nombre important de travaux pratiques sur machine. De plus, pour des raisons de sécurité, ces travaux pratiques se font en petits groupes. Ils sont donc très coûteux sous l'angle du volume horaire par formateur. Pour répondre à la demande des industriels relativement à l'amélioration de la qualité et à la diminution des temps de production, les fabricants mettent sur le marché des machines outils de plus en plus complexes. Ceci entraîne donc une augmentation du prix d'achat et du coût de fonctionnement mais aussi un allongement de la durée d'apprentissage. En conséquence, ces temps de formation importants, associés à des taux horaires

très élevés, rendent aujourd'hui la formation des opérateurs particulièrement onéreuse. Dans le contexte économique actuel, il devient maintenant indispensable de trouver une réponse à la question suivante : comment conserver une réelle qualité de formation et un budget limité, alors que les taux horaires et les temps d'apprentissage sont en constante augmentation ?

Pour diminuer le coût de ces formations, il est aujourd'hui envisageable de remplacer un certain nombre de TP machine par des simulations informatiques. Malheureusement, les simulateurs existants ne sont pas adaptés à ce type d'utilisation. Le développement d'un simulateur de machine approprié permettrait de consacrer l'essentiel de la durée du TP à l'usinage proprement dit.

Nous présentons donc un simulateur d'une machine outil à commande numérique, utilisé en formation auprès d'étudiants de maîtrise de l'Université Paul-Sabatier, à Toulouse. Nous souhaitons comprendre quelles sont les compétences requises pour évaluer ce type de simulateur et comment nous pouvons évaluer celles-ci. Dans un premier temps, nous traiterons des compétences, notion souvent utilisée, tant en contexte professionnel qu'en formation ; ensuite, nous centrerons notre propos sur l'apprentissage des situations, en référence à la didactique professionnelle ; enfin, nous montrerons comment, par le cadrage des activités, nous pouvons mieux cerner les compétences des apprenants face au simulateur (nous le ferons en nous appuyant sur les résultats préliminaires du travail de recherche en cours).

Les compétences requises

Éléments de définition

Le concept de compétence a été exposé dans de nombreuses études. Nous citerons tout d'abord Le Boterf (1995) : « La compétence n'est pas encore un concept opératoire, c'est un concept en voie de fabrication », ce qui signifie qu'il est très lié à celui de travail et évolue dans le domaine de la sociologie du travail, avec l'introduction massive des nouvelles technologies. Dans notre cas, nous verrons en quoi le concept de compétence est utile dans le processus d'évaluation du simulateur, la réflexion sur la compétence montrant deux types de conception qui s'opposent : tout d'abord une conception behavioriste, synonyme de conduite, de comportements structurés en fonction d'un but, d'une action, d'une tâche précise, observable. L'autre conception se base sur une potentialité intérieure, invisible, une capacité générative susceptible d'engendrer une infinité de conduites adéquates à une infinité de situations nouvelles.

Pour Montmollin (1984), la compétence est un ensemble stabilisé de savoirs et de savoir-faire, de conduites types, de procédures standards, de types de raisonnement que l'on peut mettre en œuvre sans apprentissage nouveau, qui sédimentent et structurent les acquis de l'histoire professionnelle : elles permettent l'anticipation des phénomènes, l'implicite dans les instructions, la variabilité dans la tâche.

La trilogie que Katz a élaborée en 1974 distingue trois types de compétences : les compétences conceptuelles (analyser, comprendre, agir de manière systémique), les compétences techniques (méthodes, processus, procédures, techniques d'une spécialité) et les compétences humaines (dans les relations intra et interpersonnelles). Elle s'avère pratique car elle recoupe un découpage plus classique, qui décompose les compétences en savoirs, savoir-faire et savoir-être.

On notera la proposition de Le Boterf (1995, 1997) qui distingue plusieurs éléments constitutifs des compétences : savoirs théoriques, savoirs procéduraux, savoir-faire, procédures, savoir-faire expérimentiels, savoir-faire sociaux et savoir-faire cognitifs. Selon Le Boterf, la compétence est la mobilisation ou l'activation de différents types de savoirs, dans une situation et un contexte donnés.

Dans le *Traité des sciences et des techniques de la formation*, Sandra Bellier (1999) affirme que la compétence permet d'agir ou de résoudre des problèmes professionnels de manière satisfaisante dans un contexte particulier, en mobilisant diverses capacités de manière intégrée. Elle différencie aussi cinq approches : l'approche par les savoirs, l'approche par les savoir-faire, l'approche comportementale, l'approche mixte (savoir, savoir-faire et savoir-être) et l'approche par les compétences cognitives. Elle fait aussi la différence entre définir LA compétence en général et décrire LES compétences en particulier.

L'usage de la notion de compétence étant de plus en plus répandu, les chercheurs en éducation l'ont également envisagé en tant qu'attribut ne pouvant être apprécié que dans une situation donnée. La compétence tend à se substituer à d'autres notions qui prévalaient antérieurement comme celle des savoirs et des connaissances dans la sphère éducative, ou celle de qualification dans la sphère du travail. La Charte des programmes peut être considérée, de ce point de vue, comme l'expression des principes qui organisent et légitiment le passage d'un enseignement centré sur les savoirs disciplinaires à un enseignement défini par des compétences vérifiables dans des situations et des tâches spécifiques et visant à produire ces compétences. La notion de compétence apparaît dans la Charte dans les *principes* définissant les programmes :

[...] le programme ne doit pas être un empilement de connaissances incompatibles par son ampleur avec les facultés des élèves. Il doit, à chaque niveau, faire la liste des compétences exigibles impliquant l'acquisition de savoirs et savoir-faire correspondants, en prenant en compte les capacités d'assimilation des élèves et en s'assurant de la faisabilité de ce qui est proposé.

Ainsi conçu, le programme devient un «contrat d'enseignement», condition et conséquence du primat accordé à l'élève dans la loi d'orientation de 1989 qui place celui-ci au cœur du système éducatif.

Dans le domaine du scolaire, ce sont les finalités et le rôle de l'école, les objectifs d'apprentissage, les dispositifs d'enseignement, les principes didactiques disciplinaires et l'évaluation qui sont remis en question. Divers travaux de recherche fournissent un ensemble de procédures pour saisir la notion de compétence. Ces procédures nous éclairent sur les conditions d'introduction de cette notion dans le champ éducatif et sur les démarches choisies dans l'établissement d'un appareil conceptuel. Trois postures peuvent être distinguées face au traitement de la compétence en contexte d'éducation.

La première consiste d'abord à définir la notion et à la situer dans un cadre théorique avant de la mettre à l'épreuve. Ainsi, Allal (1999) propose une définition précise et opérationnelle à partir de Gillet (1991), en tant qu'organisation des savoirs dans un système fonctionnel. Elle présente les principales dimensions qui interviennent : le réseau des composantes cognitives, affectives, sociales et sensori-motrices ; leur application à une famille de situations et l'orientation vers une finalité. La compétence se définit par ailleurs en opposition à d'autres concepts comme celui de «performance». D'autres auteurs, comme Baudouin (1999), s'interrogent sur la place de la compétence dans un modèle théorique renouvelé en didactique. Ainsi, le triangle apprenant-formateur-savoir est complété par un quatrième pôle où se situe l'activité, la compétence invitant à analyser les déterminations multiples entre savoir formalisé et activité.

La seconde posture s'ancre dans les problèmes et les enjeux du monde du travail, de la formation ou de l'école ; la compétence émerge alors comme une notion permettant de discuter ou de résoudre les problèmes de société telle la fonction de l'école. Ainsi Perrenoud (1999) saisit la question du transfert de connaissances via l'approche par compétences et à travers la *mobilisation des ressources*. Parmi ces ressources, il pointe les savoirs partagés aussi bien que des connaissances privées, propres au sujet. L'idée de *transfert* évoque un *déplacement* de la connaissance du lieu de sa construction au lieu de son usage,

mettant l'accent sur l'activité du *sujet*. Ce nouveau *paradigme* aide à seulement mieux poser des problèmes et à bâtir des hypothèses explicatives plus fécondes. Selon Perrenoud (1999), on peut attendre du concept de compétence au mieux une *valeur ajoutée*: sa valeur est une valeur d'usage, on la mesure à sa fécondité théorique et non à sa vérité *absolue*.

Enfin, la troisième posture consiste à analyser les usages de la compétence dans différents domaines: formation, école. Les auteurs qui envisagent cette perspective commencent par constater son emploi et analysent ensuite les conditions de son utilisation, de sa diffusion, de sa transposition et des multiples acceptions et significations qui se développent ainsi; c'est la cas de certains didacticiens tel Bronckart (2004) qui «s'interroge sur les "réalités" qui se trouvent désignés par ces nouveaux concepts, ainsi que sur le statut politique, social et épistémologique du mouvement sous-tendant cette promotion». Lemoyne et Conne (1999) examinent l'introduction du terme compétence dans les documents relatifs à l'enseignement des mathématiques; ils montrent que cette notion n'est pas dotée de références théoriques mais participe d'un mouvement qui reconnaît les connaissances des élèves par la réalisation de tâches successives.

Ces démarches, qui s'inscrivent dans la logique des compétences en contexte éducatif, se caractérisent par une analyse «en situation» des propriétés des tâches ou des activités collectives à apprendre ainsi que par l'analyse des besoins des apprenants dans la maîtrise pratique de ces activités. Les auteurs articulent les pratiques d'intervention et de recherche, soit en adoptant des positions proches de la recherche action ou de l'observation participante, essayant ainsi de construire des savoirs en interaction avec les praticiens; soit en marquant une distinction nette entre pratiques de recherche et pratiques d'intervention, en cherchant des critères de validation scientifique pour les premières.

Milieu scolaire, milieu de formation, milieu de travail, les frontières ne sont pas si étanches; les auteurs faisant référence à la didactique professionnelle illustrent bien ce décloisonnement car en partant des activités, ils représentent un point de convergence pertinent.

On reviendra à l'approche de Samurçay et Pastré (1995). Pour ces auteurs, la compétence, en tant que rapport du sujet aux situations de travail, explique la performance observée en décrivant l'organisation de connaissances construites dans et pour le travail. Les compétences sont donc finalisées (pour une classe de tâches déterminées), opérationnelles (il s'agit de connaissances mobi-

lisables et mobilisées dans l'action et efficaces pour cette action), apprises (soit à travers des formations explicites, soit par l'exercice d'une activité); elles peuvent aussi bien être explicites que tacites.

Pour analyser les compétences et leur développement en formation comme au travail, on s'orientera donc vers l'approche par la didactique professionnelle. Pastré, Samurçay et Plénacoste (1998) indiquent que toute activité de formation commence par établir quelles sont les compétences qu'il s'agit de transmettre, mais seule une analyse du travail portant sur la tâche prescrite et l'activité effective permet de préciser les compétences à transmettre. C'est pour désigner cette dimension importante de la compétence qu'a été introduite la notion de savoirs de référence, définie comme un ensemble de savoirs reconnus par la profession sur les objets, domaine de savoirs en acte efficaces manifestés dans les pratiques professionnelles.

Pour notre recherche sur la formation par simulateur, nous considérons que la didactique professionnelle constitue le cadre d'analyse le plus adéquat pour comprendre comment cet outil aide à construire les compétences professionnelles, car le simulateur contient des «aspects métiers» qui sont acquis pendant la vie de travail. Notre objectif didactique est d'approcher la situation de travail par la situation de formation afin de rendre cette dernière plus efficace.

Élargissement du champ théorique

L'opérationnalisation sur le terrain du concept de compétence donnant lieu à certaines difficultés, il semble donc pertinent de prendre en compte des éléments de la théorie de l'activité humaine en complément des modèles classiques. L'approche par les compétences favorisant le centrage sur l'apprenant a le mérite de reconnaître les savoir-faire implicites associés au travail.

Cherchant à mettre en relation deux sphères, celle de l'éducation et celle du travail, les réflexions sur la formation professionnelle continue vont être consolidées, à partir d'expériences menées dans les entreprises mais également dans l'Éducation nationale. Ce modèle pédagogique des compétences est, dans un premier temps, introduit dans l'enseignement professionnel et technique, avant d'être étendu à l'ensemble des filières d'enseignement.

L'installation d'un Comité national des programmes composé de représentants de l'Éducation nationale et du monde professionnel va instituer une charte des programmes. Avec la mise en place d'un Comité national des programmes, les formations technologiques s'organisent aujourd'hui autour de

la notion de compétences. Les programmes universitaires à visée de formation technologique professionnelle ont adopté progressivement cette perspective. Ceux-ci énoncent les principes qui organisent et légitiment le passage à un enseignement visant à produire des compétences vérifiables dans des situations et des tâches spécifiques, et ce en matière de référentiels pour l'enseignement technique et professionnel, à partir des compétences qui leur sont étroitement associées. Le référentiel de diplôme est supposé définir «les compétences attendues pour exercer une activité dans le secteur professionnel concerné et les conditions dans lesquelles elles doivent être évaluées. Il est le support principal de l'évaluation des acquis en vue de la délivrance du diplôme en formation initiale comme en formation continue».

Ce référentiel est donc présenté comme un outil permettant de mettre en correspondance étroite offre de formation et distribution des activités professionnelles. L'ensemble de ces diplômes, définis par des référentiels et, à l'université, par des maquettes d'habilitation, a pour vocation d'instaurer une évaluation des acquis (sous forme de contrôle continu) en termes de «capacité à» résoudre une situation, utiliser une connaissance, etc. En France, l'évaluation devient donc l'instrument d'une politique éducative qui cherche à infléchir le mode de contrôle de l'examen national. Les référentiels de diplôme se présentent comme un «contrat» entre les élèves, les employeurs et les formateurs.

Que ce soit par le biais de référentiels ou d'objectifs de référence, cette tentative de rationalisation du savoir conduit à ne plus définir les programmes à partir de savoirs disciplinaires mais à partir des situations que les élèves ou les étudiants devront être en mesure de maîtriser. Dans le monde de l'entreprise, l'appel à la notion de «compétence» s'effectue corrélativement à la mise en place de politiques orientées vers la recherche de flexibilité, tant dans le domaine de l'emploi que dans celui de l'organisation du travail et de la gestion du personnel.

La question qui se pose donc est celle des lieux d'identification des compétences : on voit bien ce déplacement vers le monde professionnel. On postulera donc que c'est dans le travail que les compétences professionnelles s'investissent, se donnent à voir. L'analyse de l'activité au travail va donc contribuer à une meilleure maîtrise des processus en jeu, donc au développement des compétences.

Identifier et évaluer des compétences par la pratique de travail simulé

Selon Samurçay et Pastré (1995), l'un des apports possibles des approches didactiques réside dans la conceptualisation de la compétence comme une dynamique évolutive. L'idée est qu'on ne peut pas comprendre ce qu'est une compétence en termes binaires (on sait faire ou on ne sait pas faire), mais qu'il s'agit plus d'un processus par lequel une compétence se construit et se développe, qui la fait passer successivement par un certain nombre d'états qu'on doit définir, que ce processus ne peut pas s'arrêter et qu'il a du « mouvement pour aller plus loin ». Les études actuelles sur le vieillissement au travail fournissent de beaux exemples de ce processus de développement, par exemple en montrant comment les opérateurs âgés gèrent au mieux leurs ressources cognitives dans la réalisation de leurs activités pour compenser certains processus qui sont en régression au cours du même développement.

L'ergonomie cognitive a certes construit des outils d'analyse fine et précise des compétences, mais sans perspective diachronique. L'analyse comparative des compétences, par différences entre tâche prescrite et activité réelle, ne permet de les appréhender que partiellement, d'une façon synchronique et sans leur dynamique d'évolution. Il est donc nécessaire de concevoir des outils d'analyse de travail qui soient orientés vers les compétences et qui prennent en compte, par exemple, les situations dans lesquelles se produisent des ruptures ou des continuités. Il s'agit donc de construire une théorie de la mobilisation des compétences en commençant par repérer des indicateurs d'évolution.

La dimension développementale est à la fois nécessaire et insuffisante pour construire ces outils d'analyses du travail orientées vers les compétences, car il n'y pas de situations de travail qui ne s'appuient pas sur des conceptualisations. Des études menées sur des tâches dites de bas niveaux de qualification montrent que même dans ces situations, l'efficacité des opérateurs est en relation avec la mobilisation d'un réseau de concepts fortement dépendant du domaine d'actions (Vergnaud, 1992). La perspective épistémologique constitue donc une deuxième dimension à prendre en compte dans les analyses de travail orientées vers les compétences. Par exemple, comme l'a montré Pastré (1999a), la conduite d'une centrale nucléaire fait appel à des champs conceptuels de neutronique, de thermodynamique et d'automatique, mais évidemment dans leurs rapports pragmatiques (et non pas épistémiques) aux situations de travail. Ainsi, l'efficacité de la conduite n'est pas liée à la mise en œuvre des connaissances sur les échanges thermiques, mais à la conceptualisation des équilibres du système qui rendent possibles des organisateurs de l'activité du type « créa-

tion de déséquilibre et compensation» (Pastré, Samurçay & Plénacoste, 1998). En cela, ces concepts techniques deviennent en quelque sorte des «concepts pragmatiques» (Samurçay & Pastré, 1995) qui ne retiennent que des propriétés et des relations utiles pour l'action. Très schématiquement, on peut dire que l'analyse ergonomique dissocie très peu, dans une analyse du travail, ce qui relève de l'ensemble tâche/activité de ce qui relève de la structure conceptuelle des situations, alors que les approches didactiques mettent l'accent davantage sur cette dernière. Ainsi, pour les auteurs en didactique professionnelle, situations, concepts et organisateurs de l'action forment une unité.

On postule alors que les compétences articulent deux catégories d'invariants organisateurs des conduites (Rabardel & Samurçay, 1995): d'une part, des invariants relatifs aux concepts opérationnels du domaine construits par des activités de conceptualisation et de représentation; d'autre part, des invariants relatifs à l'organisation de l'activité, qui s'actualisent en procédures ou schèmes et qui sont associés à des classes de situations.

Selon Vergnaud (1996), la compétence ne peut se définir par la liste exhaustive de toutes les compétences élémentaires qui sont nécessaires pour chaque classe de situations. Dans notre recherche, on a essayé de distinguer les compétences de type technique et de type méthodologique. Les apprenants ont donné leur avis de façon individuelle et par écrit; on a donc utilisé l'autoévaluation pour l'analyse de données. Nous distinguerons deux catégories de compétences. Dans un premier temps, les compétences techniques nécessaires pour faciliter le travail face à une machine outil à commande numérique. Ce sont les compétences initiales acquises pendant la formation et les compétences secondaires acquises de façon continue pendant la vie professionnelle du salarié. Ensuite, les connaissances interface homme – machine, ainsi que l'influence du choix de la stratégie mise en œuvre seront pointées. Enfin, les défauts d'usinage et de montage seront pris en compte. Du point de vue de l'acquisition des compétences techniques, on peut dire que la machine outil à contrôle numérique permet d'établir des relations entre les savoirs théoriques de disciplines diverses acquis durant les cours: thermique, automatique, asservissement, électrotechnique, mécanique, conception, RDM (résistance de matériaux), vibrations, mathématiques. Dans un second temps, les compétences méthodologiques renvoient au savoir-être: travailler en équipe, prendre des initiatives, expliciter des problèmes, prendre confiance en soi, développer la capacité d'anticipation. Ces compétences méthodologiques renvoient également à l'autonomie: travailler seul, aider les autres dans les cadres des relations humaines et prendre en charge une procédure du début à la fin, changer de machine.

Professionaliser l'enseignement technologique : tenter de lier connaissances et activités professionnelles

L'entrée par les activités

La conceptualisation dans l'action est un champ de recherche qui trouve son ancrage théorique chez Piaget (1967), revisité par Vergnaud (1996), et s'applique à l'analyse de l'activité professionnelle. L'action est considérée comme une connaissance organisée et intelligible, un savoir-faire autonome ; la prise de conscience de ce phénomène constitue un véritable travail de conceptualisation. Il existe des objets conceptuels en acte, qui permettent de prélever sur la situation l'information juste, pertinente pour agir. Ces objets conceptuels peuvent provenir éventuellement d'autres domaines d'action. Le travail de conceptualisation, qui s'appuie notamment sur des mécanismes de prise de conscience, prend ses sources dans l'action ; il est d'abord finalisé pour assurer la coordination de l'action (coordination agie) et ensuite pour assurer sa compréhension ou son explication (coordination conceptuelle). Quand la compréhension rejoint la réussite, la coordination agie est donc relayée par une coordination conceptuelle : cette dernière permet au sujet l'accès au lointain, au futur, au virtuel alors que la coordination agie a un faible pouvoir d'anticipation. Pastré (1999a) remarque que « certes la conceptualisation ne s'épanouit vraiment qu'avec le recouvrement du réussir par le comprendre, donc avec la montée en puissance de la représentation, qui permet d'établir la distinction entre transformations matérielles et opérations mentales ». Vergnaud (1996), quant à lui, a montré que la conceptualisation est à l'œuvre dès la coordination agie, en soulignant la continuité de deux manières. Tout d'abord, en généralisant l'usage du concept de schème à toute action organisée du sujet : « Un schème est une organisation invariante de la conduite pour une classe de situations donnée. » Cet auteur distingue quatre composantes dans le schème : buts et sous-buts, règles d'action, invariants opératoires, inférences en situation. Les concepts et les théorèmes en actes sont donc implicites, la conceptualisation est donc au cœur de l'action. Pastré (1999b) éclaire son propos par l'exemple de la conduite de machines où l'opérateur est confronté à des situations de résolution de problèmes pour lesquelles la simple application de procédures ne suffit plus pour maîtriser la situation : on observe là une véritable activité de conceptualisation de la situation professionnelle. Par exemple, des concepts vont être mobilisés afin de diagnostiquer le régime de fonctionnement de la machine et d'y appliquer des règles d'action. Vergnaud (1996) distingue le niveau des règles d'action et

le niveau des invariants opératoires. La conduite d'une machine se fait au vu des résultats de l'action : il s'agit de transformer des régularités observées en répertoire d'action. Par ailleurs, le diagnostic du régime de fonctionnement établit un lien entre le niveau des concepts et le niveau des règles, en générant des règles à partir des concepts dans une dynamique de développement des compétences en trois temps : tout d'abord, le sujet apprend la conduite en régime normal avec des règles correspondant à la situation prototypique ; ensuite, le sujet apprend à adapter un répertoire de règles spécifiques à chaque régime de fonctionnement ; en diagnostiquant un régime de fonctionnement par conceptualisation ; enfin, à partir de cette conceptualisation élaborée, le sujet devient capable d'affronter des problèmes inhabituels.

Dans le développement de la dynamique des compétences, Leplat (1997), s'appuyant sur la distinction piagétienne coordination agie et coordination conceptuelle, propose un mouvement de désincorporation. Selon Leplat, les compétences incorporées ne savent s'exprimer que dans l'action pour lesquelles le sujet n'est pas capable d'explicitation et d'analyse. Il introduit une séparation entre son action propre et le fonctionnement de la machine ; une fois exprimé, le savoir en acte est mis à distance du sujet ; il peut prendre une forme objective, et de ce fait être adaptable à d'autres situations. Concernant la conduite des machines, Pastré (1999b) résume la conceptualisation qui se manifeste par plusieurs traits : « Traitement d'une situation sous forme de résolution de problèmes, présence de diagnostic de régime de fonctionnement, capacité à traiter des situations problèmes de plus en plus éloignées de la situation prototypique, capacité à objectiver ses compétences pour les désincorporer. » On observe là ce que les opérateurs mobilisent dans l'action, les « concepts pragmatiques » qui fonctionnent comme des invariants opératoires. Ils ont un mode de transmission spécifique qui mélange transmission par imitation et transmission par le langage. Le concept pragmatique comporte deux éléments : tout d'abord un ou plusieurs indicateurs observables, ensuite la dimension abstraite du concept. Il est donc défini par une relation de signification comportant deux étages : relation entre un signifiant observable et un signifié de nature conceptuelle, relation de référence entre l'ensemble signifiant/signifié et la situation dans son ensemble, le fonctionnement du système technique. Le concept pragmatique permet d'évaluer un ensemble à partir d'un ou de plusieurs indicateurs, sa visée est pragmatique. Il est à la fois tourné vers l'action, en introduisant une relation de signification plus ou moins complexe grâce à des indicateurs qui renvoient à une variable permettant d'évaluer l'ensemble du système. Il est également tourné vers la cognition, en s'inscrivant

dans un réseau de déterminations qui constitue l'ensemble des connaissances qu'on peut avoir sur le fonctionnement d'un système. Les concepts pragmatiques ne sont pas seulement construits par l'acteur, ils sont aussi transmis sous la forme de pratiques de métier. Leur appropriation se fait en partant des relations de signification vers des relations de détermination.

Pastré assoit son cadre théorique sur la conduite de systèmes dynamiques à travers l'exemple de l'apprentissage de la conduite de centrales nucléaires sur simulateurs. Dans un système dynamique, les principales variables fonctionnelles ne sont pas toujours accessibles, soit en ce qui a trait à l'action, soit en ce qui a trait à la prise d'information. Un indicateur est une variable qui est l'image d'une autre variable non directement accessible pour ce qui est de la prise d'information. On observe là une architecture à double réseau : un réseau de relations de détermination et un réseau de relations de signification. On doit donc bien faire la différence entre les variables fonctionnelles (buts de l'action), les paramètres d'action (moyens d'agir) et les indicateurs qui sont les moyens de connaître les valeurs des variables fonctionnelles. On comprendra l'importance de la temporalité dans les situations dynamiques ; c'est le sens de l'évolution d'une variable, plus que sa valeur absolue, qui compte comme élément de diagnostic. En effet, plusieurs évolutions temporelles peuvent avoir des tempos différents et l'évolution du système dans son ensemble sera la résultante de ces différents tempos. Enfin, il est nécessaire pour les conducteurs d'utiliser des stratégies anticipatrices, par exemple repérer un déséquilibre avant qu'il ne se manifeste ; pour cela le conducteur doit pouvoir s'appuyer sur les connaissances portant sur le fonctionnement du système. Il est donc pratiquement impossible d'apprendre la conduite d'un système dynamique simplement par un apprentissage sur le tas, la formation se fera en deux temps : connaissances théoriques et techniques relatives au fonctionnement du système, formation sur simulateur pleine échelle. On voit apparaître deux types de stratégie. Celle du novice, qui ne parvient pas à avoir une représentation d'ensemble du fonctionnement : c'est une stratégie à « boucle courte », procédurale, rétroactive et partielle ; celle qui correspond au résultat de la formation sur simulateur, qualifiée par Pastré de stratégie à « boucle longue » : elle apparaît au cours de l'apprentissage et est analytique, rétroactive et partielle. La première court après l'événement et aboutit, dans les moments critiques, à une perte de maîtrise de l'installation. La seconde anticipe les déséquilibres, ce qui permet de passer les moments critiques en conservant la maîtrise de l'installation. La conduite de situations dynamiques consistera à mettre en relation des variables qui peuvent être nombreuses mais qui concourent toutes à l'établissement d'un diagnostic de fonctionnement de régime.

Des activités simulées aux connaissances : quelle didactique ?

Si l'action humaine est organisée autour d'un noyau profond de nature conceptuelle, la notion de structure conceptuelle d'une situation revient à distinguer l'ensemble des concepts scientifiques ou pragmatiques pour organiser l'action. Les concepts pragmatiques se transmettent et s'apprennent par un « mélange de monstration et de commentaires ». La question est donc : qu'est ce que les opérateurs apprennent, confrontés aux situations de travail ? C'est un ensemble de relations de significations s'appuyant sur des relations de détermination qui permettent de faire un diagnostic du système et de transformer leurs connaissances en organisateurs de l'action. Mais comment se fait cet apprentissage ?

Le rôle de l'analyse de l'activité dans la formation sur simulateur est devenu un domaine de recherche à part entière. Pastré (1999a) propose, dans la mesure où le simulateur permet de conserver des traces objectives de l'activité des opérateurs, une formation combinant apprentissage par l'exercice de l'activité et par l'analyse de l'activité. Le simulateur offre une situation, c'est-à-dire des acteurs, des enjeux, un lieu. Les acteurs ont besoin de connaissances et sont engagés dans des situations ; pour cela, ils sont confrontés à la complexité, à l'incertitude et à l'interactivité. Complexité, car la situation est une totalité insécable et dynamique ; incertitude, de par la dimension événementielle de la situation ; interactivité, car l'acteur transforme la situation mais qu'en retour la situation transforme l'acteur.

La simulation permet une progression dans l'entrée dans la difficulté en jouant sur le temps par reproductibilité : rejouer une situation, réguler la difficulté, neutraliser l'environnement. Il s'agit donc « d'appauvrir la situation pour la rendre plus accessible à l'apprentissage ».

Les didacticiens des mathématiques ont construit un cadre théorique autour de la notion de situation (Brousseau, 1986). Pour la didactique des disciplines, la situation a valeur d'exemple et donne sens au problème posé. En didactique professionnelle, la situation est toujours en voie de déborder le problème qu'elle permet de poser. La situation fait référence au réel, le problème fait référence au conceptuel ; en didactique disciplinaire, l'objectif est d'assimiler des domaines conceptuels et les situations servent d'adjuvants nécessaires. En didactique professionnelle, l'objectif est de maîtriser des situations en les constituant en problèmes à résoudre.

L'apprentissage des situations présente un caractère historique et singulier; chaque séance se déroule en un certain nombre d'épisodes. Tout d'abord, la disposition initiale du système liée à l'état d'équilibre. Vient ensuite ce que Pastré (1999b), reprenant Ricoeur (1986), nomme l'intrigue. Le temps et l'histoire présentent une dimension épisodique par laquelle les événements se succèdent, et une dimension d'intelligibilité qui est une récapitulation significative opérée à partir de la fin de l'histoire; on passe ainsi d'une relation de succession à une relation d'enchaînement. Une séance sur simulateur peut s'interpréter avec cette grille d'analyse. Les actions significatives des opérateurs reposent sur un diagnostic d'état et un pronostic d'évolution. Il s'agira donc de prévoir justement l'évolution du système pour produire au bon moment le bon geste. Deux scénarios peuvent se dessiner: chez les novices, la dimension épisodique prend le dessus, l'acteur est le jouet des circonstances; chez les experts, la dimension configuration domine, l'acteur s'insère efficacement dans le jeu, il connaît les enchaînements de causalité et est capable de distinguer les déséquilibres provisoires de ceux qui sont lourds de circonstances; il est donc capable de faire un diagnostic de fonctionnement d'ensemble.

Après l'exercice de l'activité vient l'analyse de l'activité; en effet, le moyen le plus efficace dans le développement des compétences est non pas la reproduction d'exercice mais l'analyse de l'action par reconstruction. Pastré propose un déroulement sous forme d'une séance collective, conduite par un formateur, qui analyse chacun des épisodes critiques; cela permet de reprendre certaines connaissances sur le système, en situation. Par ailleurs des entretiens individuels sont organisés, entre les séances sur simulateur et le débriefing. Ces entretiens se déroulent en deux séries. Il s'agit tout d'abord de faire le récit de la séance, de repérer les moments critiques, de proposer une explication pour ce qui est de l'action et de la prise d'information, des causes et des conséquences, de s'appuyer sur des souvenirs, de passer du vécu au récit. Ensuite vient le moment du commentaire, à l'aide d'un ensemble de données objectives, présentées par exemple sous forme de courbes, représentant l'évolution temporelle des principales variables fonctionnelles durant la séance sur simulateur. Ainsi, l'acteur va pouvoir s'appuyer sur des traces objectives du déroulement mais il en aura une vision éclatée; à lui de vérifier les hypothèses énoncées. Vient enfin le moment du débriefing où l'instructeur conduit la séance, valide ou invalide les explications fournies pour chaque épisode critique; c'est un temps «d'institutionnalisation» (Brousseau, 1986) des interprétations avancées, moment où les connaissances élaborées à titre privé vont recevoir un statut public, notamment par la validation de l'instructeur. L'analyse

de l'activité s'avère être un moment très important dans la transformation de la stratégie des sujets. Avant l'analyse, ils ont du mal à coordonner prévision et production ; après l'analyse, ils prévoient plus loin et agissent dans le rythme du processus, passant ainsi d'une dimension épisodique de la séance à une reconstruction des épisodes en un enchaînement intelligible. Pastré fait ainsi un parallèle avec la démarche de l'historiographe : il s'agit de comprendre le singulier, de rechercher des causes multiples portant sur un événement unique ; il s'agit enfin d'une recherche portant sur le passé, une démarche d'après coup, les sujets étant à ce moment-là délivrés de la préoccupation d'agir. Comme pour l'histoire, le fait de connaître la fin permet de reconstruire les épisodes sous la forme d'une intrigue intelligible. Comme l'historien, le sujet va avoir connaissance du passé à l'aide de traces objectives ; la compréhension du comportement humain se fait dans et par la distance : expliquer plus pour comprendre mieux. Ce moment d'objectivation et de mise à distance est nécessaire pour que les spéculations d'un acteur sur ce qu'il a vécu aient la chance, un jour, d'accéder au statut de connaissances publiques, vérifiables et vérifiées.

La conceptualisation et l'interprétation sont donc distinctes même si elles s'appuient l'une sur l'autre. L'interprétation de situations singulières est un art qui n'est jamais réductible à l'application de connaissances, à un donné. De son côté, la conceptualisation est dans un mouvement inverse : par l'abstraction, la désincorporation, la décontextualisation, elle vise à repérer des relations stables qui deviendront des savoirs. Dans l'analyse de l'activité, l'interprétation s'appuie sur la conceptualisation : par le repérage des relations de détermination, les sujets transforment une suite d'épisodes en histoire intelligible ; grâce à la compréhension d'un certain nombre d'intrigues, les opérateurs vont pouvoir, par abstraction, conduire des relations de signification.

Nous partons donc de la Didactique professionnelle qui pose l'analyse de l'activité « réelle » comme voie de construction ou de repérage des compétences et qui, d'autre part, analyse des compétences comme voie d'accès et de construction des savoirs professionnels. Il s'agit donc de travailler sur l'activité « réelle », afin d'y repérer les compétences, pour accéder aux savoirs ; c'est le rapport entre les savoirs professionnels et les pratiques « réelles » via les représentations que nous souhaitons saisir. En effet, dans tous les métiers, les plus grands experts ne savent pas dire spontanément ce qu'ils font, ni comment ils le font.

Notre recherche : essai évaluation d'une machine outil virtuelle en cycle de formation technologique de génie mécanique

La recherche que nous présentons fait suite à une demande du Département de génie mécanique de l'Université Paul-Sabatier, via le Laboratoire de génie mécanique de Toulouse (LGMT) vers le Laboratoire des sciences de l'éducation de cette même université : le Laboratoire d'études des méthodes modernes d'enseignement (LEMME).

La population visée par notre étude est celle des étudiants de maîtrise de l'Université Paul-Sabatier de Toulouse. Nous présenterons les résultats préliminaires dans un processus itératif d'amélioration du dispositif de formation universitaire technologique.

Processus d'enseignement apprentissage étudié avec simulateur, une innovation en formation de génie mécanique : essai évaluation

La description du dispositif d'enseignement/apprentissage mis en œuvre dans le cadre de la formation pendant la dernière année scolaire s'appuie sur une équipe multidisciplinaire constituée par le LGMT, concepteur du simulateur, l'équipe de formation (les enseignants) et le LEMME dont la mission est l'évaluation de l'effet du simulateur sur la formation.

Du point de vue des concepteurs, l'équipe de recherche-production du Laboratoire de génie mécanique de Toulouse travaille depuis plusieurs années à la mise au point d'un compagnon virtuel, capable d'exploiter le retour d'information sur l'usinage d'une pièce pour le capitaliser en expérience. À partir d'une analyse de l'ensemble de la machine et de ses accessoires, de l'usinage d'une pièce type et de la lecture du programme Commande numérique (CN) considéré, il est maintenant possible de prévoir les défauts générés par l'usinage étudié dans le contexte retenu. Après application des méthodes de correction et de compensation mises au point par l'équipe, le programme Commande numérique (CN) est alors modifié pour s'adapter à la machine retenue et au contexte de travail fixé : condition de coupe, outil, montage.

Les connaissances acquises au cours de ces travaux de recherche permettent aujourd'hui de proposer un modèle expérimental d'une machine et de son contexte de travail à partir d'un nombre minimum d'usinages. La procédure a été automatisée de façon à compenser les défauts. Il est aussi possible d'utiliser le modèle en sens inverse de façon à simuler l'influence des actions et des choix de l'opérateur sur la qualité d'usinage.

Il s'agit donc de mettre au point un outil permettant de simuler le comportement de l'ensemble machine/outil/pièce/montage lors d'une phase d'usinage. Cet outil sera capable de prendre en compte les différents paramètres mis en jeu lors du processus de coupe puis d'en déduire les erreurs résultantes. En associant cet outil à un simulateur de trajectoires, il deviendra possible de mettre au point une machine virtuelle capable d'usiner une maquette virtuelle qui sera une représentation fidèle de la pièce usinée.

L'objectif est donc d'implanter un nouveau système impliquant plusieurs acteurs : tout d'abord les enseignants, qui doivent s'adapter à ce nouvel outil d'enseignement : autonomie des étudiants, des tuteurs, complémentarité de pratique face au simulateur, à la machine réelle, etc. Ensuite les apprenants, qui doivent être capables de profiter au maximum des possibilités offertes par le simulateur ; ils doivent donc adopter toutes les attitudes nécessaires pour obtenir un apprentissage le plus complet, d'un point de vue de l'acquisition des connaissances techniques et également de compétences plus « sociales ».

Pour nous centrer sur le processus d'enseignement apprentissage avec un simulateur justifiant la mise au point d'une machine virtuelle, nous allons nous appuyer sur la recherche précédemment discutée, conduite par Pastré, sur l'évolution de la réalité virtuelle et l'apprentissage selon trois branches : les simulateurs pleine échelle, la perspective de résolution de problèmes et les simulateurs de conception.

L'objet des *simulateurs pleine échelle* est de reproduire la réalité avec le maximum de réalisme. Le simulateur fonctionne sous la forme la plus basique d'apprentissage qui consiste à apprendre en agissant professionnellement, partant du principe que toute activité productive comprend un minimum d'activité constructive. Il s'agit donc là de reproduire le réel pour permettre un entraînement. On utilise ce type de simulateur dans les centrales nucléaires, les transports, le domaine militaire, etc. Les simulateurs offrent la possibilité de mettre en scène les professionnels dans des situations virtuelles. Ils peuvent donc fonctionner comme simples artefacts ou bien selon une situation simulée d'après un scénario que les « acteurs » vont avoir à jouer.

Quand Pastré (1999a) parle de *la résolution de problèmes*, il affirme que son objet est de permettre à l'apprenant de se déplacer dans un espace problème. La principale difficulté, dans ce cas, consiste à élaborer le problème de façon à ce que l'apprenant puisse le résoudre (construction du problème, évaluation des hypothèses). Dans cette perspective, l'utilisation de problèmes professionnels s'impose naturellement et leur mise en scène conduit vers la simulation. Ici, on ne simule pas le réel, mais on simule un problème.

Dernière source de réflexion de cette réalité virtuelle, *les simulateurs de conception* ont été mis au point dans une perspective de recherche et d'ingénierie concourante, impliquant l'intervention de nombreux concepteurs complémentaires. Ce type de démarche s'appuie fortement sur les technologies de l'information et de la communication et utilise la réalité virtuelle comme un objet, à la fois d'échanges et de transformation. Différents travaux cherchent à définir ces objets, en distinguant, par exemple, les objets stables et les objets transformés par les différents concepteurs, ou bien les objets ouverts des objets fermés. Dans tous ces cas, ces objets doivent être (au moins pour partie) transformables.

Notre simulateur n'entre pas dans cette classification car il possède certaines caractéristiques de chaque catégorie.

Le simulateur pleine échelle est une réplique de la réalité qui permet d'apprendre par entraînement. En effet, notre prototype permet une reproduction fiable des conditions et situations de travail et il aide un modèle expérimental d'une machine et de son contexte de travail à partir d'un nombre minimum d'usinages.

L'objectif à long terme de ce simulateur est la mise au point d'une machine virtuelle capable d'usiner une maquette virtuelle qui sera une représentation fidèle de la pièce usinée; cela nous amène donc à la constitution d'un simulateur pour la résolution de problèmes, la deuxième perspective développée par Pastré.

Du point de vue de la conception de notre simulateur, c'est une équipe multidisciplinaire qui participe à ce travail: ingénierie, informatique et sciences de l'éducation; il est construit dans une perspective de recherche très expérimentale, c'est le dernier cas de simulateur de conception évoqué par Pastré.

Dans le cadre de cet article, nous présentons la première étape du travail en cours, c'est-à-dire le premier niveau de résultats visant, dans un parcours itératif de logique ERTé, l'amélioration du dispositif de formation universitaire par simulateur.

Première étape d'évaluation du dispositif de formation : questions de recherche, protocole, méthode

L'objectif est donc d'améliorer le simulateur d'un point de vue technique mais également pédagogique; nous avons pour but de définir des scénarios didactiques pertinents en faisant référence à des outils proposés par la didactique professionnelle.

Nos premières questions de recherche ont été centrées tout d'abord sur l'autonomie dans les apprentissages. Elles portent sur les représentations des formés et concernent les savoirs théoriques en entrant en formation sur simulateur. Comment les étudiants se situent par rapport à leurs connaissances, immédiatement avant de démarrer leur première «manip sur simulateur». Ensuite, il s'agit de saisir l'impact, selon eux, donc toujours dans une logique de représentation, du simulateur sur les constructions des savoirs.

Nous voulons également comprendre l'importance de l'ordre de passage simulateur/machine réelle ou machine réelle/simulateur, par rapport à l'acquisition des connaissances.

Enfin, nous tenterons de savoir s'il existe un lien entre, d'une part, l'origine de formation, l'âge, le sexe et, d'autre part, les modalités de représentations de la formation sur simulateur.

En ce qui concerne le protocole de recherche, nous avons procédé en plusieurs étapes. Tout d'abord, des entretiens auprès des concepteurs du simulateur afin à la fois de bien comprendre les objectifs visés par cette machine virtuelle et également d'en connaître le fonctionnement; nous leur avons proposé ensuite un questionnaire qui a fait l'objet de plusieurs modifications tenant compte de leurs observations; ces remarques portaient autant sur des aspects de formulation de questions que sur des aspects liés au contenu. Des entretiens ont également été conduits auprès des étudiants dans le but de mieux cerner leurs représentations et ainsi d'aider à la construction du questionnaire. Cette étape d'identification des représentations socioprofessionnelles (Frayssse, 2000a) des différents acteurs engagés dans le dispositif est, selon nous, très importante car elle conditionne le développement de l'analyse en ce qui a trait à l'évaluation des compétences. Il s'agit de penser les discours comme des traces de l'activité discursive et considérer les représentations moins comme des entités que comme une activité représentationnelle; cette approche nous semble féconde car elle permet de saisir les notions telles que la compétence ou le savoir, par la mise en objet de l'activité représentationnelle qui les construit: représentations identitaires, sentiment de compétence, utilisation de savoirs, etc.

Le protocole de recherche portait sur 46 étudiants qui ont répondu à un questionnaire centré sur les savoirs mobilisés et construits face au simulateur, ainsi que sur des dimensions comportementales des acteurs.

Pour chercher à comprendre les modalités d'appropriation du simulateur, nous avons donc interrogé les étudiants selon les directions ciblées. Tout d'abord, nous enregistrons des données concernant le profil (nom, âge, sexe, origine de formation) et l'ordre de passage sur le simulateur : avant ou après être passé sur la machine réelle. Ensuite, nous demandons aux élèves de situer, sur une échelle en six points, leur degré de maîtrise par rapport aux savoirs vus en cours et, selon eux, comment le simulateur participe à la mobilisation de ces savoirs. Enfin, notre interrogation porte sur les savoirs construits, c'est-à-dire quels sont, selon eux, les savoirs qui se construisent en travaillant avec le simulateur ; en d'autres termes, nous cherchons à évaluer quels savoirs s'élaborent lorsque le sujet est confronté au simulateur, quel est l'apport de cette innovation. Nous voulons également rendre compte des rapports des sujets avec leur environnement par l'intermédiaire de leur activité ; une attention particulière doit être portée, selon nous, aux liens pouvant exister chez les sujets entre représentations de leur situation d'action, représentations d'eux-mêmes comme sujets agissant et représentations de leur action : degré d'autonomie, dynamique de réussite ou d'échec.

Pour compléter les réponses apportées par le questionnaire, un observateur a rédigé trois rapports de séances *in situ*. Ce sont des résumés qui portent sur des aspects comportementaux aussi bien de la part des trois enseignants que d'étudiants. Des commentaires fait par ces derniers, lorsqu'ils se trouvent face au simulateur, peuvent concerner leur habilité ou leur motivation. Du côté des enseignants, c'est plutôt des remarques qui renvoient à leur maîtrise sur le simulateur, leur adaptation et donc leur motivation à ce nouvel outil d'enseignement. Il s'agit donc de relever les réactions aussi bien des apprenants que de l'enseignant, ainsi que leurs interactions mutuelles. Ce recueil de traces a été fait de manière à pouvoir croiser ces observations avec les résultats du questionnaire, ceci permettant de conduire une analyse plus pertinente. Cette démarche s'inscrit dans la logique de Pastré (1999b), permettant de passer « d'une dimension épisodique de la séance à une reconstruction des épisodes en un enchaînement intelligible ». Nous avons enfin souhaité rencontrer les deux enseignants responsables de TP sur simulateur afin de mieux cerner quelles sont, selon eux, les perceptions des élèves et les besoins, exprimés ou pas, pour les prochaines séances.

Le protocole de recherche a distingué les dimensions pédagogiques des dimensions techniques prenant en compte les contraintes afin que le simulateur soit un vrai accompagnant virtuel. Nous procéderons à une analyse bivariée pour examiner simultanément les réponses à deux questions différentes en vue de rechercher les liens et les éventuelles causalités.

Les résultats intermédiaires

Nous rappelons que nous présentons des résultats préliminaires dans un processus itératif d'amélioration du dispositif de formation innovation par simulateur. Ces premiers résultats seront exposés selon deux points de vue : tout d'abord du point de vue des formés, ensuite du point de vue du dispositif de formation.

Versant formés. Les variables sexe et âge n'apparaissent pas de manière significative ; elles ne sont donc pas déterminantes des modalités d'appropriation du simulateur. Dans notre questionnaire, les modalités d'appropriation du simulateur sont évaluées, sur une échelle de Likert (de 1 à 6) à travers les dimensions suivantes : mise en route/utilisation en mode manuel, réglage de la machine (POM/PREF), utilisation en mode automatique.

Compte tenu de l'état d'avancement actuel de notre recherche, nous n'avons pu vérifier l'hypothèse, déjà validée par Marry (2004), selon laquelle les filles n'ont pas une appréhension spécifique des nouvelles technologies ; en effet, la faible présence de filles : (cinq sur un effectif de 46) n'a pas permis cette vérification. Cette faible distribution des filles est d'ailleurs constatée régulièrement par cet auteur : « La révolution technologique que nous vivons en permanence depuis un demi-siècle a changé profondément les perspectives professionnelles. Les nouveaux métiers ouverts par les nouvelles technologies auraient pu être investis par les filles comme par les garçons. Malheureusement ce n'est pas le cas, puisque les filières de formation, à la base de la conception de ces nouveaux outils, électronique, électrotechnique, automatique, informatique sont parmi les plus "masculines". »

Nous avons également croisé la variable âge avec l'autonomie mesurée sur les dimensions comportementales suivantes : adaptation aux situations nouvelles, prendre des initiatives, expliciter des problèmes, appréhender des situations difficiles, prendre des décisions, prendre confiance en soi, travailler seul, aider les autres. Pour ce faire, nous étions en présence d'une échelle de Likert pour l'autonomie et d'une variable numérique pour l'âge. Nous avons donc procédé à l'analyse par un tableau de moyenne. La corrélation entre ces deux variables n'est pas significative. Ces résultats sont vraisemblablement

dus à une faible dispersion d'âge de la cohorte d'étudiants interviewés : la moyenne d'âge est de 21,64 et l'écart type de 1,60 ; plus des trois quart de l'effectif (76 %) a entre 20 et 23 ans.

Par contre, d'autres éléments apparaissent de manière significative. Ainsi, dans le cadre des savoirs mobilisés et d'un point de vue descriptif, les représentations des connaissances théoriques des élèves ne sont pas homogènes. On note une dépendance entre type de savoir demandé et la réponse apportée : pour les connaissances concernant la « constitution d'une machine outil, les normes et le principe de réglage », qui de fait renvoie à un chapitre du cours, les élèves se situent positivement, toujours sur une échelle de Likert. Il semble que la révision récente avec l'enseignant de cette partie de cours ait eu un impact sur les réponses. Pour ce qui est des « normes, boucle d'asservissement et langage ISO de base », le positionnement des apprenants est faible relativement à ces domaines, une révision n'ayant pas été effectuée par l'enseignant. Nous retrouvons ici des résultats, déjà mis à jour dans nos précédents travaux (Frayssé, 2000a), montrant combien les représentations socioprofessionnelles sont en tension permanente entre une logique de savoir et une logique d'action. Ici, les savoirs sont donc mobilisés, par l'intermédiaire d'une révision. Ces résultats vont également dans le sens de Cartonnet (2000), qui note la difficulté pour les étudiants de lier les activités de l'ingénieur et les connaissances théoriques qu'ils ont dû assimiler avant d'en mériter le titre. Il est donc difficile d'établir à quel degré les connaissances théoriques aident à l'acquisition des compétences, surtout celles concernant la capacité de généralisation et de particularisation indispensable pour préprofessionnaliser un élève ingénieur : passer d'un principe général à une spécificité et inversement.

Toujours en ce qui concerne les savoirs mobilisés, on observe qu'ils ont un lien avec l'origine de formation. Nos résultats nous permettent d'affirmer que sur deux dimensions, constitution d'une machine outil d'une part et principes de réglage d'autre part, mesurées sur une échelle de Likert en six points, les résultats sont significatifs.

La dépendance est très significative pour la constitution d'une machine outil ($\chi^2 = 43,94$, ddl = 24, 1-p = 99,23 %) et les principes de réglage ($\chi^2 = 42,98$, ddl = 24, 1-p = 99,00 %).

Ainsi les élèves venant d'IUT ont plus conscience des savoirs mobilisés que les élèves venant de BTS. Dans notre échantillon, la distribution des origines des 46 étudiants est la suivante : 39,1 % IUT ; 39,1 % BTS ; 10,9 % DEUG fac ; 2,2 % DEUG mention ; 8,7 % autre (mécanique, licence science de

la production industrielle, deux ans d'ingénierie industrielle). Selon nous, ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que la formation en IUT est plus théorique comparativement à celle de type BTS ; la réactivation de savoirs théoriques est donc facilitée pour le public issu d'une formation IUT.

La formation initiale est essentiellement théorique et indispensable pour arriver à construire des savoirs d'action, essentiels pour l'acquisition des compétences. Nous avons déjà évoqué les différences substantielles entre la méthode de travail dans les différentes universités d'ingénierie française (Frayssé, 2000b).

Versant dispositif de formation en simulation. Nos résultats nous permettent d'isoler un certain nombre de dimensions significatives qui vont conditionner les modalités d'appropriation du simulateur. C'est sur ces dimensions que l'amélioration du dispositif de formation est actuellement en cours d'évaluation.

Nous avons vérifié tout d'abord ce que nous appelons le parcours de formation, c'est-à-dire l'ordre de passage sur le simulateur : sur les 46 étudiants, 20 sont d'abord passés sur simulateur puis sur machine réelle, 20 ont fait l'inverse, soit machine réelle puis simulateur, et six sont passés uniquement sur machine réelle. Est-ce que cet ordre a de l'importance par rapport à l'acquisition des connaissances : savoirs mobilisés et savoirs construits ? Les élèves ayant déjà utilisé la machine réelle avant le simulateur ont probablement déjà mobilisés des savoirs théoriques : nous pensons donc qu'ils vont s'évaluer plus positivement car ils ont déjà fait le même TP. Nous avons croisé les résultats d'échelles d'autoévaluation avec les ordres de passage. Les tests de Chi2 valident cette hypothèse : les élèves qui ont déjà travaillé sur la machine réelle s'autoévaluent plus positivement que ceux qui passent directement sur le simulateur. Du point de vue de savoirs construits, nous obtenons les mêmes résultats que pour les savoirs mobilisés. Ainsi, les élèves étant déjà passé sur la machine réelle s'évaluent plus positivement.

Nous avons enfin interrogé les acteurs sur le transfert du simulateur à la machine réelle. Les résultats font apparaître que les élèves qui ne sont pas encore passés sur la machine pensent plus que le simulateur va les aider à travailler devant la fraiseuse. À l'inverse, les élèves qui sont déjà passés sur la machine réelle ne voient pas l'intérêt professionnalisant du simulateur. Le croisement des variables par test du Chi2, «parcours de formation/passer à la machine réelle», fait apparaître une corrélation significative. En d'autres termes, les sujets confrontés directement au simulateur survalorisent le dispositif

par rapport à ceux qui sont déjà passés devant la machine et expriment moins d'attentes par rapport au simulateur. Selon nous, le simulateur est actuellement à l'état de prototype et donc insuffisamment développé. Cette remarque s'appuie sur des retours d'étudiants qui font remarquer le manque de vraisemblance : « Pas de bouton, pas de bruit, pas de système d'alerte. »

Ces résultats vont dans le sens de Pastré (1999b) qui précise : « Dans l'approche traditionnelle, on a coutume de distinguer les simulateurs de haute fidélité, dont le modèle est le simulateur pleine échelle, et les simulateurs de faible fidélité, qui reproduisent le réel de façon approximative. Avec une approche de didactique professionnelle, on déplace l'accent du réel de la situation vers le réel de l'activité, à condition de bien voir que ce qu'on vise est l'activité constructive, c'est-à-dire l'apprentissage. Enfin cette approche permet de penser ensemble les utilisations habituellement disjointes des simulations : l'utilisation en conception et l'utilisation en formation. En mettant l'accent sur la dimension opérative, on en arrive à concevoir des situations de formation comme de véritables entités, pour lesquelles il est important de repérer les variables didactiques, qui vont caractériser le processus d'apprentissage. »

Nous avons ensuite examiné les savoirs construits. Ces savoirs sont les connaissances évaluées après la manipulation sur le simulateur : la question est de comprendre comment la confrontation au simulateur permet la construction de savoirs et l'acquisition de compétences ? Est-ce que le sujet est capable d'opérer des passerelles entre le milieu professionnel et le milieu de formation par capitalisation de l'expérience ? On va analyser, tout d'abord, comment les étudiants se situent par rapport aux savoirs d'action et, ensuite, nous suivrons le processus général d'apprentissage grâce à l'introduction de ce nouvel outil : le compagnon virtuel. Afin de mesurer l'effet du simulateur, nous avons comparé les résultats entre les savoirs mobilisés, les savoirs théoriques acquis durant leur formation, les savoirs construits, les savoirs théoriques qui amènent l'action, et le savoir-faire, les compétences acquises grâce au simulateur. Toutes les réponses après la « manip » face au simulateur, comparées avec les réponses avant de travailler sur le simulateur, sont soit meilleures, c'est particulièrement vrai pour la dimension « principe de réglage » qui est la premier objectif du simulateur, ou soit égales. On peut donc dire que le simulateur aide à l'acquisition des savoirs construits, par rapport au savoir-faire : mise en route, réglage machine et mode IMD. De ce point de vue, les résultats sont satisfaisants car les élèves se situent, disent se situer, à un bon niveau de maîtrise.

D'autres résultats sont en cours d'analyse. Ils concernent notamment les relations entre savoirs construits et l'autonomisation des étudiants ainsi que les échanges collectifs en situation de formation. Ils seront donc publiés prochainement.

Nous avons enfin complété notre analyse en traitant les commentaires des rapports de séances ; pour ce faire, nous avons structuré les éléments de réponses aux entretiens en catégories, aussi bien les remarques des apprenants que les observations des enseignants. Ainsi, la synthèse des rapports de séances fait apparaître deux aspects, que nous qualifions de pédagogique et de graphique. D'un point de vue pédagogique, l'outil permet de simuler convenablement trois aspects de la manipulation : la prise des origines de la machine (POM), la prise de références (PREF) et la mesure des jauges outils. De plus, les apprenants ont mis en œuvre une pratique similaire devant le simulateur et devant la fraiseuse ; mais le travail devant la machine réelle motive davantage les étudiants. Cela montre que le simulateur permet de mettre en œuvre des attitudes au travail identiques à celles observées sur la machine réelle. Par contre, l'aspect grandeur nature de la machine réelle a un impact plus motivant sur les apprenants ; d'un point de vue technique, le simulateur est efficace puisqu'il génère des comportements similaires à ceux relevés sur la machine réelle ; d'un point de vue rapport à la machine, la vraisemblance produit de la motivation, un développement du simulateur dans le sens d'amener plus de vraisemblance est donc souhaitable. Cela confirme nos précédents bilans. Nous voyons que cette phase de retour sur l'activité est importante, comme le signale Pastré (1999a), car elle permet de « repérer des relations stables qui deviendront des savoirs ».

Quant à l'aspect graphique, on remarque que lorsque le simulateur a une architecture graphique en 3D, les apprenants trouvent les vues disponibles difficiles à comprendre et proposent un nouveau point de vue graphique plus proche de la réalité. Le problème de vraisemblance évoqué plus haut se confirme encore ici. Logiquement donc, et concernant la partie commande numérique, les étudiants comme les intervenants proposent d'améliorer l'interface homme machine. Ils formulent même des solutions : par exemple la mise en place de boutons, mais également l'introduction de bruit, des alertes.

Les effets de cette évaluation

Effets sur le processus d'essai évaluation dans sa généralité. Même s'ils restent incomplets et encore partiels, les résultats de notre première évaluation ont permis d'améliorer le processus technologique par simulation. Tout d'abord, d'un point de vue technique, on apportera plus de vraisemblance en simulant les bruits de machine. Cette modification a aujourd'hui été réalisée. Actuellement, les concepteurs travaillent, toujours dans la perspective d'améliorer la vraisemblance, à simuler la phase d'usinage en intégrant des défauts d'usinage dans la simulation. Là encore nous rejoignons Pastré (1999), qui a montré que le simulateur permet le «diagnostic d'état et le pronostic d'évolution» entraînant deux scénarii possibles : le novice, où l'épisodique prend le dessus, et le confirmé, qui anticipe les enchaînements d'action.

Compte tenu de l'incidence du parcours de formation, c'est-à-dire de l'importance de l'ordre de passage machine réelle/simulateur, que nous avons mis en évidence dans nos résultats, un mode d'emploi de la machine a donc été rédigé à l'attention de deux catégories d'utilisateurs : débutant ou confirmé. Si l'apprenant est déjà passé sur la machine réelle, il pourra utiliser la partie «utilisateur confirmé», sinon il suivra le parcours du novice proposé par le mode d'emploi. Ce dernier est réalisé sous forme de TP dont le but est d'apprendre à l'utilisateur la mise en œuvre d'un centre d'usinage muni d'une interface numérique. Les procédures décrites sont transférables à une situation réelle. Le texte est divisé en deux parties. La partie 1 s'adresse à des utilisateurs ayant déjà une connaissance de machine outil à commande numérique. Seules les grandes lignes sont explicitées. La partie 2 est destinée aux utilisateurs débutants. Chaque procédure est détaillée sur une page pour guider l'utilisateur pas à pas tout au long de la démarche. La mise en œuvre de la machine est décomposée en n séquences.

Actuellement les concepteurs travaillent à la réalisation et à l'intégration d'un tuteur virtuel à l'intérieur du logiciel ; ce dispositif permettra d'aider les formés en situation d'action et les aidera à aller vers plus d'autonomie. Ces derniers développements vont conduire à une redéfinition du contexte général de la formation pour tenir compte des nouvelles modalités d'apprentissage.

Perspectives, poursuite du processus. Après cette première année d'étude exploratoire, l'étape suivante va consister à approfondir le corps des savoirs professionnels sous-jacents à l'usage du simulateur, selon la démarche de didactique professionnelle. Une observation du processus de formation et d'apprentissage sera ensuite conduite avec une seconde cohorte d'étudiants.

Dans ce cadre, des rapports de séances seront rédigés systématiquement par un observateur de façon à suivre les apprenants et les enseignants durant la pratique face au simulateur et face à la machine réelle.

Les apports des enseignants durant les séances seront également consignés de façon à fournir un cadre permettant, à terme, de faciliter le transfert vers un autre environnement; cela passe par l'élaboration de procédures d'intégration du simulateur, de modalités d'utilisation dans un nouveau contexte de formation.

Le simulateur devra également être amélioré par une meilleure adaptation au projet professionnel des étudiants: futurs techniciens, futurs ingénieurs, futurs enseignants.

Enfin une évaluation du transfert de savoir-faire vers un nouvel environnement de travail sera mise en œuvre afin d'offrir la possibilité de simulation de plusieurs types de machines.

Le cadre de l'enseignement à distance via Internet sera un atout précieux. La machine virtuelle est conçue dès le départ comme un outil exploitable par le biais du réseau. Elle constitue donc un ensemble de ressources que l'étudiant peut consulter selon ses besoins, à son rythme, en présence d'enseignants ou non.

Dans une deuxième phase, le projet prévoit de s'appuyer sur les résultats de l'essai évaluation en formation initiale à l'Université Paul-Sabatier, pour concevoir les modalités de développement du produit, écriture de didacticiels spécifiques, en vue d'une exploitation dans un cadre élargi: Internet, cadre scolaire.

Conclusion

Partant de la question des compétences, nous avons montré comment ce concept large prenait un sens particulier en contexte de formation professionnalisante en trouvant son ancrage dans le champ des activités en référence à la didactique professionnelle. L'orientation théorique choisie est centrée sur les activités comme éléments mobilisateur de compétences techniques et méthodologiques. Le rôle de l'analyse de l'activité dans la formation sur simulateur permet de combiner apprentissage par l'exercice et regard *a posteriori*.

Nos résultats, nous l'avons vu, ont déjà permis de faire évoluer le simulateur sur des aspects techniques améliorant la vraisemblance. Même si le travail de recherche présenté est dans sa phase initiale, les premiers résultats obtenus, tant du point de vue des formés que du dispositif de formation, fournissent des axes de réflexion et des perspectives à court terme. Ainsi, par exemple, nous avons mis en avant l'importance du passage préalable sur machine réelle ; il est clair que l'intérêt du simulateur est son utilisation directe. Cela implique, selon nous, une analyse *a posteriori* plus affinée, qui pourra se faire au-delà des comptes rendus de séances déjà réalisés, par un recueil de traces filmées de l'activité permettant cette analyse postérieure, l'objectif étant de permettre aux apprenants de saisir l'intérêt du simulateur sans avoir recours à la machine réelle.

Les situations de travail simulé qui se développent dans les milieux de l'entreprise mais également dans les milieux de la formation offrent de nouvelles voies pour l'évaluation des compétences. Le travail de recherche, dont nous avons présenté les premiers résultats, est récemment engagé, mais semble prometteur.

Nous allons également travailler à la mise en place d'outillages méthodologiques permettant de mieux comprendre les apprenants face à des situations de travail simulées. À moyen terme, nous envisageons de procéder à des tests du simulateur en contexte professionnel, de façon à évaluer les possibilités d'insertion de ce dispositif en formation continue des salariés. Cette procédure nous permettra de saisir le niveau d'adéquation entre le contexte de formation et le contexte industriel pour lequel il est censé préparer les futurs acteurs.

RÉFÉRENCES

- Allal, L. (1999). Impliquer l'apprenant dans le processus d'évaluation : promesses et pièges de l'autoévaluation. In C. Depover & B. Noël (éds), *L'évaluation des processus cognitifs dans l'apprentissage* (pp. 33-52). Bruxelles : De Boeck.
- Baudouin, J.-M. (1999). La compétence et le thème de l'activité : vers une nouvelle conceptualisation didactique de la formation. *Raisons éducatives*, 2, 149-168.
- Bellier, S. (1999). La compétence. In P. Carré & P. Caspar, *Traité des sciences et techniques de la formation*. Paris : Dunod.
- Bronckart, J.-P., & Schurmans, M.-N. (2004). Les formes de l'intelligence humaine : une approche interactionniste sociale. *Éducation permanente*, 160-3, «L'analyse des pratiques».
- Brousseau, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, 7(2), 38-115.

- Cartonnet, Y. (2000). *L'actualisation de la technologie structurale pour la formation de la technicité des concepteurs de produits industriels*. Mémoire d'HDR, Paris 11-Orsay.
- Frayse, B. (2000a). La saisie des représentations pour comprendre la construction des identités. *Revue des sciences de l'éducation*, XXVI(3), 651-676.
- Frayse, B. (2000b). *La représentation de la formation et des métiers chez les étudiants d'IUT*. Étude commandée par l'ADIUT (Association des directeurs d'IUT), réalisée par le LEMME et le LERASS sous la direction de B. Fraysse.
- Gillet, P. (éd.) (1991). *Construire la formation : outils pour les enseignants et les formateurs*. Paris : E.S.F.
- Katz, R.L. (1974). Skills of an effective administrator. *Harvard Business Review*, 51.
- Le Boterf, G. (1995). *De la compétence. Essai sur un attracteur étrange*. Paris : Les Éditions d'organisation.
- Le Boterf, G. (1997). *De la compétence à la navigation professionnelle*. Paris : Les Éditions d'organisation.
- Lemoyne, G., & Conne, F. (1999). *Le cognitif en didactique des mathématiques*. Montréal : Presses de l'Université de Montréal.
- Leplat, J. (1997). *Regards sur l'activité*. Paris : PUF.
- Marry, C. (2004). *Les femmes ingénieurs, une révolution respectueuse*. Paris : Éditions Belin. (Coll. Perspectives sociologiques)
- Montmollin, M. de (1984). Les cadres travaillent-ils ? À propos d'un ouvrage de Luc Boltanski. *Le Travail humain*, 47(1), 89-93.
- Pastré, P. (1999a). L'ingénierie didactique professionnelle. *Traité des sciences et des techniques de la formation*, 20, 403-416.
- Pastré, P. (1999b). La conceptualisation dans l'action : bilan et nouvelles perspectives. *Éducation permanente*, 139 (*Apprendre des situations*), 13-35.
- Pastré, P., Samurçay, R., & Plénacoste, P. (1998). L'analyse didactique de l'utilisation des simulateurs pour la conduite des centrales nucléaires. *Rapport de recherche ENESAD/CNRS/EDF*.
- Perrenoud, Ph. (1999). *L'école saisie par les compétences*. Université de Genève, Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation.
- Piaget, J. (1967). *Biologie et connaissance*. Paris : Gallimard.
- Rabardel, P., & Samurçay, R. 1995. *Compétences au travail : réflexions pour un cadre théorique constructiviste*. Deuxième colloque Work Process Knowledge: *Theoretical approaches of competences at work*, Courcelles/Yvette, 19-21 octobre.
- Ricoeur, P. (1986). *Du texte à l'action*. Paris : Le Seuil.
- Samurçay, R., & Pastré, P. (1995). La conceptualisation des situations de travail dans la formation des compétences. *Éducation permanente*, 123(2), 13-32.
- Vergnaud, G. (éd.) (1992). Approches didactiques en formation d'adultes. *Éducation permanente*, 111.
- Vergnaud, G. (1996). Au fond de l'action, la conceptualisation. In J.M. Barbier (dir.), *Savoirs théoriques et savoirs d'action*. Paris : PUF.