

APPRENTISSAGE TECHNOLOGIQUE A L'AIDE D'UN SIMULATEUR

Introduction

Quel que soit le niveau de formation considéré, les enseignements de fabrication dans le domaine de l'ingénierie comportent toujours un nombre important de travaux pratiques sur machine. De plus, pour des raisons de sécurité, ces travaux pratiques se font en petit groupe. Ils sont donc très coûteux en termes de volume horaire par formateur.

Pour répondre à la demande des industriels en termes d'amélioration de la qualité et de 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, 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 Toulouse. Nous souhaitons comprendre quelles compétences peut faire évoluer 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 ce cadrage nous pouvons mieux cerner les compétences des apprenants face au simulateur, nous le ferons en nous appuyant sur les résultats d'un travail de recherche en cours.

1. Compétences :

1.1 Eléments de définition :

Le concept de compétence a été développé dans de nombreuses études, et, nous citerons tout d'abord Le Boterf 1994, « la compétence n'est pas encore un concept opératoire, c'est un concept en voie de fabrication », ce qui signifie (en 1994) qu'il évolue dans le domaine de la sociologie du travail, c'est un concept très lié à celui de travail. Avec l'introduction massive des nouvelles technologies, et dans notre cas, nous verrons en quoi le concept de compétences est utile dans le processus d'évaluation du simulateur.

La réflexion sur la compétence de Marc de Romainville (1998), nous montre deux types de conception qui s'opposent : une behavioriste, synonyme de conduite, de comportements structurés en fonction d'un but, action, tâche spécifique, observable... L'autre conception se base sur une potentialité intérieure, invisible, une capacité générative susceptible d'engendrer une infinité de conduites adéquates à une infinie 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 et 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 développé en 1974 distingue trois types de compétences : les compétences conceptuelles (analyser, comprendre, agir de manière systémique), les techniques (méthodes, processus, procédures, techniques

¹ Maître de Conférences à l'INSA de Toulouse, chercheur au LEMME : Laboratoire d'Etudes des Méthodes Modernes d'Enseignement, Université Paul Sabatier Toulouse

² Ingénierie Industriel, étudiante en thèse au LEMME

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.

Ensuite on notera la proposition de Le Boterf 1995, 1997 et 2000, qui distingue plusieurs types de compétences : les 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 plusieurs savoirs, dans une situation et un contexte donné.

Dans le Traité des sciences et des techniques de la Formation 1999, Sandra Bélier affirme que la compétence permet d'agir et/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.

Enfin, on reviendra à l'approche 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 mobilisables 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 choisira l'approche par la didactique professionnelle. Pastré et Samurçay, indiquent que toute activité de formation commence par identifier 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 d'identifier 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 manifestes dans les pratiques professionnelles.

Pour notre simulateur, la didactique professionnelle est le moyen 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 et notre objectif didactique est d'approcher la situation de travail à la situation de formation afin de rendre cette dernière plus efficace.

1.2 Elargissement du champ théorique :

L'opérationnalisation sur le terrain du concept de compétence donnant lieu à certaines difficultés, il semble 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.

La mise en place d'un Comité national des programmes composé de représentants de l'Éducation nationale et du monde professionnel va instituer une charte des programmes³. Celle-ci énonce les principes qui organisent et légitiment le passage à un enseignement visant à produire des compétences vérifiables dans des situations et des tâches spécifiques. Cette charte procède à une définition des programmes (en termes d'objectifs de référence pour l'enseignement général, en termes 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"⁴.

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, 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... En France, l'évaluation devient donc l'instrument d'une

³. *Journal officiel*, 6 février 1992.

⁴. Le référentiel des activités professionnelles, *Bulletin du ministère de l'Éducation nationale*, n° 91/1, 1991, p. 10.

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 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.

1.3 Identifier et évaluer des compétences par la pratique de travail simulé

Selon Renan Samurçay et Pierre Pastré⁵, l'un des apports possibles des approches didactiques réside dans la conceptualisation de 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 faire), mais qu'il y a 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 identifier, mais en montrant également 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 par différences entre tâche prescrite et activité effective des compétences ne permet de les appréhender que partiellement d'une façon synchronique et sans leur dynamique. D'où la nécessité de développer des outils d'analyse de travail orientée compétences qui doivent prendre en compte (et donc en construire une théorie) les situations dans lesquelles se produisent des ruptures ou des continuités dans la mobilisation des compétences pour repérer des indicateurs d'évolution.

La dimension développementale est à la fois nécessaire et insuffisante pour construire des outils d'analyses du travail orientées 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, 1992⁶). La perspective épistémologique constitue donc une deuxième dimension à prendre en compte dans les analyses de travail orientées compétences. Par exemple, comme l'a montré Pastré, 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 oeuvre des connaissances sur les échanges thermiques, mais à la conceptualisation des équilibres du système qui rendent possibles des organisateurs de l'activité du type « création de déséquilibre et compensation » (Pastré, Samurçay & Plénacoste, 1998⁷). En cela, ces concepts techniques deviennent en quelque sorte des « concepts pragmatiques » (Samurçay & Pastré, 1995⁸) 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, situations, concepts et organisateurs de l'action formant une unité.

⁵ Approche développementale des compétences (Actes du colloque «Recherche et Ergonomie», Toulouse, février 1998 122 Renan Samurçay et Pierre Pastré

⁶ Vergnaud, G. (Ed.) (1992) Approches didactiques en formation d'adultes, *Education Permanente*, N°111.

⁷ 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.

⁸ Samurçay, R. & Pastré, P. (1995). La conceptualisation des situations de travail dans la formation des compétences, *Education Permanente*, 123 (2), 13-32.

On postule alors que les compétences articulent deux catégories d'invariants organisateurs des conduites (Rabardel & Samurçay 1995⁹).

- des invariants relatifs aux concepts opérationnels du domaine construits par des activités de conceptualisation et de représentation;
- 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, 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 d'identifier les compétences de type technique et de type méthodologique, les apprenants ont donné leur avis de façon individuelle et par écrit, on a utilisé donc l'auto évaluation pour l'analyse de données. Nous distinguerons deux catégories de compétences :

Les compétences techniques :

- Nécessaires pour développer le travail face à une machine outil à commande numérique : compétences initiales acquises pendant la formation et les compétences secondaires acquises de façon continue pendant la vie professionnelle du salarié.
- Connaissances interface homme – machine.
- Influence du choix de la stratégie mise en œuvre.
- Défauts d'usinage et de montage.
- 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 acquises durant les cours : thermique, automatique, asservissement, électrotechnique, mécanique, conception, RDM (résistance de matériaux), vibrations, mathématiques.

Les compétences méthodologiques :

- Savoir être : travailler en équipe, prendre des initiatives, expliciter des problèmes, prendre confiance en soi, développer la capacité d'anticipation.
- 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.

2. Professionnaliser l'enseignement technologique : tenter de lier connaissances et activités professionnelles.

2.1 L'entrée par les activités :

La conceptualisation dans l'action est un champ de recherche qui trouve son ancrage théorique chez Piaget, revisité par Vergnaud, elle s'applique à l'analyse de l'activité professionnelle. L'action est considérée comme une connaissance organisée et intelligible, un savoir faire autonome et la prise de conscience de ce phénomène constitue un véritable travail de conceptualisation. Quand la compréhension rejointe la réussite la coordination agie est 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. Pastré¹⁰ 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, quant à lui,¹¹ (1996) 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 éclaire son propos par l'exemple de la conduite de machines où l'opérateur est confronté à des situations de résolution de problèmes

⁹ Rabardel P., Samurçay R., 1995, « Compétences au travail : réflexions pour un cadre théorique constructiviste », 2ème Colloque Work Process Knowledge : *Theoretical approaches of competences at work*, Courcelle s/Yvette, 19-21 octobre

¹⁰ PASTRE P. (1999) L'ingénierie didactique professionnelle in *Traité des sciences et des techniques de la Formation* chapitre 20, p403-416

¹¹ VERGNAUD, G (1996) Au fond de l'action, la conceptualisation in Barbier, J.M. (dir.publ.) *Savoirs théoriques et savoirs d'action*. Paris, PUF.

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 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, Leplat¹² 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 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 pragmatiques¹³ » qui fonctionnent comme des invariants opératoires. Ils ont un mode de transmission spécifique qui mélange transmission par imitation et par le langage. Le concept pragmatique comporte deux éléments : tout d'abord un (ou plusieurs) indicateur observable et 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 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 termes d'action, soit en termes de prise d'information. Un indicateur est une variable qui est l'image d'une autre variable non directement accessible en termes de 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

¹² LEPLAT, J. (1997) *Regards sur l'activité*. Paris, PUF.

¹³ Dénomination de Pastré, Vergnaud parle lui de « concepts en actes »

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.

2.2 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 identifier 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 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, l'incertitude et 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 ¹⁴»

Les didacticiens, Brousseau pour les mathématiques, ont construit un cadre théorique autour de la notion de situation. 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, reprenant Ricoeur¹⁵ 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 signifiante 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 signifiantes 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 en termes d'action et de prise d'information, de causes et de conséquences, s'appuyer sur des souvenirs, 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

¹⁴ PASTRE, P (1999) *La conceptualisation dans l'action : bilan et nouvelles perspectives* in Education Permanente n° 139 Apprendre des situations p13-35.

¹⁵ RICOEUR, P. (1986) *Du texte à l'action*. Paris, Le Seuil.

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 »¹⁶ 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 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 et enfin c'est 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 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, les plus grands experts dans tous les métiers, ne savent pas dire spontanément ce qu'ils font, ni comment ils le font.

3. Notre recherche : développement d'une machine outil virtuelle :

Le développement de la machine virtuelle répond aux besoins d'enseignants du Laboratoire de Génie Mécanique de Toulouse : la substitution de travaux pratiques de formation sur machine réelle par des simulations informatiques. L'intégration d'un tel outil dans le processus d'apprentissage permettrait donc d'améliorer la qualité de la formation tout en réduisant sa durée grâce aux avantages qu'il présente. Dans une démarche collaborative entre deux laboratoires (LEMME et LGMT), le projet de développement consiste à associer au projet de conception du simulateur de machine outil, une étude d'essai-évaluation des processus d'enseignement/apprentissage, à partir d'une innovation introduite dans la formation des étudiants de licence et maîtrise de génie mécanique.

3.1 Processus enseignement apprentissage avec simulateur

Dans le domaine de la didactique, les travaux les plus importants menés sur la réalité virtuelle appartient soit au domaine de la didactique des disciplines (mathématiques, physiques, etc.) soit à la didactique professionnelle. Dans les premiers cas, les didacticiens essayent de décrire la spécificité des dispositifs informatiques au regard de la connaissance à enseigner et de la connaissance de référence, décrire la nature des interactions qu'ils permettent, pour quels apprentissages et finalement dire les conditions de leur insertion dans un processus didactique¹⁷. En effet, pour concevoir un EIAO, la question principale sera de savoir quelles représentations des connaissances élaborer pour la modélisation computationnelle de processus dont la finalité est l'apprentissage humain. Cette question doit se résoudre en répondant trois critères : quelle représentation de la connaissance

¹⁶ BROUSSEAU, G. (1986) *Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques* in Recherches en didactique des mathématiques. N°7, 2, pp.38-115.

¹⁷ Nicolas Balacheff et Martial Vivet, « *Didactique et Intelligence Artificielle* », La pensée sauvage (1994)

élaborer, avec quel modélisation de l'élève et quelle est la modélisation de l'interaction didactique qu'on veut gérer¹⁸.

Dans le contexte de formation supérieur où on se situe, il faudra modéliser une situation de travail, mais on ne doit pas oublier que notre situation de formation, même si elle est pre-professionnalisante, n'appartient pas au milieu de formation purement professionnelle. Les études menées pour Pastré dans le cas de la simulation en formation professionnelle, démontrent une référence très forte à la dimension de conception de situations : il s'agit de passer de l'imitation du réel à son élaboration, il faut, selon Pastré « privilégier la dimension d'élaboration didactique des situations sur celle d'imitation ou de reproduction du réel »¹⁹.

Le classement des simulateurs permet des approches : En considérant le niveau d'initiative de l'apprenant, la classification proposée par Balacheff (1994), dans laquelle les systèmes peuvent être situés sur un continuum dont les points extrêmes : systèmes tuteurs et micromondes.

Les systèmes tuteurs protègent l'élève des erreurs, mais encore l'empêchent de s'engager dans certaines voies de solutions. Le principal désavantage de ces systèmes et qu'il ne garanti pas la signification des apprentissages, le raison est que l'élève ne peut pas s'exprimer explicitement sa propre compréhension (le tuteur est plus polarisé sur la connaissance de référence que sur la connaissance dont l'élève pourrait disposer). Une autre raison est que l'apprentissage dans de tels environnements peut conduire l'élève à optimiser ses stratégies, par exemple en recherchant comment obtenir la meilleure aide explicite pour résoudre le problème en question.

L'idée des micromondes consiste en fournir à l'élève un ensemble d'objets élémentaires et un ensemble d'outils primitifs à partir desquels il peut construire des objets de plus en plus complexes alors qu'il progresse dans son exploration. Le désavantage est qu'il ne peut pas, par lui seul, garantir un apprentissage donné et il doit être inclus dans une situation d'apprentissage.

Dans une autre approche, Pastré²⁰ (2003), a montré tout d'abord que cette réflexion sur la réalité procédait de trois sources différentes et avait donc évolué selon trois branches : les simulateurs pleine échelle, la perspective de résolution de problèmes, la simulation à usage de conception. Cette classification on la situe dans une rentrée fonctionnelle. En fait, les simulateurs pleine échelle ont pour objet de reproduire la réalité avec le maximum de réalisme ; il 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.

Avec la deuxième branche de résolution de problèmes, l'objet est de permettre à l'apprenant de se déplacer dans un espace problème. Pastré²¹ (2005) développe cette perspective en s'intéressant aux situations de résolution de problèmes présents dans le travail et en analysant comment leur transposition dans une simulation permet de générer des apprentissages. Il résume ce point de vue :

1. On apprend quand on est confronté à un problème.
2. Le noyau central de l'apprentissage est constitué d'une activité de conceptualisation qui se fait dans l'action.
3. On apprend beaucoup dans l'action, mais on apprend tout autant et même davantage par l'analyse de son action, et il faudrait ajouter qu'on n'apprend pas les mêmes choses.

Les derniers dans notre classification sont les simulateurs de conception, qui ont été développés dans une perspective de recherche et d'ingénierie concourante, impliquant l'intervention de nombreux concepteurs complémentaires.

3.2 Description du dispositif :

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 LGTM, concepteurs 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 en terme d'autonomie des étudiants, d'individualisation de l'enseignement, d'élargissement des compétences, d'aide à la décision.

Il s'agit 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 face à la machine réelle..... Ensuite les apprenants doivent être capables de profiter au maximum des possibilités offertes par le simulateur, ils doivent donc développer toutes les attitudes

¹⁸ Nicolas Balacheff, « *Didactique et Intelligence Artificielle* », La pensée sauvage (1994).

¹⁹ Pierre Pastré, « *Apprendre par la simulation : De l'analyse du travail aux apprentissages professionnels* », Club ETMT (2005)

²⁰ Journée d'étude FFFOD : Réalité virtuelle et Formation - 1er avril 2003 à Laval.

²¹ Pierre Pastré, « *Apprendre par la simulation : De l'analyse du travail aux apprentissages professionnels* », Club ETMT (2005)

nécessaires pour obtenir un apprentissage le plus complet, d'un point de vue de l'acquisition des connaissances techniques et également des connaissances plus « humaines ».

Versant enseignement:

Nous évaluerons des procédures d'intégration du simulateur dans le processus de formation en relation avec les modalités d'intervention de l'enseignant et ses compétences, mobilisées ou à construire (notamment liées aux actions de tutorat, et à la mutualisation de savoirs individuels pour élaborer un savoir commun).

En référence à Pastré les simulateurs utilisés dans les situations de formation permettent une scénarisation de la progression pédagogique ; derrière tous ces outils, figurent des théories implicites de l'apprentissage, qu'il importe de repérer.

Versant apprentissage:

Il s'agit donc de procéder à la détermination des savoirs mobilisés par l'usage du simulateur, et à l'évaluation de son aptitude à être utilisé dans des parcours personnalisés

- L'évaluation des savoirs construits (savoirs scientifiques, savoir-faire, savoir être)
- L'étude des relations entre savoirs construits et :
 - L'autonomisation des étudiants.
 - Les procédures d'intégration du simulateur dans la formation (modalités d'utilisation).
 - Le projet professionnel des étudiants (futurs techniciens, futurs cadres, futurs professeurs).
 - Les échanges collectifs en situation de formation.
 - L'évaluation du transfert de savoir-faire vers un nouvel environnement de travail (possibilités de simulation de plusieurs types de machines).

Les résultats obtenus ont permis d'améliorer le processus d'apprentissage technologique par simulation selon 3 axes principaux :

- réalisation et intégration d'un tuteur virtuel à l'intérieur du logiciel,
- mise en place de scénarios didactiques pertinents dans le contexte de l'utilisation encadrée du simulateur,
- redéfinition du contexte général de la formation pour tenir compte des nouvelles modalités d'apprentissage.

3.3 Protocole de recherche : objectifs, questions de recherche et méthodologie.

Dans une première partie de notre recherche l'objectif était d'améliorer le simulateur d'un point de vue technique mais aussi pédagogique, nous avons défini pour cela des scénarios didactiques pertinents en s'appuyant sur les outils proposés par la didactique professionnelle.

Nos premières questions de recherche étaient les suivantes :

- Quels savoirs d'expérience à partir de situations simulées ?
- Quels transferts de savoirs ?
- Quelle autonomie dans les apprentissages ?
- Quels transferts vers des situations de travail ?

La méthodologie d'évaluation du simulateur porte sur :

- Un questionnaire individuel.
- Des rapports des séances rédigés par une observatrice sur le suivi des apprenants et les enseignants durant la pratique face au simulateur et face à la machine réelle.
- Les apports des enseignants durant les séances.

Dans une deuxième partie de la recherche on a approfondi sur la conception des situations didactiques avec des EIAO, et dans cette démarche on privilégie l'analyse des actions pour l'élaboration des situations didactiques (Pastré 2005). On a fait le choix d'établir des situations problèmes, car elles sont cohérentes avec le milieu de formation technologique et elles permettent de conceptualiser dans l'action. Le développement des compétences suit aussi cette logique : de la conceptualisation dans l'action au transfert vers des autres situations problèmes.

L'élaboration des hypothèses menées dans cette recherche privilégie ce raisonnement. Pour développer des compétences dans une situation d'enseignement/apprentissage par simulation, il faudra alors définir des situations problèmes, (de la pratique professionnelle) qu'on veut gérer, établir les savoirs mis en jeu (extraction de corps de savoirs de référence) et à partir de cela, fournir au simulateur les contenus (travail du informaticien).

3.4 Résultats

Dans l'analyse descriptive nous obtenons des réponses des élèves au questionnaire, l'objectif est de mettre en évidence les résultats les plus significatifs après avoir analysé les données, en intégrant les rapports de séances. Nous avons ensuite croisé certaines variables pour valider nos hypothèses de travail et obtenons les résultats ci dessous :

- Dans le cadre des savoirs mobilisés et d'un point de vue descriptif, les 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 » les élèves se situent positivement, il semblait 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, pour ces domaines une révision n'a pas été effectuée par l'enseignant. Les savoirs sont donc mobilisés, par l'intermédiaire d'une révision ; ces résultats vont dans le sens de Cartonnet qui note la difficulté pour les élèves 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 particularisation indispensable pour préprofessionnaliser un élève ingénieur.
- Le parcours de formation : c'est l'ordre de passage sur le simulateur : soit au début des séances, soit après avoir travaillé avec la fraiseuse (machine réelle) : Est-ce que cet ordre a de l'importance par rapport à l'acquisition des connaissances : savoirs mobilisés et savoirs construits avec le simulateur ?

Avant d'avoir travaillé avec le simulateur, une partie des élèves a déjà utilisé la machine réelle, ils ont probablement déjà mobilisés des savoirs théoriques et nous faisons l'hypothèse qu'ils s'évaluent plus positivement car ils ont déjà fait le même TP. Les résultats valident notre 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 : Les élèves étant déjà passé sur la machine réelle s'évaluent plus positivement.

Nous avons enfin interrogé sur le transfert du simulateur à la machine réelle, ce sont les élèves qui ne sont pas encore passé sur la machine qui pensent plus que le simulateur va les aider à travailler devant la fraiseuse. A l'inverse, les élèves qui sont déjà passé sur la machine réelle ne voient pas l'intérêt professionnalisant du simulateur. Selon nous, le simulateur est 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 ...

- Les savoirs mobilisés ont-ils un lien avec l'origine de formation ? La formation initiale est essentiellement théorique, et indispensable pour arriver à construire des savoirs d'action, essentiels pour l'acquisition des compétences. On trouve des différences substantielles entre la méthodologie de travail dans les différentes universités d'ingénierie française.

La distribution des origines des élèves 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, 2 ans d'ingénierie industrielle).

D'après les résultats on conclut que sur deux dimensions (constitution d'une machine outil et principes de réglage), les résultats sont significatifs: les élèves venant d'IUT ont plus conscience des savoirs mobilisés que les élèves venant de BTS. Les résultats peuvent s'expliquer par le fait que la formation en IUT est plus théorique que la formation de type BTS.

- Les savoirs construits sont les connaissances évaluées après la manip sur le simulateur : la question est de savoir si le simulateur est capable d'aider à l'acquisition des compétences, s'il 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 élèves se situent par rapport aux savoirs d'action et ensuite

on suit le processus général d'apprentissage grâce à l'introduction de ce nouvel outil : le compagnon virtuel.

Afin de mesurer l'effet du simulateur, on va comparer les résultats entre les savoirs mobilisés (théoriques acquis durant leur formation), les savoirs construits (savoirs théoriques qui sont amenés à l'action) et le savoir-faire (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, ou soit égales, donc on peut 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.

Nous avons enfin regroupé les commentaires des rapports de séances par catégories, aussi bien les remarques des apprenants que des enseignants.

Aspect Pédagogique : notre outil permet de simuler

- la prise des origines de la machine (POM).
- la prise de références (PREF).
- la mesure des jauges outils.

Les apprenants ont mis en œuvre la même pratique devant le simulateur et devant la fraiseuse ; le travail devant la machine réelle motive plus les étudiants.

Aspect graphique : 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. De plus, concernant la partie commande numérique, ils proposent d'améliorer l'interface homme machine : mise en place de boutons, introduction de bruit des alertes...)

Aspect Didactique : cet aspect va se développer à mesure que le simulateur va être utilisé par les apprenants encadrés par les enseignants responsables, qui vont participer aux processus d'évaluation.

La deuxième partie de notre recherche, située dans un regard purement didactique, porte notamment sur l'extraction de corps de savoirs de référence. On se situe dans la perspective de Rogalsky et Samurçay : il s'agit-là de prendre en compte l'ensemble du processus de passage de « savoir en acte » à l'enseignement d'un corpus de connaissances, qui, à partir de notre outil, permettra aux élèves d'acquérir des compétences. La construction d'un tel corpus, a comme objectif de repérer les savoirs « mis en jeu » pendant la situation didactique qu'on a déjà défini. Ainsi, on va s'en servir pour établir les savoirs indispensables dans le processus d'acquisition des compétences, ce que va nous permettre de définir quelques directions pour l'observation évaluative des compétences (explicites et incorporées) et donc de l'évaluation du dispositif. Le résultat de l'évaluation mis en œuvre nous ont permis de catégoriser les réponses des élèves utilisateurs selon trois niveaux : le niveau générique, où les élèves montrent très peu de maîtrise dans la manipulation de l'outil, le niveau procédural dont les élèves se situent par rapport aux savoirs procéduraux, propres du domaine de l'apprentissage technologique et caractérisé par la description de la technique employé et le niveau conceptuel, qui consiste en reformulation et généralisation des processus appliqués chez les élèves. On a croisé les résultats du test avec une observation non systématisé pour vérifier que le niveau des réponses données était d'accord avec l'observation dans l'action.

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. 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'évolution des compétences et son évaluation. Nous avons montré aussi, comment l'extraction d'un corps de savoirs de référence permet d'établir les situations didactiques mis en jeu avec un outil de simulation.

Nous travaillons actuellement à la mise en place d'outillages méthodologiques qui permettent de développer les situations didactiques que nous voulons gérer dans le cadre des environnements interactives d'apprentissage avec l'ordinateur.