Pratiques de simulation dans la formation technologique

Étude didactique en génie mécanique

Simulation practices in technological training. A study in the field of mechanical engineering

Raquel Becerril-Ortega

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/rechercheformation/2661>

DOI : 10.4000/rechercheformation.2661

ISSN : 1968-3936

Éditeur

ENS Éditions

Édition imprimée

Date de publication : 30 septembre 2016

Pagination : 31-46

ISSN : 0988-1824

Référence électronique

Raquel Becerril-Ortega, « Pratiques de simulation dans la formation technologique », *Recherche et formation* [En ligne], 82 | 2016, mis en ligne le 30 septembre 2019, consulté le 06 janvier 2022. URL : <http://journals.openedition.org/rechercheformation/2661> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/rechercheformation.2661>

Pratiques de simulation dans la formation technologique

Étude didactique en génie mécanique

> **Raquel Becerril-Ortega**

Université de Lille 1, Centre interuniversitaire de recherche en éducation (CIREL),
équipe Trigone-CIREL (EA 4354)

RÉSUMÉ : Cette étude didactique interroge les pratiques de simulation en formation technologique. La simulation est dans ce contexte une ressource pour modéliser et (re)présenter le travail. Deux situations de formation de nature différente, l'usinage et le dysfonctionnement d'une machine, sont analysées. La simulation contribue à sensibiliser les étudiant·e·s, futur·e·s ingénieur·e·s mécanique à certains gestes et dimensions de l'activité professionnelle des opérateurs usineurs. Si le travail demeure le lieu privilégié où puiser les savoirs qui conforment les situations de formation technologique, notre étude montre que d'autres références y participent. Les trois références identifiées – professionnelle, technique et scientifique – rappellent la diversité nécessaire à l'offre de savoirs en direction des étudiant·e·s. La démarche didactique s'invite alors dans un débat scientifique plus large et questionne la possibilité de « professionnaliser » les diplômes, *via* les situations de formation proposées et les savoirs dispensés. Elle contribue également à éclairer le rôle de la simulation dans les pratiques de formation technologique.

MOTS-CLÉS : didactique, programme de formation, université, technologie

Introduction

L'impossible adéquation des diplômes aux métiers et professions (Tanguy, 1986) est au cœur d'un débat scientifique mené au sein de nombreuses disciplines en sciences humaines, économiques et sociales. Pour les unes (Maillard, 2015 ; Tanguy, 2016), l'adéquation entre emploi et formation réduirait cette dernière à l'obtention d'une certification à finalité professionnelle. Pour les autres (Rose, 2016), le défi d'insérer professionnellement les étudiant·e·s, inscrit dans la loi LRU (loi relative aux libertés et responsabilités des universités) de 2007, l'emporterait sur d'autres considérations. Les méthodologies mobilisées par ces enquêtes (Maillard, 2012), focalisées pour certaines sur le processus – voire sur l'activité – de référentialisation des diplômes (Balas, 2016 ; Prot, 2012), observent peu les effets cognitifs, relatifs

par exemple aux savoirs dispensés. Ce faisant, ce débat se prive d'une connaissance complémentaire sur les multiples références – professionnelle, scientifique, technique – qui se constituent en corps des savoirs mobilisés au sein même de ces formations universitaires. La perspective didactique adoptée par ce travail, en se plaçant du côté des savoirs mobilisés dans les formations, alimente ce débat sur la professionnalisation des diplômes. Elle met à contribution la didactique professionnelle (Pastré, 2011) et la didactique de la technologie (Martinand, 2014) pour dévoiler les références constitutives des savoirs dispensés. Le terrain d'investigation privilégie la formation technologique universitaire¹. Le caractère technologique de la formation rend compte de la nature du savoir dispensé. Le savoir technique² est issu d'une démarche animée par la volonté de résoudre des problèmes et de concevoir des artefacts pour répondre à un dispositif fonctionnel et pratique. Ces méthodes, ces pratiques et ces savoirs possèdent des caractéristiques propres qui rendent les savoirs techniques irréductibles au modèle de la science appliquée (Vérillon, 2009 ; Vicenti, 1990). Le caractère technologique de la formation est également la conséquence des liens historiques entre les formations technologiques (dont celles d'ingénieurs) et le contexte industriel et professionnel. Les travaux développés sur les terrains de la formation d'ingénieurs notent que les institutions impliquées sont prises dans un mouvement pragmatiste et fonctionnaliste (Lemaître, 2009), voire positiviste (Maillard, 2012). Les savoirs sont alors appréhendés selon la fonction qu'ils jouent, ce à quoi ils servent, leur opérationnalité – dans le terrain professionnel –, au détriment des approches académiques classiques focalisées sur la transmission du meilleur de la culture et de la science (Lemaître, 2009). Les savoirs techniques issus des situations professionnelles et industrielles (Lebeaume et Hasni, 2015) ne se présentent pas aux étudiants tels quels : ils sont transformés – décontextualisés puis recontextualisés – avant d'être enseignés. Les phénomènes de transposition didactique (Chevallard, 1991 ; Verret, 1974) rendent compte du caractère inéluctable des transformations et réorganisations successives subies par les savoirs lorsqu'ils sont enseignés. Dans le sillage des travaux qui mettent à l'épreuve de l'empirie les phénomènes de transposition, une diversité de contextes d'enseignement et de formation est examinée (Durey et Martinand, 1994 ; Tiberghien, Arsac et Méheut, 1994). C'est alors qu'émergent les études prenant comme référence les situations professionnelles pour assurer les pratiques de formation (Rogalski et Samurçay, 1994). Elles contribuent à l'analyse spécifique des savoirs de la technologie issus des champs professionnels (Lebahar, 2006, 2007 ; Pastré, 2011 ; Becerril-Ortega, Calmettes, Fraysse et Lagarrigue, 2009).

1 Il s'agit d'une licence en sciences de l'ingénieur, spécialisation « productique industrielle ».

2 Nous parlerons de la discipline scolaire et universitaire « technologie », d'une référence (ou dimension) technologique et d'un savoir technique. Le mouvement de disciplinarisation de la technologie tend ainsi à dépasser les savoirs et les pratiques du technicien pour intégrer les connaissances et méthodes de l'ingénieur (Hamon et Lebeaume, 2013). La discipline technologie se caractérise dans cette étude alors par un corps de savoirs composé des savoirs techniques, scientifiques et professionnels.

La problématique de notre étude, relative aux phénomènes de transposition didactique dans une formation technologique supérieure, contribue à nourrir le débat autour de la professionnalisation des formations. En effet, la démarche didactique adoptée interroge *in fine* la possibilité de « professionnaliser » les contenus dispensés. Une caractéristique relative au terrain d'observation perturbe le contexte : les situations de (simulation en) formation sont considérées d'emblée comme des situations de formation « professionnelle ». Si la transposition est consécutive à une transformation des savoirs, la simulation suppose une modélisation des situations de travail par un modèle de l'être humain, par un modèle du système de travail et par un modèle du travail à réaliser (Daniellou, 2007). Dans le cas où les acteurs concernés sont des étudiants en formation technologique, le modèle privilégié est celui du travail à réaliser. Il s'agit d'entraîner les étudiants à une situation professionnelle qu'ils connaissent peu ou mal. Cette modélisation du travail à réaliser est contrainte par la situation de formation dans laquelle il faut qu'elle s'inscrive par les connaissances disponibles des étudiants, par le projet d'enseignement de l'enseignant, etc. Les études didactiques sur la simulation en formation abordent principalement la conception et la réalisation des situations didactiques (Caens-Martin, Spegcona, Delepine et Girerd, 2004 ; Pastré, 2006, 2011 ; Vadcard, 2013) et le rôle du débriefing dans la simulation en formation (Horcik, 2014 ; Bastiani, 2017). Dans notre étude, les pratiques de simulation en formation sont analysées au regard de la modélisation du système de travail à réaliser, à partir des observables de la transposition didactique : les enjeux de savoirs de la situation professionnelle prise comme référence, les représentations des étudiants relatives aux savoirs professionnels, les actions déployées par l'enseignant pour assurer les conditions d'acquisition des savoirs, les actions menées par les étudiants lors de la simulation, etc. Deux parties structurent cet article. La première partie présente l'étude épistémologique des savoirs à partir d'une analyse de l'activité sociotechnique industrielle de référence (Martinand, 1983) et du corps de savoirs qui en résulte (Rogalski et Samurçay, 1994). Les deux situations visées par la formation sont ensuite décrites. La deuxième partie présente l'étude des phénomènes de transposition : d'abord par les choix techniques opérés dans la (re)présentation du modèle de travail à réaliser, ensuite *via* l'analyse de l'activité des étudiants dans la séance de simulation. Les résultats apportent de nouvelles perspectives au débat de la professionnalisation des formations universitaires, enrichi par les apports de l'étude didactique des pratiques effectives de simulation en formation.

1. Le contexte de l'étude

1.1. «(Re)présenter» le travail des opérateurs pour former des ingénieurs

Pour appréhender le contexte institutionnel du développement du simulateur, nous cherchons à identifier précisément les besoins du développement de l'outil à des fins de formation : quel simulateur ? Pour quelle formation ? Les résultats de l'analyse des

entretiens³ font part des caractéristiques saisissantes de la modélisation du travail à réaliser, objet principal de la situation de formation. La simulation prépare à une mise en scène de la réalité du métier en devenant le support privilégié des situations didactiques pour présenter aux étudiants le travail des opérateurs⁴. Le simulateur informatique conçu pour cette formation s'apparente à un simulateur de résolution de problèmes (Pastré, 2006) : les problèmes identifiés par l'analyse du travail de l'opérateur sont la cible des situations d'apprentissage. La raison du développement de la simulation pour la formation est principalement la réduction des coûts. La simulation permet d'introduire des notions, d'imiter et d'essayer les gestes professionnels à moindre coût, ce qui est rendu difficile sur une machine-outil grandeur nature dans un atelier. La situation professionnelle qui sert de référence à la construction de situations de formation est l'usinage des pièces industrielles. À titre d'exemple, la figure suivante donne un aperçu du corps d'une machine-outil à commande numérique (MOCN) de type NUM⁵. Elle a inspiré les fonctionnalités techniques du simulateur.

Figure 1 : Capture d'écran du simulateur en mode tour

- 3 Trois entretiens semi-dirigés sont conduits auprès des responsables du projet, enseignants-chercheurs en génie mécanique. Deux techniques d'analyse des entretiens ont été mobilisées : une analyse thématique de contenu et un traitement statistique réalisé à l'aide du logiciel IRaMuteq fonctionnant à partir du moteur algorithmique Alceste (Reinert, 1983).
- 4 Même si chaque catégorie professionnelle reste dans son « monde », les situations de simulation révèlent également le fonctionnement des mondes adjacents (Béguin, 2007). Par exemple, certaines dimensions du travail de l'opérateur déterminent certaines dimensions du travail du concepteur, du programmeur, du contrôleur de qualité, etc.
- 5 Il s'agit d'une machine numérique de la marque NUM. Les marques spécifient l'usage dans le contexte industriel à travers les manuels d'utilisation.

1.1.1. Évolution des machines-outils, révolution des métiers

Les machines-outils industrielles bénéficient des (r)évolutions technologiques. Une véritable rupture advient dans les années 1980. Elle marque le passage des machines-outils conventionnelles (commandées manuellement) aux machines-outils commandées numériquement. Cette rupture transforme l'activité de l'opérateur et le rapport qu'il entretient avec la machine (Rabardel et Duvenci-Langa, 2004). Grâce aux observations des situations de travail en milieu industriel, on identifie (Becerril-Ortega *et al.*, 2009) les compétences mises en situation par l'opérateur. Elles sont relatives au préréglage des outils, au suivi des instructions inscrites à l'écran de la machine et au dépassement d'un incident, à la vérification des pièces non conformes, etc. Dans les années 1980, ces compétences relèvent d'un certificat d'aptitude professionnelle (CAP) de mécanicien-fraiseur (Rabardel, Rak et Vérillon, 1988). Vingt ans plus tard, le diplôme attendu est celui du brevet de technicien supérieur (BTS). Les compétences se sont aussi élargies. Elles intègrent désormais la programmation de pièces simples, spécialité qui correspondait avant au corps des programmeurs. Cet aperçu historique révèle l'impact des changements technologiques sur l'organisation professionnelle et sur la qualification et la formation des opérateurs.

1.1.2. Les références professionnelles pour les pratiques de formation

Les formations technologiques prennent comme référence les activités socio-techniques industrielles (Martinand, 1983). Pour les formations professionnelles, la référence « attitrée » est le travail (Pastré, 2011), car la formation professionnelle s'est longtemps souciee de son rapport au travail (Leplat, 2008 ; Lesne, 1984). L'activité professionnelle de réglage et d'usinage de pièces constitue alors une des références privilégiées de la situation de formation. Lors du réglage de la machine, l'enjeu consiste à positionner les repères pour permettre le mouvement relatif des axes de la machine. L'usinage, qui succède le réglage de la machine, peut être qualifiée d'activité taylorienne : le rythme et la cadence sont contrôlés. Il y a une forte prescription de la tâche et peu de marge de manœuvre. Le concept organisateur de l'activité de l'opérateur (Pastré, 1992), identifié grâce à une analyse de son activité, implique la gestion d'un dysfonctionnement de la machine. Lorsque celle-ci fonctionne pendant longtemps, ses pièces chauffent et se dilatent. Au moment de la coupe, les éléments dilatés pénètrent la matière et font varier la profondeur d'usinage. La qualité finale de la pièce est alors impactée. Pour compenser cette dilatation, l'opérateur joue sur le réglage de la machine, en faisant par exemple reculer un des axes de la machine. Dans l'activité de réglage et d'usinage de pièces, fortement prescrite, les moments qui échappent à la procédure et sont centraux dans la gestion efficace des situations de travail servent de descripteurs de la situation de référence. C'est le cas du phénomène de dilatation de la broche⁶ et de la méthode de compensation par

6 Une broche est un arbre tournant qui entraîne l'outil de coupe.

un nouveau réglage de la machine. L'observation des situations professionnelles révèle le corps de savoirs (Rogalski et Samurçay, 1994). Celui-ci s'apparente à un îlot d'intelligibilité, s'éloignant ainsi d'une formalisation issue d'un modèle descriptif. Des procédures – comme le réglage d'une machine – et des phénomènes – comme la dilatation de la broche – sont dès lors éligibles pour se constituer en corps de savoirs de référence.

1.3. Le rôle de la simulation dans la transposition didactique

Dans notre étude, les situations de travail industriel vont s'inscrire dans une institution : l'université ; et dans une discipline : la technologie (Martinand, 1983 ; Cartonnet, 2000). Deux situations font l'objet d'une pratique de simulation dans la formation observée : le réglage de la machine et l'évolution temporelle de la broche. Les enjeux des savoirs et les modalités de leur transposition *via* la simulation sont présentés par la suite. Les observables de la transposition didactique sont relativement hétérogènes, à cause de la nature différente des deux situations. La première, le réglage de la machine, correspond à une procédure clairement identifiée : le simulateur fonctionne comme substitut de la machine. Il devient l'instrument de médiation dans l'activité de l'étudiant. Trois observables de la transposition didactique sont mis à contribution : les composantes cognitives de la tâche de référence, l'analyse épistémologique des savoirs qui conforment la situation de formation et les actions dévolues par les étudiants durant la simulation. La deuxième situation de formation concerne l'évolution temporelle de la broche. La simulation contribue ici à (re)présenter⁷ une tâche relative à la conduite des machines qui dysfonctionnent. Deux observables de la transposition didactique sont alors mobilisés. Le premier traite les transformations successives d'un concept pragmatique qui oriente l'action efficace des opérateurs en situation professionnelle. Le deuxième observable se situe au niveau de la (re)présentation de l'activité qui est retenue et modélisée *via* la simulation.

Les deux piliers qui soutiennent l'exploration des phénomènes de transposition sont la variété des références pour les pratiques de formation et les contraintes techniques liées à la modélisation du travail à réaliser. Pour saisir la multiplicité de références dans les pratiques de formation nous avons analysé deux situations de nature différente. Pour étudier les contraintes techniques liées à la modélisation du travail à réaliser *via* la simulation, l'analyse se centre sur les choix techniques et leurs conséquences.

1.3.1. Simulation de la procédure du réglage

Le réglage de la machine consiste à déterminer la position initiale des éléments de la machine en vue de la préparer à l'usinage. L'analyse du travail et des docu-

⁷ Comme nous le montrerons successivement, il s'agit à la fois d'une présentation (au sens d'une démonstration) et d'une représentation constituée par les choix techniques et les choix de certains éléments de la pratique sociotechnique et professionnelle de référence.

ments destinés aux professionnels et aux étudiants en formation met en évidence des nomenclatures différentes des vecteurs impliqués dans le réglage. Elles constituent des obstacles d'origine didactique (Brousseau, 2010). En effet, Rabardel *et al.* (1988) expliquent comment les difficultés des opérateurs sont renforcées par les terminologies et les concepts que les dispositifs d'information des machines imposent. La tendance consiste alors à privilégier une approche pédagogique du réglage sur une base procédurale, au détriment d'une approche compréhensive de l'activité. La procédure porte sur l'allumage de la machine, sur l'identification des points d'origines et sur les indications relatives au programme d'usinage et de sa trajectoire.

Quel rôle joue la simulation dans la transposition de la procédure du réglage d'une machine ?

Le simulateur de résolution de problèmes reproduit un problème issu du réel (Pastré, 2006). Dans le cas de notre étude, la simulation traite les calculs vectoriels nécessaires au réglage de la machine. Le simulateur s'inspire alors d'une machine-outil aux fonctionnalités générales qui n'existe pas. En conséquence, l'engagement dans l'activité de réglage par la simulation exige de la part des formés une certaine abstraction des fonctionnalités de la machine. Le cahier de travaux pratiques (TP) utilisé dans les séances de la formation s'organise autour d'une situation-problème à résoudre. Celle-ci mobilise des calculs vectoriels – relation de Chasles – selon lesquels trois points de repère sont en jeu : l'origine pièce, l'origine programme, l'origine mesure. Ils servent à représenter la position des éléments mobiles de la machine vis-à-vis de la trajectoire définie par le programme d'usinage. On a constaté une différence de terminologie employée chez les professionnels ou chez les enseignants. Elle correspond à une réduction opérée dans cette expression vectorielle. Cette réduction, réalisée par les opérateurs sur machine, est également à l'origine des difficultés dans la programmation des pièces. La simulation construite autour de cette situation-problème offre aux étudiants un terrain d'entraînement des gestes procéduraux (acquisition et acculturation des codes machine) du réglage de la machine et d'exploration des calculs vectoriels impliqués dans le positionnement initial de la machine.

Figure 2 : Représentation du cahier de TP indiquant la position d'origine pièce – à gauche – et figure illustrative du manuel des MOCN NUM.

1.3.2. Simulation du phénomène de la dilatation de la broche

Le phénomène d'évolution temporelle liée à la dilatation de la broche affecte la situation de travail. Le concept pragmatique (Pastré, 1999) lié à ce phénomène présente les caractéristiques suivantes : il est nommé et construit dans l'action – son origine est pratique – ; il organise l'action – c'est-à-dire qu'il permet d'identifier dans quelle classe de situations un acteur se trouve, de poser un diagnostic et d'orienter l'action pour qu'elle soit efficace – et il possède une dimension sociale – il est reconnu par la communauté professionnelle et transmis par compagnonnage. Quatre acteurs ont participé au protocole d'analyse de l'activité d'usinage⁸ : l'opérateur, le chef d'atelier, l'enseignant-chercheur et l'enseignant en génie mécanique. Le chef d'atelier et l'opérateur partagent le même discours : sur l'origine thermique du phénomène, sur les indicateurs de son diagnostic et sur les stratégies à mettre en œuvre pour dépasser la situation de dysfonctionnement. En revanche, pour l'enseignant-chercheur en génie mécanique, la dilatation de la broche n'est qu'un des processus liés aux défauts dans l'usinage des pièces. Ces défauts, il tente de les caractériser, au travers des méthodes de simulation numérique en recherche, pour ensuite essayer de les contrôler. Sa problématique est celle de la modélisation de l'évolution temporelle des dimensions de la broche. L'objet étudié devient la détermination de son erreur temporelle (Landon, 2003). La visée pragmatique consiste à donner réponse au besoin des industriels. Le contrôle des défauts d'usinage accroît l'automatisation des processus de production. Que l'on se place du côté de l'opérateur au pied de la machine ou de l'ingénieur dans le bureau d'études, la situation relève du contrôle des défauts occasionnés par la machine sur les pièces. Cependant les stratégies mises en place sont différentes : pour l'ingénieur-concepteur, il s'agit de modéliser le phénomène pour le contrôler, indépendamment de la machine – et de l'opérateur qui travaille avec. Pour l'opérateur, il s'agit de prendre « sa charge » dans la gestion du contrôle des défauts lorsqu'il commande la machine.

2. La simulation dans une formation en génie mécanique

Nous présentons les résultats relatifs à une séance de simulation en formation. Trois étudiants expérimentés participent. Titulaires d'un BTS, ils ont effectué un stage ouvrier. Un des étudiants a travaillé avec les machines-outils à commande numérique dans un cadre professionnel. Lors de la séance de simulation, les étudiants travaillent sur le simulateur en autonomie. Le protocole d'observation est composé d'un film-verbatim de la séance (3 heures de séance en travaux pratiques), des entretiens *ante* et *post* séance avec les étudiants et avec l'enseignant, et d'un recueil de traces sur le simulateur.

⁸ Le protocole d'analyse de l'activité comprend les éléments suivants : les documents relatifs à la tâche prescrite, trois entretiens semi-directifs avec l'opérateur, l'observation-film de l'opérateur en situation d'explicitation de l'activité, un entretien semi-directif avec le chef d'atelier, trois entretiens semi-directifs avec trois enseignants-chercheurs en génie mécanique.

2.1. Pratiques de formation

La situation de formation se décompose en trois moments qui correspondent à trois activités différentes. Dans la première activité, l'enseignant explique les notions relatives à la mise en fonctionnement et au réglage d'une machine. La deuxième activité est l'occasion pour l'enseignant d'effectuer une démonstration de l'utilisation du simulateur. La troisième activité, portée par les étudiants sous la supervision de l'enseignant, est celle de la simulation pour résoudre un problème. Nous avons interrogé les étudiants juste avant qu'ils ne s'engagent dans cette tâche. Ils nous révèlent une maîtrise des savoirs associés à la procédure de réglage qui les attend. Un étudiant s'exprime ainsi : « régler une machine ? Ça sert déjà à initialiser la machine quand on l'allume, c'est-à-dire, savoir où la machine se situe, et ensuite, déplacer les axes d'outils, déplacer les outils pour trouver, comme on vient de le voir, les différentes origines : l'origine programme, pièce, mesure ». Comme le réglage d'une machine-outil est une activité procédurale, toute déviation de la procédure nous révèle des obstacles. Rappelons que le passage des machines-outils manuelles vers des machines commandées numériquement a marqué historiquement cette procédure. Un obstacle didactique (Brousseau, 2010) a été introduit pour pallier les problèmes d'adaptation des opérateurs de l'époque : il s'agit de « l'origine machine ». Dans la première activité, l'enseignant convoque l'expérience professionnelle d'un des étudiants, nommé Daivy. En prenant appui sur la réduction opérée en contexte professionnel, il tente d'élargir le champ conceptuel d'application de certaines notions pour provoquer le dépassement de cet obstacle didactique.

Enseignant : Vous parlez d'origine mesure ou d'origine machine ?

Daivy : Machine.

Enseignant : Machine, bon en principe il n'y a pas d'origines sur une machine. Il n'y a pas un endroit qui dit ça c'est le zéro de la machine. Par contre, il y a vraiment une origine mesure : c'est le zéro sur la règle, donc ça serait plus correct de parler d'origine mesure que de parler d'origine machine.

Les analyses du rôle de la simulation dans la transposition didactique ont identifié les choix du corps de savoirs et caractérisé un élargissement de concepts pragmatiques (des opérateurs) vers d'autres îlots d'intelligibilité. L'objectif de la situation-problème proposée est révélateur de ce mouvement : les futurs ingénieurs doivent comprendre la pratique des opérateurs mais pour agir dans un autre domaine, celui de la conception-réalisation de pièces.

2.2. La simulation pour régler la machine

La séance de simulation s'organise autour d'une situation-problème construite sur la base de deux obstacles. Le premier est relatif aux changements dans les dénominations des origines. Le deuxième obstacle implique le vecteur du déplacement d'un solide rigide en translation. L'enseignant traite en priorité le premier obstacle : « qu'est-ce qui matérialise ton origine mesure ? Lorsqu'on dit que la machine

est zéro, OK, ça affiche un zéro à l'écran, mais qu'est-ce qui est à zéro? C'est tout un solide, il faut que je matérialise le déplacement du solide par le déplacement d'un point, donc il faut choisir ce point». Ensuite, l'enseignant montre aux étudiants l'utilisation du simulateur. Il articule la description de la procédure avec les signaux délivrés par le simulateur. Ces signaux précèdent le diagnostic et les actions qui s'ensuivent. Enfin, c'est le moment de la simulation. L'analyse des actions des étudiants s'avère particulièrement fructueuse. Les erreurs faites par les élèves sont considérées comme révélateurs d'obstacles. Le premier étudiant, Paul, est rigoureux et s'appuie sur le cahier de travaux pratiques (la prescription) pour déployer le réglage. Les interactions entre Paul et l'enseignant renseignent sur ce qui se joue : l'utilisation des fonctions de la commande numérique et le sens de rotation des axes. Paul utilise le simulateur «comme» une machine : soucieux de la procédure, il s'arrête, réfléchit, continue. Le deuxième étudiant, Daivy, possède une expérience professionnelle en entreprise. Daivy n'utilise pas le cahier de travaux pratiques ; il commence la procédure tout seul, fait face plus souvent (que Paul) aux obstacles. Dans les échanges avec l'enseignant, les solutions apportées par Daivy relèvent d'un niveau de technicité élevé. Sa capacité d'intervention autonome malgré les obstacles lui permet d'expérimenter. Il participe à la construction d'un savoir relatif à une nouvelle procédure pour échapper à la casse du palpeur⁹. En effet, il se dégage par un autre axe (Z) et contourne la procédure prescrite. Enfin, le troisième étudiant, Théodore, est en difficulté. Les échanges entre Théodore et l'enseignant sont multiples. Nous n'avons pas pu identifier un rapport quelconque entre ces échanges et les actions produites par Théodore. Les traces sur simulateur révèlent néanmoins des procédures de tâtonnement chez Théodore. L'absence d'erreurs trahit en réalité un contournement des obstacles et en conséquence, un évitement des enjeux de la situation de formation. La simulation se rapporte ici à l'activité réelle, et les conséquences de la transposition s'observent dans la différence de taille (simulateur informatique *versus* machine), dans les fonctionnalités choisies, dans la situation-problème proposée, etc. La simulation facilite l'engagement des acteurs (Paul), l'expérimentation sans risques (Daivy) mais, dans la limite de nos données disponibles, n'assure pas pour autant à elle seule la confrontation aux enjeux des savoirs (Théodore).

2.3. La simulation pour (re)présenter la dilatation de la broche

Après avoir réglé la machine, les étudiants doivent vérifier le bien-fondé de la procédure mise en œuvre. La simulation est le moyen pour visionner l'usinage virtuel d'une pièce. La (re)présentation de ce phénomène se réalise avec une échelle de couleurs. Elle affiche les écarts dans la profondeur d'usinage. Ces écarts révèlent ainsi la différence entre une pièce «idéale» (sans défauts) et le produit réalisé. La figure 3 montre une capture d'écran de cette représentation sur le simulateur.

9 Un palpeur est un commutateur qui se déclenche lors du contact avec une surface de pièce.

Figure 3 : Capture d'écran du simulateur montrant avec une échelle de couleurs les variations de profondeur d'usinage sur la pièce usinée

Selon cette représentation, la modélisation des défauts sur la pièce se substitue à celle de l'outil de coupe (la broche). Les raisons de ce choix sont évoquées par l'enseignant-chercheur. C'est d'abord parce qu'on ne sait pas comment la broche se dilate : il vaut mieux donc ne pas la représenter directement. En conséquence, l'enseignant-chercheur décide d'afficher les défauts sur la pièce, parce qu'eux restent connus. Cette (re)présentation est partagée avec le monde des opérateurs. Pour rappel, l'opérateur identifie qu'il s'agit d'une dilatation de la broche grâce à l'observation et à la mesure d'une variation dans la profondeur d'usinage. Il corrige ensuite ce défaut pour préserver la série de pièces, au moyen d'un nouveau réglage. Nous questionnons néanmoins l'intérêt didactique de cette proposition sur simulateur. La simple (re)présentation d'un phénomène sans engagement d'action (de la part des étudiants) et sans réflexion autour de l'activité (à la charge de l'enseignant) nous interroge quant à sa véritable portée épistémique.

3. Perspectives

La simulation en formation est une ressource pour (re)présenter le travail et sensibiliser les étudiants à certaines caractéristiques de l'activité des opérateurs sur machine-outil. Cette (re)présentation du travail est contrainte par les choix techniques et par la nature des situations ciblées. Lorsqu'il s'agit d'une procédure comme le réglage, le simulateur intègre des fonctionnalités générales imposant aux étudiants engagés dans la simulation une abstraction sur les codes des machines. Lorsque cette (re)présentation concerne un phénomène tel que la dilatation de la broche, la simulation devient une activité passive sans engagement réel des gestes de la part des étudiants. L'entrée didactique, en privilégiant l'étude des phénomènes de transposition, analyse à partir des observables les transformations successives du corps de savoirs issus du travail des opérateurs pris comme référence dans une formation technologique universitaire. Cette perspective saisit ce qui « se joue » dans la classe et

dévoile les trois références : professionnelle, scientifique et technique, constitutives du corps de savoirs mobilisés. La professionnalisation des diplômes universitaires, imaginée par les tenants d'un discours adéquationniste sur la formation et l'emploi comme ayant recours uniquement au monde professionnel et à ses références, est remise en question par la multiplicité des références – nous en avons dévoilé trois – constitutives des pratiques de (simulation en) formation. La simulation est souvent présentée comme une ressource phare pour former et entraîner les étudiant·e·s à certaines dimensions du travail. Cette pratique de formation mérite-t-elle une place privilégiée ? À condition de traiter les leviers et problématiques pédagogiques (briefing et débriefing, évaluation, certification, etc.) et didactiques (décontextualisation-recontextualisation, prise en compte des références, modélisation de problèmes et gestes professionnels, etc.) qu'elle pose et de les intégrer dans les formations à destination des enseignant·e·s et des formateur·trice·s usager·ère·s.

Raquel BECERRIL-ORTEGA

raquel.becerril-ortega@univ-lille1.fr

Bibliographie

- Balas, S. (2016). Comment concevoir des référentiels de diplômes sans renoncer au travail réel ? *Activités*, 13(2). Récupéré le 15 octobre 2016 de <<https://activites.revues.org/2889>>.
- Bastiani, B. (2017). La simulation pleine échelle et le débriefing des compétences non techniques en anesthésie-réanimation. Contribution à la construction d'un référentiel de formation de formateurs (thèse de doctorat non publiée). Université Toulouse-Jean-Jaurès.
- Becerril-Ortega, R., Calmettes, B., Fraysse, B. et Lagarrigue, P. (2009). Des références pour des pratiques de formation : étude d'une situation de formation technologique supérieure. *Activités*, 6(1). Récupéré de <<https://activites.revues.org/2101>>.
- Béguin, P. (2007). Prendre en compte l'activité de travail pour concevoir. *Activité*, 4(2). Récupéré le 28 juillet 2017 de <<https://activites.revues.org/1719>>.
- Brousseau, G. (2010). *Premières découvertes des obstacles épistémologiques et didactiques, en mathématiques. Dossier thématique n°1 Obstacles épistémologiques*. Récupéré du site de l'auteur : <<http://guy-brousseau.com/541/presentation-du-dossier-1-%c2%ab-obstacles-epistemologiques-%c2%bb/>>.
- Caens-Martin, S., Spegcona, A., Delepine, L. et Girerd, S. (2004). Un simulateur pour répondre à de besoins de formation sur la taille de la vigne. *Revue STICEF*, 11. Récupéré du site des Sciences et technologies de l'information et de la communication pour l'éducation et la formation (STICEF) : <http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2004/delepine-02/sticef_2004_delepine_02.pdf>.

- Cartonnet, Y. (2000). *L'actualisation de la technologie structurale pour la formation de la technicité d'un concepteur de produits industriels* (mémoire d'habilitation à diriger des recherches). Université Paris-Sud.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La pensée sauvage.
- Daniellou, F. (2007). Des fonctions de la simulation des situations de travail en ergonomie. *Activités*, 4(2). Récupéré le 28 juillet 2017 de <<https://activites.revues.org/1696>>.
- Durey, A. et Martinand, J.-L. (1994). Un analyseur pour la transposition didactique entre pratiques de référence et activités scolaires. Dans G. Arsac, Y. Chevallard, J.-L. Martinand et A. Tiberghien (dir.), *La transposition didactique à l'épreuve* (p. 73-104). Grenoble : La pensée sauvage.
- Hamon, C. et Lebeaume, J. (2013). De la technologie industrielle aux sciences de l'ingénieur en France de 1945 à 2013 : contribution à l'étude du processus de disciplinarisation. *Éducation et didactiques*, 7(2), 47-67.
- Horcik, Z. (2014). Former des professionnels *via* la simulation : confrontation des principes pédagogiques issus de la littérature et des pratiques de terrain. *Activités*, 11(2). Récupéré le 1^{er} octobre 2016 de <<http://activites.revues.org/963>>.
- Landon, Y. (2003). *Contribution à l'amélioration de la qualité d'usinage en fraisage 3 axes sur Machines-Outils à Commande Numérique par la mise en place d'un compagnon virtuel* (thèse de doctorat). Université Toulouse-3-Paul-Sabatier.
- Lebahar, J.-C. (2006). Pratique professionnelle et enseignement de la technique d'organigramme en architecture : problèmes de transposition didactique. *Didaskalia*, 29, 9(22), 9-40.
- Lebahar, J.-C. (2007). *La conception en design industriel et en architecture : désir, pertinence, coopération et cognition*. Paris : Lavoisier.
- Lebeaume, J. et Hasni, A. (dir.). (2015). *Éducation technologique et sciences de l'ingénieur : regards sur les curricula et les pratiques*. Lille : Presses universitaires du Septentrion.
- Lemaître, D. (2009). Le curriculum des grandes écoles en France : un modèle d'analyse inspiré de Basil Bernstein, *Revue française de pédagogie*, 166, 17-26.
- Leplat, J. (2008). *Repères pour l'analyse de l'activité en ergonomie*. Paris : PUF.
- Lesne, M. (1984). *Lire les pratiques de formation d'adultes : essai de construction théorique à l'usage des formations*. Paris : Edelig.
- Maillard, F. (dir.). (2012). *Former, certifier, insérer : effets et paradoxes de l'injonction à la professionnalisation des diplômés*. Rennes : PUR.
- Maillard, F. (2015). *La fabrique des diplômés*. Lormont : Le bord de l'eau.
- Martinand, J.-L. (1983). Questions pour la recherche : la référence et le possible dans les activités scientifiques scolaires. Dans G. Delacôte et A. Tiberghien (dir.),

- Recherches en didactique de la physique : les actes du premier atelier international* (p. 227-249). Paris : CNRS Éditions.
- Martinand, J.-L. (2014). Point de vue V : didactiques des sciences et techniques, didactique du curriculum. *Éducation et didactiques*, 8(1), 65-76.
- Pastré, P. (1992). Requalification des ouvriers spécialisés et didactique professionnelle. *Éducation permanente*, 111, 33-54.
- Pastré, P. (1999). La conceptualisation dans l'action : bilan et nouvelles perspectives. *Éducation permanente*, 139, 13-35.
- Pastré, P. (2006). Apprendre par l'action, apprendre par la simulation. *Éducation permanente*, 168, 205-216.
- Pastré, P. (2011). *La didactique professionnelle, approche anthropologique du développement chez les adultes*. Paris : PUF.
- Prot, B. (2012). Les dilemmes génériques dans la conception des référentiels d'activité professionnelle : une piste de travail. Dans F. Maillard (dir.), *Former, certifier, insérer : effets et paradoxes de l'injonction à la professionnalisation des diplômés* (p. 223-240). Rennes : PUR.
- Rabardel, P. et Duvençini-Langa, S. (2004). Dynamique des compétences et dynamique des situations. Dans R. Samurçay et P. Pastré (dir.), *Recherches en didactique professionnelle* (p. 67-82). Toulouse : Octares.
- Rabardel, P., Rak, I. et Vérillon, P. (1988). Machines-outils à commande numérique, approches didactiques. Paris : INRP.
- Reinert, M. (1983). Une méthode de classification descendante hiérarchique : application à l'analyse lexicale par contexte. *Cahiers de l'analyse des données*, 8(2), 187-198.
- Rogalski, J. et Samurçay, R. (1994). Modélisation d'un « savoir de référence » et transposition didactique dans la formation de professionnels de haut niveau. Dans G. Arsac, Y. Chevallard, J.-L. Martinand et A. Tiberghien (dir.), *La transposition didactique à l'épreuve* (p. 35-72). Grenoble : La pensée sauvage.
- Rose, J. (2016). *Mission insertion, un défi pour les universités*. Rennes : PUR.
- Tanguy, L. (dir.). (1986). *L'introuvable relation Formation/Emploi*. Paris : La documentation française.
- Tanguy, L. (2016). *Enseigner l'esprit d'entreprise à l'école*. Paris : La dispute.
- Tiberghien, A., Arsac, G. et Méheut, M. (1994). Analyse de projets d'enseignement issus de recherches en didactiques. Dans G. Arsac, Y. Chevallard, J.-L. Martinand et A. Tiberghien (dir.), *La transposition didactique à l'épreuve* (p. 105-134). Grenoble : La pensée sauvage.
- Vadcard, L. (2013). Étude didactique de la dialectique du travail et de la formation au bloc opératoire. *Éducation et didactique*, 7(1), 117-146.
- Vicenti, W.G. (1990). *What engineers know and how they know it: analytical studies from aeronautical history*. Londres, Angleterre : The Johns Hopkins University Press.

- Vérillon, P. (2009). Staudenmaier, J.M. (1985). *Technology's storytellers*, *Activités*, 6(1).
Récupéré le 28 juillet 2017 de <<http://activites.revues.org/2084>>.
- Verret, M. (1974). *Le temps d'études : la distribution temporelle des activités des étudiants* (thèse de doctorat). Université Paris-Descartes.

Abstract

Simulation practices in technological training. A study in the field of mechanical engineering

ABSTRACT: This study examines simulation practices in university technological training programmes. In this context, simulation is a resource for modelling and (re)presenting work. Two different training situations are analysed: milling and a malfunctioning machine. Simulation helps to make students – the mechanical engineers of the future – aware of certain actions performed by machine tool operators and of aspects of the job. While the workplace remains the ideal place to acquire the knowledge content of technological training situations, our study shows that other points of reference are involved. The three points of reference identified – professional, technical and scientific – remind us of the need for diversity in the knowledge which is offered to students. The didactic approach is then invoked in a wider scientific debate and the possibility of “professionalising” qualifications through the training situations offered and the knowledge delivered is questioned. This approach also helps to clarify the role of simulation in training courses.

KEYWORDS: didactics, training programme, university, technology