

Résumé thèse¹

« Contexte professionnel, contexte de la formation technologique supérieure, approche didactique. Le cas des formations utilisant des simulateurs informatiques. »

Ce travail de recherche a été mené pendant la période 2005-2008 au sein du laboratoire Didactique des Disciplines Scientifiques et Technologiques (DiDiST-CREFI-T). Il s'est développé en collaboration avec le Laboratoire de Génie Mécanique de Toulouse (LGMT) à travers un projet ERTé (Equipe de Recherche Technologique en enseignement) intitulé « MOUV : Machine Outil Virtuelle », au sein de l'Université Toulouse III, Paul Sabatier.

L'auteur de la thèse présentée est titulaire d'un diplôme d'ingénieur (génie industriel) et d'un DEA (ancien master II recherche) en Sciences de l'Éducation. Ce travail s'inscrit ainsi dans une conversion thématique vers la recherche en sciences de l'éducation, et plus particulièrement l'intérêt est porté sur les formations technologiques.

L'intitulé de la thèse fait part du projet d'éclairer les rapports existants entre deux contextes : professionnel et de la formation technologique supérieure. L'approche didactique se focalise sur les savoirs en jeu des situations de formation technologiques visées, à travers l'analyse d'un simulateur de Machine Outil à Commande Numérique (MOCN). L'analyse du simulateur traverse ainsi tout ce travail de recherche. D'abord, à travers les motivations et les objectifs des concepteurs du simulateur. Ensuite, l'intérêt est porté sur la manière dont les concepteurs ont implanté dans le simulateur, à la fois des savoirs et des situations. Enfin, nous avons caractérisé les situations de formation dans lesquelles il a été utilisé.

Le planning de ce résumé s'organise selon trois parties : le cadre de la recherche, les étapes de la recherche, au nombre de quatre, et quelques conclusions et perspectives de ce travail.

Dans le cadre de la recherche, nous aborderons le projet d'articulation théorique entre une didactique disciplinaire : la didactique de la technologie et une didactique professionnelle, concernant l'usinage des pièces. Le cadre de la recherche permet d'introduire l'idée maîtresse de ce travail : il s'agit de rendre explicites les relations entre le contexte professionnel et le contexte de la formation technologique supérieure sous une approche didactique. Celle-ci est matérialisée par une analyse de la chaîne transpositive complète.

Les différentes étapes de la recherche, représentées dans la figure 1 suivante, permettent de visualiser comment s'est déroulé cette analyse transpositive.

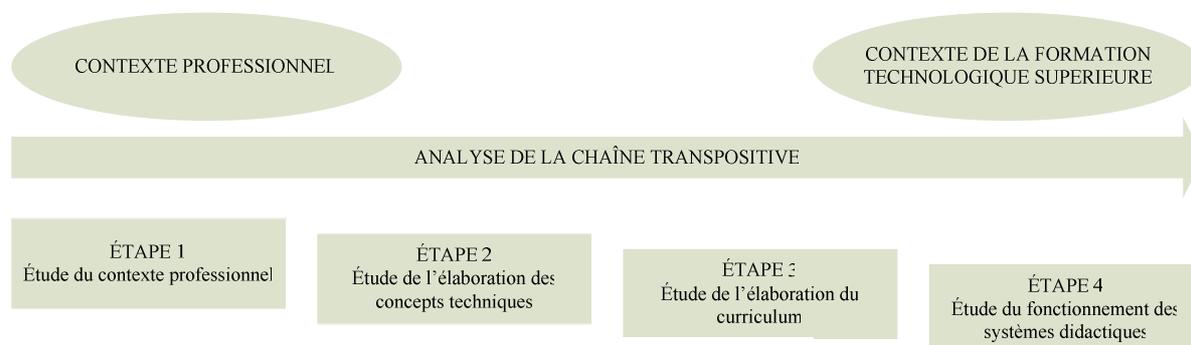


Figure 1 : étapes de la recherche

¹ Ce résumé est inspiré de l'intervention de soutenance du 14 novembre 2008. Il tient compte des remarques des rapporteurs de la thèse : Messieurs Pierre Pastré et Patrick Mayen.

La première étape porte sur l'étude du contexte professionnel. Le contexte professionnel est à l'origine des processus de transposition, en tant qu'élément constitutif de la référence. La deuxième étape s'intéresse à la manière dont les enseignants-chercheurs en génie mécanique, élaborent des concepts techniques à partir des problématiques industrielles. Ensuite, lors de la troisième étape, l'étude est relative à l'élaboration du curriculum par ces mêmes acteurs qui élaborent les concepts techniques : les enseignants-chercheurs. Enfin, l'étude didactique s'introduit dans l'espace de la classe, pour caractériser le fonctionnement des systèmes didactiques avec un simulateur de MOCN.

LE CADRE DE LA RECHERCHE

L'articulation des deux didactiques : de la technologie et professionnelle s'inscrit dans le projet de rendre explicite les relations entre le contexte professionnel et celui de la formation technologique supérieure, il constitue un apport théorique original. Des articulations élaborées², l'exposé ici va se limiter à trois d'entre elles, parce qu'elles constituent des éléments de problématisation centraux dans ce travail.

La première articulation aborde l'élaboration des concepts relatifs à la technique. Cette perspective s'inscrit dans la prise en compte de la référence dans le processus transpositif, constituée par le contexte professionnel. Ainsi, une équipe de chercheurs d'un laboratoire technologique élabore un concept technique³ à partir des problématiques industrielles. En effet, dans le contexte industriel, les opérateurs –dans ce cas des opérateurs sur MOCN– rencontrent des problèmes dans les situations de travail. Pour répondre à ces problèmes, ils élaborent des stratégies qu'ils transmettent à leurs collègues de travail. Les élaborations construites à partir de ces stratégies constituent les concepts pragmatiques (Pastré, 1992) : élaborés dans l'action, servant à la guider et possédant une dimension sociale. Nous les avons caractérisés par une visée pragmatique, réussir dans l'action, et un domaine de validité étroit, concernant une même classe de situations (Vergnaud, 1990). Ces concepts pragmatiques constituent des sources potentielles d'amélioration de la technique⁴, qui peuvent être mis à profit par les laboratoires technologiques pour constituer leurs problématiques de recherche. Le résultat de ces élaborations scientifiques va permettre au concept pragmatique d'élargir son domaine de validité tout en conservant sa visée pragmatique. Ces élaborations scientifiques sont des concepts techniques, caractérisés par leur capacité à produire un effet intéressant sur la matière ou un artefact utile. La notion de modèle (Martinand, 1996) permet de rendre compte de ce processus.

Cela nous amène à introduire la première hypothèse de ce travail : *l'existence d'une modélisation à partir des problématiques industrielles, permettant aux concepts techniques résultants de préserver la visée pragmatique, tout en élargissant son domaine de validité.*

La deuxième articulation s'intéresse à l'élaboration du curriculum par les acteurs impliqués dans le travail de production des concepts techniques au sein d'un laboratoire de recherche technologique. Trois éléments théoriques sont considérés :

Le premier est constitué par la pratique sociale de référence (Martinand, 1981), notion qui permet d'interroger les choix de contenus et les objectifs en fonction de la référence choisie, constituée par la pratique professionnelle d'un opérateur sur MOCN et qui est à l'origine des

² Disponibles dans le cadre conceptuel du tapuscrit de la thèse, chapitre 3.

³ La justification de l'utilisation du concept technique est présentée dans la thèse paragraphe 3.1.1 intitulé « vers une modélisation des concepts pragmatiques ».

⁴ Voir à ce sujet le tableau 2 dans le tapuscrit de la thèse « les différentes raisons d'évolution des savoirs relatifs à la technique » situé dans le paragraphe 2.1.1 regard didactique sur les enseignements technologiques

situations professionnelles proposées en formation et des concepts techniques élaborés par un laboratoire de recherche.

Le deuxième élément théorique concerne les objectifs, la notion de registre de technicité (Martinand, 1983) permet d'envisager le projet formatif en prenant en compte l'aspect multidimensionnel des technicités et d'éviter une vision hiérarchique en niveaux de conceptualisation.

Enfin, le troisième élément est constitué par la place de la didactique professionnelle dans la proposition des contenus d'enseignement. Dans le contexte de la formation technologique supérieure, la pertinence dans le choix des contenus, se négocie par rapport à la pratique professionnelle, dans ce cas, d'un opérateur sur MOCN. La place de la didactique professionnelle consistera donc à envisager une analyse de l'activité de référence, permettant de formaliser les enjeux de la pratique formative associée.

La problématisation de ce processus d'élaboration du curriculum permet ainsi de poser deux questions, dans le sens d'éclairer les rapports entre le contexte professionnel et le contexte de la formation technologique supérieure.

1. La première question s'intéresse aux *éléments du contexte professionnel mobilisés pour la formation*.
2. La deuxième, au *registre de technicité envisagé par le projet formatif des enseignants*.

La troisième articulation porte sur l'analyse du fonctionnement des systèmes didactiques. La figure 2 représente le système didactique et ses trois composantes : l'enseignant, l'apprenant et les contenus d'enseignement.

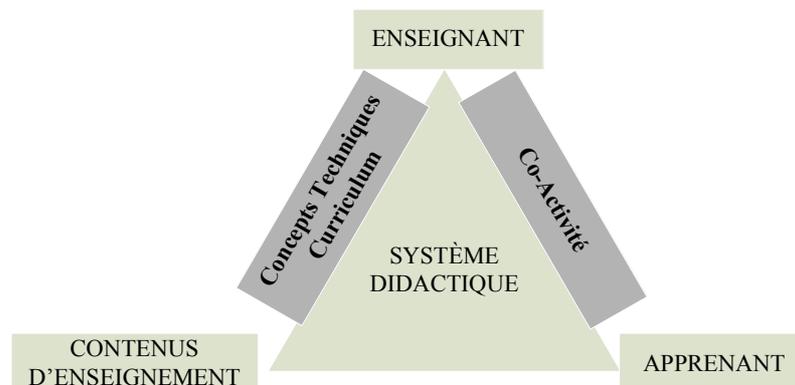


Figure 2 : système didactique

Si l'on se focalise sur les rapports entre l'enseignant et les contenus d'enseignement, ceux-ci ont été évoqués par le rôle des enseignants chercheurs dans l'élaboration des concepts techniques et dans l'élaboration du curriculum.

Concernant maintenant le pôle apprenant, les rapports avec l'enseignant et les contenus d'enseignement sont abordés selon la double perspective théorique de la didactique professionnelle et de la didactique de la technologie.

La didactique professionnelle aborde l'étude des situations de formation avec simulateur. La première notion mobilisée est la co-activité entre l'enseignant et l'apprenant :

- Du côté de l'enseignant, son activité consiste à effectuer une médiation entre l'apprenant et la tâche qui lui est proposée. Dans ce contexte, l'enseignant utilise en plus un instrument de médiation entre la tâche et l'apprenant : le simulateur.
- Du côté de l'apprenant, les notions relatives à la théorie de la conceptualisation dans l'action (Pastré, Mayen & Vergnaud, 2006) permettent l'analyse de l'activité des

étudiants en relation à l'évolution des modèles opératifs, c'est-à-dire, des représentations que ces sujets se font de l'activité dans laquelle ils sont engagés pour la transformer.

La didactique de la technologie permet d'éclairer les notions concernant l'élaboration du curriculum, telles que registre de technicité (Martinand, 1983) et pratique sociale de référence (Martinand, 1981). La prise en compte des enseignants-chercheurs qui participent à la fois à l'élaboration et à la mise en œuvre du curriculum, permet de formuler l'hypothèse suivante :

Dans la formation technologique supérieure, le registre de technicité mobilisé par l'enseignant varie en fonction du profil des étudiants. Cette hypothèse va dans le sens d'une co-activité ou de l'interaction enseignant-étudiants dans le système didactique.

La problématisation de cette dernière articulation, maintient ainsi les questions de recherche énoncées précédemment sur les éléments du contexte professionnel et sur le registre de technicité. Ces questions sont formulées autrement, puisqu'elles rentrent dans l'espace de la classe :

1. Quels sont les éléments du contexte professionnel *effectivement* mobilisés pour la formation ?
2. Quel est le registre de technicité *effectivement* mis en œuvre par l'enseignant ? Cette question est centrale dans cette recherche. Elle permet d'éclairer le rôle des enseignants-chercheurs dans le projet de formation.

Tous les éléments évoqués constituent le cœur de la problématisation de ce travail. Cela a permis d'entrevoir la démarche méthodologique privilégiée : il s'agit de suivre un processus imbriqué dans lequel les résultats des étapes antérieures constituent la base des analyses suivantes. Par exemple, le contexte professionnel (étape 1 de la figure 1) permet l'analyse du travail et la modélisation des concepts techniques. Une autre caractéristique de la méthodologie mobilisée est qu'elle a été déterminée en partie par le contexte de la recherche. En effet, ce projet de recherche s'inscrit dans un projet ERTé (Mouv) qui établit une collaboration entre deux laboratoires (DiDiST et LGMT) et une institution (Centre Universitaire de Formation et de Recherche de Champollion, Albi). Concernant les conditions d'étude en contexte de formation, au total quatre enseignants et deux classes (expérimentés et apprentis) composées de sept étudiants ont fait partie de l'étude. En contexte professionnel, les restrictions imposées par les entreprises pour éviter l'espionnage industriel et le coût économique de l'arrêt de travail des opérateurs, ont posé de difficultés d'accès aux postes. Deux acteurs de l'industrie: un chef d'atelier et un opérateur sur machine, ont permis d'analyser l'activité professionnelle. *Ce public si restreint a influencé la méthodologie qualitative, qui essaie de comprendre les sujets au départ de leur jeu de référence.*

L'analyse didactique s'est limitée à deux situations, choisies en amont parce qu'elles constituent des objectifs principaux dans la formation visée. La première situation proposée aux étudiants est la mise en fonctionnement et le réglage d'une MOCN. La deuxième situation concerne le phénomène d'évolution temporelle de la broche. L'étude de la relation entre les deux contextes : professionnel et de la formation est donc focalisée sur l'analyse transpositive de ces deux situations, et constituée en quatre étapes:

- Etape 1 : l'analyse du travail
- Etape 2 : l'élaboration des concepts techniques
- Etape 3 : l'élaboration du curriculum et les éléments du curriculum en amont et en aval de la séance de formation.
- Etape 4 : l'analyse du fonctionnement des systèmes didactiques avec simulateur.

ETAPE 1 : L'ANALYSE DE L'ACTIVITE PROFESSIONNELLE D'UN OPERATEUR MOCN

L'ancrage théorique de l'analyse de l'activité professionnelle est issu de la didactique professionnelle. Cette perspective adopte les méthodes classiques en ergonomie de langue française. L'objectif de l'analyse de l'activité d'un opérateur est de déterminer la structure conceptuelle de la situation définie « du point de vue de la tâche et pour une situation donnée, comme l'ensemble des concepts organisant l'action et servant à la guider » (Pastré, Mayen & Vergnaud, 2006).

L'ancrage méthodologique débute par une analyse de la tâche et prend en compte l'expérience des acteurs et la singularité des actions. Deux acteurs sont interrogés : un chef d'atelier et un opérateur sur machine, ce qui permet d'élargir le regard posé sur l'activité de l'opérateur. Lors du recueil de données nous distinguons trois moments. Le premier concerne l'analyse globale de l'activité, porté par un entretien avec le chef d'atelier sur le fonctionnement de l'ensemble de l'usine. Le deuxième moment s'intéresse ensuite à l'activité de l'opérateur et permet d'établir une première esquisse de la structure conceptuelle de la situation. Enfin, le troisième moment a pour but de vérifier la représentation élaborée.

Les résultats de l'analyse du travail s'organisent d'abord autour des organisateurs de l'activité d'un opérateur expert, et ensuite autour de la situation de mise en fonctionnement et réglage. La situation de mise en fonctionnement et réglage, rappelons-le, est une des situations visées par l'analyse didactique dans la classe.

La figure 3 représente la structure conceptuelle de la situation concernant l'usinage des pièces avec MOCN :

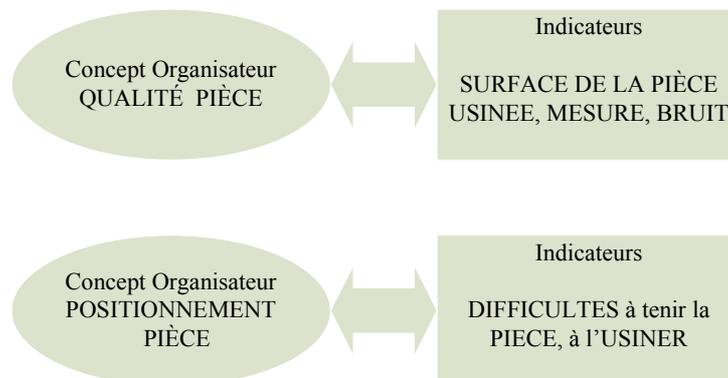


Figure 3 : éléments de la structure conceptuelle de la situation

Concernant le premier concept organisateur, la qualité de la pièce, il détermine l'efficacité dans l'action. La qualité est l'objectif principal de l'activité, directement lié à l'efficacité et à la productivité. Deux caractéristiques de ce concept organisateur ont été identifiées:

1. Il est imposé par l'organisation sociale du travail. Le niveau et qualité de la pièce est déterminé depuis le bureau de conception et décrit dans la gamme que l'opérateur doit suivre.
2. Il représente la difficulté majeure dans le travail de l'opérateur.

Le fonctionnement de cet organisateur de l'activité est identifié par son rôle de diagnostic : l'opérateur mesure les premières pièces d'une série et détermine s'il y a une dérive de la cote. Si la cote a dérivé, l'opérateur va réguler ses actions en fonction d'un diagnostic fondé sur les valeurs des indicateurs. Ce sont des observables relevés de la situation. Le premier indicateur est la surface de la pièce usinée (si elle a des bavures ou des facettes), qui permet d'identifier

la classe de situation (l'outil est usé ou il vibre). D'autres indicateurs sont la mesure ou le bruit, ce dernier étant lié aux conditions de coupe.

Le deuxième concept organisateur est le positionnement initial de la pièce. Le positionnement initial est défini dans la phase de conception et de programmation de la pièce. C'est un problème qui ne concerne pas en principe l'opérateur sur MOCN. Cependant, dans des situations d'usinages de pièces complexes, les compétences des opérateurs peuvent s'avérer essentielles. Deux paramètres permettent d'évaluer la stratégie menée: la visibilité de la pièce et le nombre de détournements de la pièce. Un indicateur fourni par la situation consiste à ne plus pouvoir tenir ou usiner la pièce.

L'analyse du travail a permis d'effectuer la structure conceptuelle de la situation, notamment par les éléments qui la composent : les concepts organisateurs et les indicateurs. Deux organisateurs de l'activité ont été identifiés : la qualité de la pièce et le positionnement initial. Ces deux concepts organisateurs, notamment celui relatif à la qualité d'usinage, semblent un peu « généraux » dans le cadre de l'activité d'un opérateur sur machine. Leur intérêt dans cette recherche est de permettre d'effectuer le passage entre la pratique sociale de référence qui serait en jeu dans la formation des étudiants, et celles pouvant engager la pratique professionnelle d'un programmeur ou d'un concepteur. Ces pratiques sociales sont en jeu dans la formation initiale et dans la promotion professionnelle d'un opérateur. Ainsi, cette structure conceptuelle va servir de base pour déterminer quels sont les éléments du contexte professionnel mobilisés pour la formation, en relation avec les processus transpositifs.

La deuxième partie de résultats est relative à l'analyse de la tâche de mise en fonctionnement et réglage d'une MOCN. Il s'agit d'abord de décrire la séquence d'actions et ensuite d'analyser les notions sous-jacentes à cette situation qui a été proposée aux étudiants en formation. Nous pouvons diviser l'étude du geste en quatre moments.

Le premier moment, illustré dans la figure 4, concerne le positionnement de la pièce dans l'étau qui positionne la pièce afin d'éviter qu'elle bouge pendant l'usinage de la pièce :



Figure 4 : positionnement de la pièce dans l'étau

Le deuxième moment, illustré dans la figure 5, correspond au positionnement du palpeur, on peut le considérer comme la préparation au calcul des origines.



Figure 5 : préparation au calcul des origines

Le troisième moment, illustré dans la figure 6, correspond à la détermination du vecteur prise de référence en X, Y, et Z :



Figure 6 : vecteur PREF dans l'axe Y

Enfin la dernière étape, illustrée dans la figure 7, représente l'introduction de la valeur des longueurs et diamètres des outils qui seront mobilisées par le magasin de la machine lors de la phase d'usinage.



Figure 7 : vecteurs des longueurs et diamètres d'outils

Dans les quatre étapes, les concepts organisateurs de qualité de la pièce et positionnement initial sont présents. A partir de cette analyse nous avons explicité les notions sous-jacentes mobilisées dans la situation⁵. Cela nous a permis de relever certains aspects.

D'abord nous avons analysé ces notions préalables en lien avec :

- les différentes origines (espace vectoriel relatif à la machine),
- les vecteurs associés aux mouvements de la machine,
- les procédures nécessaires pour effectuer la tâche.

Nous avons ensuite relevé des différences par rapport à l'utilisation de la terminologie dans les divers écrits analysés : manuels, documents techniques, supports de cours, etc. Ces différences constituent des obstacles à la compréhension des notions, par exemple à propos des origines programme et pièce.

Enfin, nous avons identifié des réductions effectuées dans les expressions vectorielles par une approche procédurale proposée par certains manuels et qui pourraient selon quelques auteurs (Rabardel et al., 1998) être à l'origine d'obstacles didactiques.

Cette première étape de la recherche, concernant l'analyse de l'activité professionnelle d'un opérateur sur MOCN est clôturée par une analyse didactique de la situation de mise en fonctionnement et réglage d'une MOCN. La deuxième situation visée par cette recherche,

⁵ Cette analyse est développée dans le tapuscrit de la thèse, paragraphe 8.2.2 intitulé « autour du réglage de la machine »

celle concernant le phénomène de dilatation temporelle de la broche, est abordée dans la deuxième étape d'étude de modélisation des concepts techniques.

ETAPE 2 : ETUDE DE LA MODELISATION DES CONCEPTS TECHNIQUES

Le but de cette étape est d'analyser l'élaboration des savoirs dans la sphère technique⁶. L'hypothèse guidant cette étape a été explicitée ainsi : *à partir des problématiques issues du contexte professionnel, et représentées par les concepts pragmatiques, les chercheurs dans le champ de la technologie, élaborent des concepts techniques par le biais d'une modélisation théorique.*

La *démarche méthodologique* s'est organisée selon trois moments. Le premier correspond à l'analyse de l'activité d'un opérateur. Il s'agit de déterminer l'origine pragmatique des problématiques de recherche. Notre point de départ est la définition du concept pragmatique: construit dans l'action, servant à la guider et ayant une dimension sociale.

Lors du deuxième moment, nous avons déterminé les conditions d'analyse du processus de modélisation: par des entretiens avec des chercheurs et par l'analyse des documents scientifiques. Trois critères sont retenus pour caractériser le modèle: le type de modélisation, la réduction opératoire -qui détermine les conditions de son utilisation- et la visée scientifique. Enfin, le troisième moment est consacré à la caractérisation du résultat de cette modélisation comme étant un concept technique. Deux caractéristiques ont été mises en avant : l'élargissement du domaine de validité en relation à la problématique de départ et la conservation de sa visée pragmatique.

Les résultats concernent d'abord l'analyse du travail.

Nous avons défini le phénomène de dilatation de la broche comme une classe de situations de dysfonctionnement, conséquence des effets thermiques lors de la phase d'usinage des pièces. L'opérateur sur machine identifie une dérive de la cote par une variation dans la profondeur de l'usinage. La stratégie de compensation consiste à réguler l'enlèvement de matière par l'axe Z. Ce concept est ainsi identifié comme un organisateur de l'activité de l'opérateur et il possède une dimension sociale partagée par l'opérateur et par le chef d'atelier. Il est difficile cependant de distinguer s'il s'agit d'un concept théorique qui a été pragmatisé ou d'un concept construit dans l'action, donc pragmatique.

Les résultats concernent ensuite la modélisation à partir des problématiques industrielles. L'origine de la problématique a été définie par le chercheur comme la caractérisation, dans un parc de machines, de la machine outil la moins apte pour effectuer un usinage déterminé.

Nous pouvons ainsi résumer le processus de création, validation et extrapolation du modèle comme étant guidé par une visée pragmatique d'application industrielle immédiate permettant une caractérisation rapide des défauts.

Le modèle élaboré peut être donc caractérisé par les critères de Martinand (1994) :

- Une réduction opératoire a été effectuée, consistant à caractériser les défauts selon une approche d'ensemble (machine-outil-pièce) au lieu de prendre en compte chaque élément indépendamment (les défauts de la machine, de l'outil et de la pièce). Cette réduction opératoire permet de dégager la fonction technique de caractérisation rapide d'une MOCN.
- La visée scientifique est caractérisée par trois aspects: le souci dans l'utilisation des termes, l'ambition d'élargir le modèle expérimental vers un modèle empirique, ou théorique, et par les critères de scientificité appliqués.

⁶ Cette étape correspond au chapitre 7 du tapuscrit de la thèse.

Les résultats concernent enfin la caractérisation du résultat de la modélisation comme étant un concept technique. Nous résumerons cette modélisation en référence au contexte professionnel.

Dans le contexte professionnel, la dilatation de la broche est identifiée par un changement de la profondeur d'usinage et compensée dans l'axe Z (axe de la broche).

Dans le contexte de la recherche en génie mécanique, l'évolution temporelle de la broche est une problématique des industriels qui veulent caractériser la machine la moins capable d'effectuer un usinage. La modélisation effectuée par une réduction opératoire prend en compte l'ensemble machine-outil-pièce. Nous pouvons conclure qu'il s'agit d'un concept technique, par sa visée pragmatique et parce qu'il tente d'expliquer un phénomène, que le concept pragmatique associé n'est pas capable.

Pour conclure cette partie, la discussion épistémologique s'intéresse sur le double mouvement, dialectique, entre les deux registres pragmatique et épistémique de la connaissance, en essayant de rendre explicite le mouvement de pragmatique à épistémique, peu traité jusqu'à l'heure et qui constitue une des apports les plus importants de ce travail. Ce mouvement est représenté dans la figure 8.

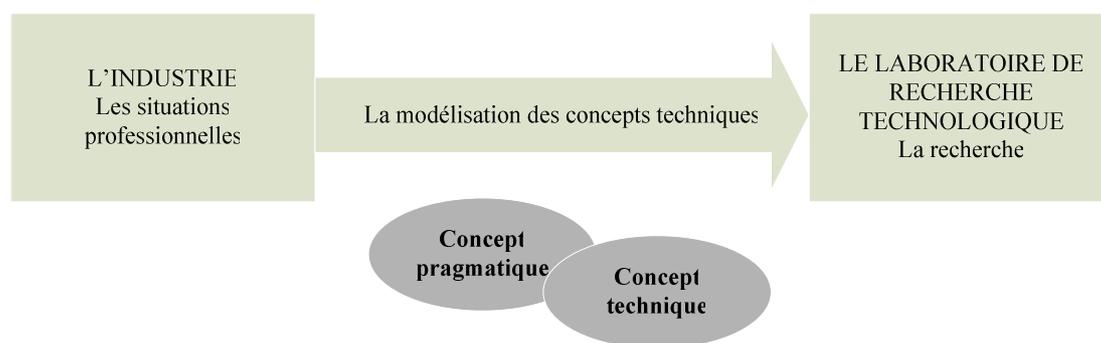


Figure 8 : mouvement de modélisation des concepts techniques

Nous avons considéré un même phénomène, celui de la dilatation de la broche et nous avons porté sur lui deux regards différents : un regard caractérisé par une logique d'utilisation, ou une représentation fonctionnelle permettant d'intervenir sur une machine. Un autre regard porté par une logique de fonctionnement, ou une représentation fonctionnelle pour agir sur la broche elle-même au moyen de concepts techniques d'un niveau plus élevé.

Ces chercheurs qui élaborent un concept technique sont les mêmes enseignants qui ont un rôle très important dans l'élaboration du curriculum et qui ont conçu le simulateur de MOCN. Les résultats de l'étape trois s'intéressent à ces deux aspects.

ETAPE 3 : L'ELABORATION DU CURRICULUM DE FORMATION

L'étude de l'élaboration du curriculum de formation s'organise en deux moments. Le premier moment concerne une partie du curriculum : le syllabus. Lors du deuxième moment, l'analyse portera sur certains éléments du curriculum, considérés en amont et en aval de la séance de formation⁷.

⁷ Ces deux moments, correspondent avec les chapitres 8 et 9 dans le tapuscrit de la thèse.

Concernant d'abord l'élaboration du curriculum, *l'approche méthodologique* consiste à mettre en relation les éléments de la structure conceptuelle de la situation avec le syllabus de la formation, par les biais des entretiens menés auprès des enseignants-chercheurs. Les catégories d'analyse portent sur la pratique professionnelle future des étudiants, sur l'élaboration des contenus de formation, les objectifs et les modalités de mises en œuvre. Ces catégories permettent de déterminer le registre de technicité visé par le projet éducatif des formateurs. Ainsi le résultat est en concordance avec la réflexion théorique de Cartonnet (2000), puisque un registre de technicité de participation, permettant de tenir un rôle non autonome mais actif est ressorti des résultats. En revanche, le fait que la pratique professionnelle future des étudiants soit différente de celle d'un opérateur sur machine outil, provoque un changement dans le registre de technicité à acquérir. Les enseignants complètent un registre de participation avec celui de la lecture, leur permettant de devenir concepteurs des produits industriels.

Par rapport ensuite à l'élaboration du curriculum, nous avons analysé un certain nombre d'éléments en amont et en aval de la séance de formation.

Les éléments traités en amont de la séance sont au nombre de trois. Le premier concerne les notions relatives à la tâche proposée aux étudiants, et a déjà été abordé lors de l'étape 1 d'analyse du travail. Le deuxième est constitué par la présentation de la tâche dans le cahier de TD et permet d'entrevoir le rôle sous jacent du concepteur du simulateur dans un manuel très détaillé des actions à suivre et les vraisemblances entre le cahier de TD et le manuel de la machine NUM. Enfin, nous avons aussi analysé le simulateur, et les modélisations effectuées pour représenter une tâche, le réglage, et un concept technique, l'évolution temporelle de la broche. Relative à la tâche, nous pouvons imaginer le simulateur comme un instrument qui représente la machine outil à commande numérique, puisque les touches possèdent les mêmes fonctionnalités. Concernant le concept technique, l'évolution temporelle de la broche a été représentée selon les effets que ce phénomène provoque sur la pièce usinée, ou la manière dont ce phénomène est identifié, et non pas comme le phénomène physique d'une broche qui se dilate (voir figure 9 ci-après).

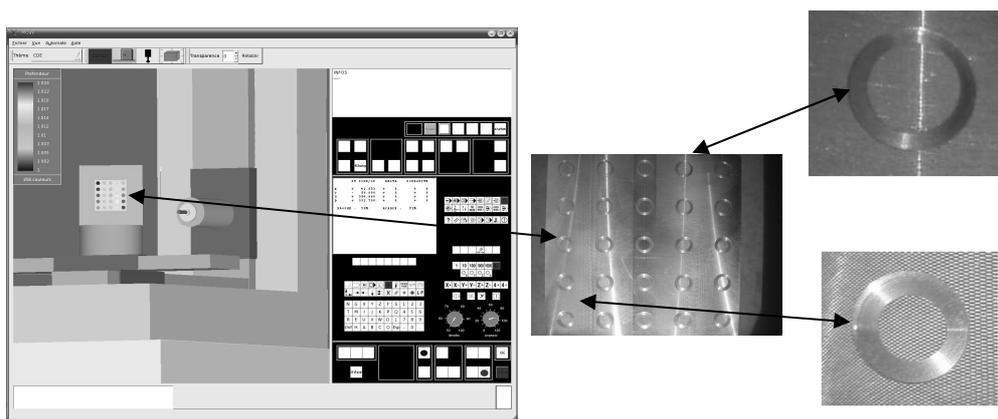


Figure 9 : Défauts montrés par échelle de couleurs versus défauts sur une pièce. Copie d'écran du simulateur.

Concernant les éléments du curriculum en aval de la séance, nous avons comparé les éléments de la structure conceptuelle de la situation (les concepts organisateurs, les classes des situations, etc) avec les discours de deux enseignants sur la mise en œuvre des contenus dans la situation de formation. Trois aspects sont mis en évidence:

- Les systèmes de référence sont transformés. La pratique sociale de référence est ainsi constituée par des éléments de la pratique professionnelle d'un opérateur, mais aussi d'un contrôleur des pièces, d'un programmeur, concepteur, etc.
- Par rapport aux situations relatives au noyau conceptuel de la situation et qui ne sont pas traités lors de la séance de formation, les enseignants évoquent des contraintes matérielles et temporelles liées au milieu didactique : « on n'a pas le temps », ou « ça fait partie des questions difficiles ».
- La distribution des contenus dans le syllabus est le dernier aspect. En effet, certaines des notions relatives à la tâche proposée en troisième année de licence apparaissent dans le syllabus dans la première année.

En conclusion, cette étape d'analyse du curriculum dans le contexte de la formation universitaire technologique a permis de mettre en évidence un certain nombre d'éléments, relatifs notamment au processus de transposition de situations et au projet formatif des acteurs principaux de la noosphère, les enseignants chercheurs. L'étape suivante s'intéresse au projet formatif mobilisé dans la classe, par les mêmes enseignants chercheurs, et porte sur le fonctionnement des systèmes didactiques avec simulateur.

ETAPE 4 : ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES DIDACTIQUES

Cette dernière étape permet d'introduire la réflexion sur les processus transpositifs dans l'espace de la classe. Elle porte sur l'analyse du fonctionnement des systèmes didactiques avec simulateur. Cette analyse privilégie les interactions étudiants-contenus d'enseignement et étudiants-enseignants, dans le sens de la co-activité.

Deux *questions d'orientation* restent encore ouvertes. La première concerne le projet éducatif de l'enseignant, rappelons le, avec un fort rôle institutionnel. La question porte sur le registre de technicité réellement mobilisé. Dans l'analyse précédente nous avons déterminé un registre de participation comme celui envisagé pour la séance, et un registre de lecture comme celui à acquérir, au sens plus large du projet de formation.

Nous avons analysé deux séances de formation. Lors des séances, c'était le même enseignant P1 qui intervenait. Dans la première séance les étudiants sont expérimentés et possèdent une expérience en MOCN. Chacun des étudiants travaille avec un simulateur, et la séance se déroule dans la salle d'informatique. La deuxième séance est composée des étudiants apprentis, néophytes quant à l'utilisation des MOCN. Ils travaillent en groupe (binôme et trinôme) face aux simulateurs situés au milieu de l'atelier, entourés des machines.



Figure 10 : photographies des deux séances de formation.
À gauche avec les étudiants expérimentés (Se) et à droite avec les étudiants apprentis (Sa).

Nous avons mené *l'analyse de l'activité de l'enseignant P1* dans les deux séances de formation, selon trois niveaux:

1. L'organisation générale de la séance, c'est-à-dire, les différents moments identifiés dans lequel l'activité de l'enseignant change.
2. Les stratégies déployées par l'enseignant dans chacun de ces moments.
3. Un troisième niveau d'analyse correspond aux connecteurs linguistiques mobilisés par l'enseignant en fonction des stratégies déployées.

D'une manière générale, on peut dire que l'organisation générale des séances se ressemble. Nous trouvons un premier moment d'explication générale, un deuxième moment de démonstration de la tâche et un troisième moment de médiation dans lequel les étudiants effectuent la tâche sur le simulateur.

Nous avons effectué deux types d'analyse. La première correspond pour la même séance aux différents moments. La deuxième analyse, compare les différents moments selon les deux groupes d'étudiants. Les résultats montrent que les stratégies déployées à chaque séance, avec les expérimentés ou apprentis, sont différentes au niveau micro, du grain le plus fin, des connecteurs linguistiques du discours de l'enseignant.

En conclusion, nous avons pu établir une relation entre l'organisation, les stratégies et les marqueurs linguistiques pour chaque moment de chacune des séances. Les analyses mettent en lumière des différences en relation avec le profil des étudiants et les caractéristiques du milieu. Elles sont relatives à la médiation et aux registres de la connaissance.

Concernant l'activité des étudiants, expérimentés et apprentis, nous avons centré l'analyse sur les synopsis des séances, transcription des échanges et traces de leurs actions sur le simulateur. Deux aspects ont été mis en évidence:

- Les obstacles et leur gestion.
- Le transfert vers une autre machine (fraise-tour) dans le simulateur ou le transfert simulateur vers machine.

Au sein de la séance avec les étudiants expérimentés (Se), l'analyse de la co-activité a permis de mettre en évidence un changement dans le registre de technicité en fonction des acteurs. Le rôle de P1 auprès des étudiants E2 et E3 dans la médiation lors de la gestion d'obstacles est représentatif. Face à E2, P1 tient un registre de technicité de maîtrise voire de lecture. Face à E3, P1 prend en charge la tâche (souris en main) et le registre envisagé ne permet pas un rôle autonome de l'étudiant.

Lors de la séance avec les étudiants apprentis (Sa), sans aucune expérience dans l'utilisation des machines outils, un changement se produit lors de la médiation. Le simulateur n'est plus un instrument entre l'étudiant et l'objet de savoir mais devient l'objet de savoir puisqu'il détermine la chronogenèse de la situation didactique. Le cahier de TD possède à ce moment-là un rôle très important, ainsi il devient un manuel d'utilisation qui empêche l'apparition d'obstacles didactiques, présents dans la séance avec les étudiants expérimentés Se.

Pour clôturer l'analyse du fonctionnement des systèmes didactiques, nous aimerions centrer notre attention sur la figure de cet *enseignant*.

En tant que chercheur, il élabore des concepts techniques, en lien avec des problématiques industrielles. On peut supposer que cela se produit dans un registre de technicité de transformation, lui permettant de modifier ou faire évoluer la pratique sociale de référence.

En tant qu'enseignant dans le supérieur, il participe à l'élaboration du curriculum, modélise le simulateur, prépare les cours et utilise le simulateur dans une situation de formation. Son projet éducatif, si l'on peut dire, est total, puisqu'il affecte toutes les phases du processus de transposition. On a noté, par ailleurs, les inférences effectuées avec le registre de technicité visé dans le curriculum et dans la classe, en fonction du profil des étudiants.

Par rapport au simulateur, des conclusions sont à noter. Elles concernent tout d'abord les modalités d'utilisation du simulateur et son rôle dans les deux séances. Face aux expérimentés, le simulateur est un instrument de médiation entre l'objet de savoir et les apprenants. Face aux apprentis, le simulateur devient l'objet de savoir, puisqu'il permet d'introduire les notions relatives à la tâche. Concernant ensuite le doublet conception/utilisation, nous avons lors d'une étude exploratoire déterminé le type de simulateur en relation au type de formation envisagé par les concepteurs. Le résultat de la réflexion nous permettait d'affirmer qu'un simulateur de résolution de problèmes était priorisé par les concepteurs. Cependant, ce simulateur n'est pas utilisé dans le cadre d'une simulation de résolution des problèmes, car on reste dans une pédagogie de type transmissif, adaptée au temps de la séance de formation et aux contraintes du milieu.

Pour ce qui est de la gestion d'obstacles, l'analyse de la séance de formation a permis de relever deux types d'obstacles: épistémologiques et didactiques. Quelques uns de ces obstacles (fonction G52) peuvent être mis en lien avec le contexte professionnel des fabrications et d'utilisation des MOCN.

Un des résultats les plus intéressants concerne les situations co-construites dans la séance. C'est le cas de la butée électrique qui permet d'introduire des notions que l'enseignant « n'avait pas prévues ». Nous pouvons inscrire cette réflexion dans une approche ascendante de la transposition, où les savoirs sont co-construits dans la situation didactique par l'enseignant et les étudiants.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous souhaiterions maintenant revenir sur les apports principaux de cette recherche.

Ce travail constitue une étude initiatrice dans l'analyse des relations entre le contexte professionnel et celui de la formation technologique supérieure. L'approche didactique adoptée a permis l'analyse de la chaîne transpositive complète. Un des apports fondamentaux de ce travail porte sur l'élaboration des concepts techniques, à partir de problématiques industrielles et par le biais d'un processus de modélisation. Cet apport permet de nourrir la réflexion sur les modalités d'élaboration des savoirs relatifs à la technique, réflexion qui s'inscrit dans la visée de leur transmission. Un autre apport concerne la caractérisation du rôle des enseignants chercheurs dans les processus de transposition, relativement à l'élaboration des savoirs et du curriculum.

Nous pouvons aussi envisager ces rapports entre les deux contextes comme une dialectique. Dans ce sens, nous avons articulé, d'un point de vue théorique, deux didactiques. Une didactique professionnelle, centrée sur l'activité, et une didactique disciplinaire, celle de la technologie, qui dans un contexte de formation initiale, possède une entrée par les savoirs. Cette première dialectique pourra s'exprimer de la manière suivante: Comment proposer dans le contexte de la formation technologique initiale des situations de formation professionnelles? Nous pouvons apporter des éléments de réponse relatifs aux contraintes du milieu. Par exemple le temps court de la formation, et/ou l'absence des modèles opératifs chez les étudiants empêchent de mettre en œuvre ce type de pédagogie. Une réponse a été

aussi identifiée dans la médiation de l'enseignant, qui propose aux étudiants une situation inspirée du contexte professionnel mais qui en même temps la prend à sa charge dans le déroulement de l'activité en classe. Cependant, on a vu aussi qu'il va pouvoir la restituer à certains d'entre eux, par exemple E2. Ce processus est localement identifié à de la dévolution.

Une deuxième réflexion, dans le sens de dialectique est celle de l'existence d'un double mouvement, de théorisation des concepts pragmatiques, ou de pragmatisation des concepts techniques. Le premier mouvement est central dans l'analyse transpositive dans cette recherche, le deuxième constitue une voie d'exploration possible.

Enfin la dernière dialectique est très prometteuse. Elle concerne les processus d'amélioration de la technologie. Un peu d'histoire permet de situer le passage des machines outils conventionnelles aux machines outils à commande numérique dans les années 80. A cette époque, les opérateurs sur machine étaient des opérateurs à bas niveau de qualification et l'introduction de ces machines a entraîné un bouleversement de leur activité. Ils rencontrent notamment une difficulté majeure dans le calcul des vecteurs qui consistait à atteindre un point qu'on ne voyait pas. Pour dépasser cet obstacle, les constructeurs des machines ont introduit un intermédiaire, l'origine pièce, qui sert de point physique pour lier deux vecteurs concernés dans la mise en œuvre (DEC et PREF sur les machines de type NUM). Il s'agit donc d'une ingénierie didactique pour dépasser un obstacle épistémologique lié à la vision dans l'espace. Or, aujourd'hui, les opérateurs sur machines outils à commande numérique sont titulaires d'un BTS, (cf. parole du chef d'atelier). On peut donc supposer les opérateurs ont des notions de la vision vectorielle dans l'espace. On peut alors s'interroger sur la nécessité de cette ingénierie didactique. Nos résultats apportent un élément de réponse : en formation initiale une approche inspirée de l'ingénierie devient un obstacle didactique, comme on l'a vu pour tous les étudiants.

Ces éléments dialectiques permettent de comprendre la porosité entre le contexte professionnel et le contexte de la formation technologique supérieure. L'analyse de cette porosité ouvre des perspectives heuristiques particulièrement intéressantes que les approches didactiques permettront de nourrir.

Références Bibliographiques

- Cartonnet, Y. (2000), « L'actualisation de la technologie structurale pour la formation de la technicité d'un concepteur de produits industriels ». *Mémoire d'HDR didactique des disciplines*. Université Paris XI.
- Martinand, J.L. (1981). Pratiques sociales de référence et compétences techniques. A. Giordan & J.L. Martinand (Ed). *In Actes des 3^{ème} JIES. Chamonix*.
- Martinand, J.-L. (1983). Questions pour la recherche : la référence et le possible dans les activités scientifiques scolaires, in G. Delacôte & A. Tiberghien (coord.) *Recherche en didactique de la physique : les actes du premier atelier international*. Paris : Editions du CNRS. p. 227-249.
- Martinand, J.L. (1996). Introduction à la modélisation, *Actes du séminaire des didactiques des disciplines technologiques*. Cachan (1994-1995). Ed : Association Tour 123. p. 1-12.
- Pastré, P. (1992). Requalification des ouvriers spécialisés et didactique professionnelle. *Éducation permanente, n° 111*. pp. 33-54.
- Pastré, P., Mayen, P. & Vergnaud, G. (2006). La didactique professionnelle. Note de synthèse. *Revue Française de Pédagogie n° 154*. p. 145-198.
- Rabardel, P., Rak, I. & Vérillon, P. (1998). *Machines outils à commande numérique, approches didactiques*. Rapport de recherche : INRP.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie de Champs Conceptuels. *Recherches en didactiques de mathématiques, Vol 10, n°2.3*. Grenoble : La Pensée Sauvage. p. 133-170.