

LABORATOIRE VIRTUEL D'EXPÉRIMENTATION ET D'APPRENTISSAGE DE SYSTÈMES HYDRAULIQUES ET PNEUMATIQUES: APPROCHE DE MODÉLISATION EN SIMULATION ASSISTÉE PAR ORDINATEUR¹

DANIEL CERVERA, PASCAL BIGRAS ET TONY WONG DU COLLÈGE DE VALLEYFIELD

RÉSUMÉ

Nous présenterons un environnement informatisé d'apprentissage, véritable laboratoire virtuel d'expérimentation permettant de construire et d'observer, en temps réel, le comportement de systèmes complets (avec mécanismes et charges). Cet environnement supporte l'étude qualitative et quantitative des systèmes, en régime permanent et transitoire (dynamique), et rend intelligibles les phénomènes et les lois qui régissent ce comportement, selon une approche de modélisation fondée sur une théorie des circuits analogue à celle des circuits électriques. Il comporte un banque de leçons et d'exercices d'expérimentation.

INTRODUCTION

Dans cette communication, nous exposerons les résultats de nos travaux de développement d'un environnement informatisé d'apprentissage, un véritable laboratoire virtuel d'expérimentation permettant de construire et d'observer, en temps réel, le comportement de systèmes hydrauliques et pneumatiques complets, c'est-à-dire lorsqu'ils agissent sur divers types de mécanismes et des charges. Cet environnement a été conçu et créé pour supporter l'étude qualitative et quantitative des systèmes en régime permanent et transitoire (dynamique). Il permet de rendre intelligibles les phénomènes qui se produisent dans les systèmes et les interactions entre les diverses variables, selon une approche didactique de modélisation. Cette approche met aussi à contribution un cadre théorique (analogue à celui des circuits électriques) qui rend explicites les lois qui régissent le comportement des fluides dans les circuits. En plus de ses capacités de simulation avancées, cet environnement informatisé d'apprentissage permet de présenter des contenus théoriques et comporte une banque d'exercices d'expérimentation.

Nous exposerons d'abord succinctement les principaux éléments de la problématique qui est à l'origine de nos

travaux, soit les fausses représentations conceptuelles des étudiants et la situation épistémologique qui prévaut dans l'enseignement de cette discipline. Nous présenterons ensuite les principaux objectifs didactiques que nous poursuivions durant le développement de cet environnement d'apprentissage, ainsi que ses principales caractéristiques technologiques, ce qu'il permet de réaliser et ce qu'il comporte.

LES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE LA PROBLÉMATIQUE

Nos travaux se fondent sur deux aspects problématiques principaux. Le premier concerne les difficultés d'apprentissage qu'éprouvent les étudiants avec les phénomènes physiques qui se produisent dans les systèmes d'énergie des fluides industriels (hydraulique et pneu-matique); ces difficultés se concrétisent par la persistance de nombreuses fausses représentations conceptuelles chez les étudiants. Le deuxième aspect concerne la situation épistémologique qui prévaut dans l'enseignement de la discipline, notamment le constat d'une absence de cadre théorique permettant d'articuler une étude cohérente et structurée du fonctionnement des systèmes en question. En fait, nous pensons qu'il existe un lien de cause à effet entre ces deux éléments; l'absence de cadre théorique serait, dans une certaine mesure, à l'origine des difficultés d'apprentissage.

Les fausses représentations conceptuelles des étudiants

Le comportement des systèmes hydrauliques et pneumatiques industriels est complexe et sa compréhension ne relève pas de la simple évidence. Les étudiants éprouvent des difficultés d'apprentissage reliées au fait que la plupart des phénomènes qui s'y produisent ne sont pas directement observables et au fait que leur déroulement obéit aux interactions qui ont lieu à l'intérieur des systèmes, ce qui leur confère un caractère particulièrement abstrait et complexe.

¹ Une partie de la recherche qui est à la base de cette communication a été subventionnée par le ministère de l'Éducation dans le cadre du Programme d'aide à la recherche sur l'enseignement et l'apprentissage.

| REPRÉSENTATION ERRONÉE DES ÉTUDIANTS | REPRÉSENTATION SCIENTIFIQUE |
|---|---|
| <p>Les liquides sont compressibles, comme les gaz. La pression se bâtit progressivement, avec le temps, à mesure que le débit s'accumule et se comprime. Cette accumulation explique que, dans un conduit, le débit varie en fonction de la section. De même, le débit d'une pompe volumétrique varie de manière inversement proportionnelle à la pression. Il en découle qu'un vérin sans charge avancera plus rapidement qu'avec charge; les pressions étant différentes, les débits le seront aussi.</p> | <p>Les liquides, contrairement aux gaz, sont pratiquement incompressibles. La pression est le résultat de l'application d'une force sur une surface; elle se manifeste immédiatement. Par ailleurs, le débit d'une pompe volumétrique est constant, si on néglige les fuites. Il en découle que la vitesse d'un vérin sera indépendante de sa charge.</p> |

| REPRÉSENTATION ERRONÉE DES ÉTUDIANTS | REPRÉSENTATION SCIENTIFIQUE |
|--|--|
| <p>Le vide est impossible car les liquides ne sont ni compressibles ni expansibles. En fait, faire le vide consiste à décompresser, à étirer l'air qu'il y a, soit dans le récipient, soit dans le liquide, sous forme de particules. Ainsi, le vide est élastique; c'est comme la compressibilité d'un gaz, mais à l'inverse; plus on l'étire, plus il résiste. C'est une pression négative dont la valeur n'a pas de limite ni de lien avec la pression atmosphérique. Si rien ne rentre dans un vérin, rien ne sort, et le vérin ne bougera pas, pourvu que les parois résistent à l'implosion.</p> | <p>Le vide, c'est l'absence de matière, donc absence d'air et de pression atmosphérique. Un vérin peut se déplacer, même sans aucun apport d'huile, si des forces menantes suffisent pour créer le vide, c'est-à-dire pour créer une pression de -1 bar (environ), soit la valeur négative de la pression atmosphérique.</p> |

Nos travaux à ce sujet (Cervera et Métioui, 1993) montrent que les difficultés d'apprentissage se caractérisent par le fait que les étudiants ne parviennent pas à expliquer ou à résoudre des problèmes et situations simples, qui n'exigent aucun calcul, mais plutôt une description qualitative des phénomènes. Ils n'arrivent pas à établir de relation entre la situation, les phénomènes et les concepts impliqués. Plus récemment, (Cervera, Métioui et Nonnon, à paraître), nous avons caractérisé des fausses représentations conceptuelles chez les étudiants du programme Techniques de génie mécanique de l'ordre collégial. Ces représentations sont directement en relation avec les difficultés d'apprentissage et elles persistent après qu'ils ont complété une formation formelle dans le domaine. Ces fausses représentations concernent notamment les concepts centraux de la discipline, soit le débit, la pression et le vide. Le tableau ci-dessus en présente un aperçu: Paradoxalement, le fondement de ces fausses représentations semble relié essentiellement à une contradiction fondamentale présente dans l'esprit des étudiants relativement aux concepts de compressibilité et d'incompressibilité. En effet, la première représentation sous-tend une compressibilité importante des liquides, ce qui permettrait une accumulation, tandis que la seconde s'appuie sur l'incompressibilité absolue des liquides: puisqu'un liquide n'est pas compressible, il n'est pas expansible; il n'y a que les gaz qui le soient. Les étudiants conçoivent le vide non pas comme une absence d'air et de pression

atmosphérique, mais, bien au contraire, comme la présence d'air soumis à une décompression. En fait, ils expliquent le phénomène à partir de la prémisse voulant que, dans un vérin, ou dans l'huile, il y ait une certaine quantité d'air sur lequel s'effectue cette décompression qu'ils qualifient de vide. Cependant, pour eux, le vrai vide demeure impossible.

D'ailleurs, en toute cohérence, ils n'établissent aucune relation entre le vide et la pression atmosphérique.

Ces fausses représentations de compressibilité et d'incompressibilité ont une importance centrale, particulièrement en raison de leur incidence sur d'autres concepts centraux de la discipline. En effet, il en découle directement une bonne appropriation des concepts de pression et de débit ainsi que la compréhension du rôle d'une pompe volumétrique, en tant que source de débit constant, et de celui du régulateur de débit. Elles ont aussi des répercussions sur le principe de la continuité du débit d'un liquide dans un conduit et sur la manière dont celui-ci se distribue dans un circuit. Aussi, le concept de vide intervient notamment dans le principe de fonctionnement des pompes et moteurs volumétriques et des vérins. Dans ce dernier cas, la fausse représentation évoquée implique qu'aucune charge ne peut provoquer le vide dans un vérin. En d'autres mots, il n'y aura pas de danger de chute incontrôlée d'une charge puisque le vide est tout simplement impossible.

Plus globalement, nous pouvons affirmer que les étudiants sont aux prises avec des difficultés conceptuelles majeures. Ils confondent des concepts centraux de la discipline tels force et pression, débit et vitesse d'écoulement, vitesse et puissance; ils ont tendance à réifier des concepts tels la pression et la chaleur; enfin, ils éprouvent des difficultés avec des principes fondamentaux tels la conservation de la matière, de l'énergie et du débit d'un liquide. Même à la fin de leur formation, ils justifient un bon nombre de phénomènes par des théories naïves qui font appel à des représentations conceptuelles étrangères à celles de la science et de la technologie. Ces fausses représentations ont, selon nous, une incidence directe sur leur capacité de comprendre, d'anticiper et de diagnostiquer le comportement des systèmes. C'est pourquoi nous pensons que les étudiants doivent être mis en situation de réaliser que ces concepts sont essentiels à une bonne compréhension des modèles explicatifs du fonctionnement des composants et des systèmes. Nous pensons qu'un environnement d'apprentissage qui leur permettrait d'expérimenter et de vérifier leurs prédictions améliorerait cette situation de manière significative.

Perspective épistémologique

Nous disions précédemment que le comportement des systèmes hydrauliques et pneumatiques industriels est complexe et que sa compréhension ne relève pas de la simple évidence. Pourtant, ni les manuels d'apprentissage, ni les ouvrages plus spécialisés, n'exposent l'ensemble des règles qui sous-tendent ce comportement, de sorte que les étudiants éprouvent des difficultés majeures à comprendre, à analyser et à anticiper le fonctionnement de tels systèmes. Même chez les enseignants, cette absence de règles explicites laisse la place à plusieurs interprétations et explications différentes de ce fonctionnement. Bien entendu, la plupart des manuels font état des principales lois qui concernent ces domaines (lois de Pascal et des gaz, théorème de Bernoulli, etc.). Mais l'apprentissage de ces lois n'est pas réinvesti; elles sont présentées comme allant de soi, de manière détachée et sans liens épistémologiques avec le reste des contenus; l'étudiant doit les intégrer et discerner celles qui sont susceptibles de s'appliquer dans tel ou tel cas particulier. Également, dans les manuels, l'étude des systèmes se fait à partir de cas élémentaires, présentant chacun une fonction technologique; les situations plus complexes sont abordées par le simple cumul de fonctions élémentaires. Or, cette approche s'avère incapable de rendre compte des interactions qui s'exercent entre les divers composants du système car elle ne favorise pas une vision d'ensemble.

Nous constatons que, particulièrement pour ce qui est de l'enseignement professionnel et technique, l'étude des systèmes hydrauliques et pneumatiques se fait sans aucun

référentiel général permettant d'articuler une analyse cohérente et structurée; il existe une carence, en ce sens qu'il n'y a pas, par exemple, l'équivalent de la théorie des circuits électriques, largement enseignée et bien connue des praticiens, et qui s'articule notamment autour des lois d'Ohm et de Kirchhoff, et de règles d'analyse de la topologie des circuits (structure en nœuds, branches...). Dans cette perspective, la communication présentée à ce même colloque l'an dernier (Cervera et Nonnon, 1996), proposait les principaux éléments autour desquels pouvait, selon nous, s'articuler un cadre théorique complet des circuits, analogue à celui qui existe pour les circuits électriques.

L'IDÉE DE DÉVELOPPER UN ENVIRONNEMENT D'APPRENTISSAGE INFORMATISÉ

Le premier aspect que nous évoquons dans la problématique, soit les difficultés d'apprentissage reliées aux fausses représentations conceptuelles des étudiants, nous a conduits à articuler une idée de développement d'un environnement d'apprentissage informatisé qui permettrait d'engager les étudiants dans une démarche de modélisation didactique en simulation assistée par ordinateur. Nous avons imaginé un environnement avec lequel l'étudiant pourrait construire et configurer des systèmes, les expérimenter, visualiser les phénomènes qui s'y produisent et observer les interactions entre les variables, simultanément avec le comportement du système. Nous voulions ainsi rendre intelligibles ces phénomènes à l'aide de modèles explicatifs interactifs. Nous voulions mettre à la disposition de l'étudiant un véritable laboratoire virtuel d'expérimentation afin qu'il puisse créer des situations, modifier celles qui lui sont proposées, les mettre à l'essai et explorer toutes les hypothèses de fonctionnement voulues. Nous voulions aussi placer l'étudiant dans une situation dynamique de résolution de problèmes qui l'inciterait à utiliser ce laboratoire, à interagir avec les situations, à se poser des questions, à les expérimenter et à formuler des réponses.

LES FONDEMENTS THÉORIQUE DE NOTRE APPROCHE DIDACTIQUE

Notre approche didactique se fonde sur la conception constructiviste de l'apprentissage consistant à placer l'apprenant en situation de construire ses connaissances à partir des interactions qu'il établit avec l'objet de connaissance. Plus particulièrement, nous nous intéressons aux trois dimensions suivantes:

- L'approche d'expérimentation et de modélisation
- L'approche systémique
- Sa simulation assistée par ordinateur

L'approche d'expérimentation et de modélisation

La conception constructiviste de l'apprentissage est indissociable d'une approche didactique d'expérimentation. Lorsque ces expérimentations sont riches et abondantes, lorsqu'elles conduisent à l'étude des liens de cause à effet et à la compréhension du comportement de l'objet de connaissance et des paramètres qui l'influencent, on peut dire que l'étudiant est engagé dans une démarche de modélisation.

Telle est notre orientation didactique consistant à faire réaliser à l'étudiant un grand nombre d'expérimentations dans un environnement de simulation assistée par ordinateur. D'une part, nous plaçons l'apprenant dans un contexte d'interaction avec les systèmes technologiques, dans une situation dynamique de résolution de problèmes qui l'incite à interagir avec les situations, à observer leur comportement, à se poser des questions, à les expérimenter et à formuler des réponses. D'autre part, nous lui donnons des moyens pour qu'il puisse créer, configurer et modifier des situations expérimentales, les mettre à l'essai et explorer des hypothèses de fonctionnement en regard de modèles explicatifs interactifs qui rendent intelligibles les interactions entre les variables. Cette approche rejoint celle de la «lunette cognitive» (Nonnon, 1987) utilisée en robotique pédagogique pour l'enseignement des sciences.

La question de la modélisation en didactique soulève la problématique de la méthode scientifique et de l'approche d'enseignement pratiquée dans les domaines technologiques. La méthode scientifique, tout en étant rigoureuse, ne correspond pas à la manière naturelle d'apprendre; aussi, elle est difficilement praticable dans un contexte scolaire. Dans les pratiques actuelles de l'enseignement des sciences et des techniques, le questionnement de l'élève est court-circuité, ce qui a pour effet de transformer les sciences expérimentales en sciences exactes. À ce propos, Giordan (1978) observe que l'élève «ne recommence pas une expérience. Quand l'expérience contredit ce qu'il pense, c'est qu'elle est mauvaise: il s'en désintéresse» (p.71). Selon toute évidence, il faut repenser la pratique de ces enseignements car, comme le constate Nonnon (1987),

«il semblerait [...] que les activités propres à susciter un savoir-faire et une initiative dans les expériences de laboratoire soient, pour des soucis d'efficacité, réduites à des démonstrations par le professeur ou, dans le meilleur des cas, à la reproduction systématique d'expériences par l'élève, l'activité de ce dernier se limitant souvent à la saisie de données et à leur compilation.» (p. 8).

L'approche systémique

L'approche systémique constitue une facette de l'approche de modélisation. Du point de vue didactique, nous en retenons particulièrement l'ordre de questionnement face à un problème à résoudre, ordre voulant que tout concept soit d'abord maîtrisé au plan qualitatif, avant que l'aspect quantitatif ne soit considéré. Comme Lévy-Leblond (1980), nous pensons que, «Avant toute analyse théorique d'un problème physique (mise en équations, résolution formelle, calculs numériques), une étude qualitative préalable en est absolument nécessaire. Évaluation empirique des paramètres d'importance dans le problème, utilisation fonctionnelle des lois physiques ou de la simple analyse dimensionnelle pour étudier la dépendance mutuelle des quantités physiques considérées, estimation des ordres de grandeur correspondants, telles sont les formes principales de cette démarche préliminaire. [...] Il s'agit ici d'essayer d'obliger l'étudiant (et l'enseignant!) à penser, en lui supprimant le recours automatique aux «équations». Ce n'est pas dire, certes, que les lois physiques traduites par ces équations soient inutiles pour répondre à ces questions, bien au contraire, dans la mesure où beaucoup de réponses vont à l'encontre du «sens commun» ordinaire, ou lui sont étrangères. Mais les lois à utiliser traduisent des relations entre concepts suffisamment simples (dépendance proportionnelle, inverse, indépendance, etc.) pour pouvoir, et devoir, être mises en œuvre sans qu'il soit besoin de «résoudre des équations» même s'il est parfois (mais rarement) utile de les écrire» (p. 7-8).

White et Fredericksen (1990) abondent dans le même sens lorsqu'ils affirment:

«[...] students should initially be exposed to qualitative causal reasoning in order (1) to make connections with their naive intuitive models of physical phenomena. and (2) to enable them to acquire this important problem-solving skill that evidence has shown they lack. Quantitative reasoning should only be introduced after students have been given a qualitative, causal conception of the domain, and the form of quantitative reasoning then taught should be a logical extension of the qualitative reasoning they have acquired» (p. 102).

La simulation assistée par ordinateur

Des considérations théoriques précédentes nous retenons principalement les aspects suivants:

1- C'est l'apprenant qui doit faire ses propres expérimentations et ses recherches, puis en tirer ses conséquences et ses découvertes. Ceci ne veut pas dire qu'il est laissé à lui-même, sans support théorique, bien au contraire, mais plutôt que c'est en réponse à ses questionnements que doivent s'inscrire les activités d'apprentissage.

2- Pendant ses expérimentations, l'apprenant qui entretient des fausses représentations conceptuelles se trouvera face à des situations qu'il ne parviendra pas à résoudre. Dès lors, la situation de conflit conceptuel doit l'amener à expérimenter toutes les hypothèses susceptibles de préserver dans son esprit la validité de ses conceptions. À la fin de cette démarche, il deviendra perméable à de nouvelles manières d'entrevoir la situation.

3- Ces nouvelles manières devront faire leurs preuves avant de devenir des candidates sérieuses et crédibles au remplacement des anciennes. Là encore, de nouvelles expérimentations devront avoir lieu, afin que l'apprenant développe une certaine aisance avec la nouvelle façon de voir et de faire.

4- Dans ses expérimentations, l'apprenant doit pouvoir découvrir, questionner, tenter de mettre en échec et valider les modèles explicatifs et les représentations qui les sous-tendent.

Il en découle que la démarche expérimentale dans laquelle nous désirons engager l'étudiant est fort complexe. Elle doit lui permettre de tirer des conclusions en temps réel, c'est-à-dire que la rétroaction doit être accessible au fil du déroulement de ses expérimentations et intégrée dans le processus d'apprentissage, afin qu'il puisse la réinvestir continuellement. La diversité des situations et les multiples variantes auxquelles le cheminement de l'apprenant donnera lieu, demande aussi que le passage de l'une à l'autre se fasse aisément et rapidement sous peine de tarir la continuité de l'intérêt expérimental. Le contexte d'apprentissage doit faire appel aux modèles explicatifs formels et l'étudiant doit pouvoir y intervenir directement pour configurer l'expérimentation et pour comprendre les interactions entre les variables. Aussi, il doit pouvoir expérimenter des situations qui font intervenir des phénomènes qui échappent à l'observation directe. Il faut rendre ces phénomènes explicites, observables et, surtout, sujets d'expérimentation.

Les conditions que nous venons de décrire sont pratiquement impossibles à satisfaire dans un contexte d'enseignement traditionnel. Les situations que l'on peut créer en laboratoire demandent beaucoup trop de temps et sont nécessairement très limitées quant à leur diversité. De plus, plusieurs situations critiques ne peuvent pas être expérimentées en raison des dangers inhérents, tels la perte de contrôle d'une charge. D'autres situations font appel, en première approche, à un contexte «idéalisé», comme l'absence de frottements, ce qui est impossible à réaliser avec un système physique. Enfin, il est pratiquement impossible aussi de faire varier à volonté les paramètres d'une configuration expérimentale donnée, tels les surfaces ou la course d'un vérin, ou encore d'utiliser des charges et des pressions élevées afin de vérifier son

comportement sous d'autres conditions. L'importance de ces limitations fait en sorte que bon nombre d'étudiants perdent le fil de l'objectif poursuivi par l'expérimentation et l'intérêt qu'elle est censée susciter, sans compter l'inhibition qu'elles génèrent face à tout éventuel questionnement de l'étudiant. Les travaux de laboratoire deviennent ainsi, trop souvent, des séances où l'apprenant se limite à appliquer des recettes et des modes opératoires qui le conduisent, le plus rapidement possible, à une réponse toute trouvée d'avance et attendue par l'enseignant.

Ces raisons nous amènent à conclure que l'outil par excellence, sinon indispensable dans ce contexte, est l'ordinateur. Nous sommes d'avis qu'un environnement d'apprentissage permettant l'expérimentation selon une démarche de modélisation en simulation par ordinateur est des plus propices à faire cheminer les étudiants dans le sens de nos préoccupations. La démarche intellectuelle qu'ils doivent faire pour construire et pour faire évoluer leurs représentations est exigeante. Elle fait appel à une richesse expérimentale qui dépasse celle des situations que l'on peut créer avec les moyens traditionnels. Le contexte d'apprentissage que nous tendons à proposer ne saurait pas se limiter à faire acquérir de nouvelles connaissances. Il s'agit, le plus souvent, de redresser, de transformer et de faire abandonner les représentations conceptuelles antérieures qui se dressent comme de vrais obstacles pédagogiques, et qui sont profondément ancrées dans la structure conceptuelle de l'apprenant.

LES OBJECTIFS DE RECHERCHE

À partir des considérations théoriques précédentes, nous avons articulé trois grands objectifs didactiques de recherche, que nous avons poursuivis tout au long du développement de notre environnement informatisé d'apprentissage. En fait, ces objectifs sont directement reliés aux prémisses qui découlent du paradigme constructiviste de l'apprentissage, paradigme voulant que l'étudiant soit l'auteur de ses propres apprentissages et que la qualité de ceux-ci soit tributaire de la qualité des relations qu'il établit avec l'objet de connaissance. Ces trois objectifs étaient :

1- L'environnement d'apprentissage devait prendre la forme d'un laboratoire virtuel et susciter l'intérêt pour l'expérimentation. À cet égard, nous voulions permettre la construction de situations qui placeraient l'étudiant dans une situation dynamique de résolution de problèmes et qui faciliterait son interaction avec les systèmes. L'étudiant devait donc pouvoir élaborer, configurer et modifier rapidement des situations expérimentales. Aussi, il fallait lui procurer une rétroaction rapide, si possible en temps réel, des résultats de la simulation.

2- L'environnement d'apprentissage devait produire des simulations crédibles, c'est-à-dire le plus possible conformes à la réalité, tant du point de vue scientifique et technologique que de celui d'un observateur naïf. Toutefois, la complexité des situations «réelles» pouvait constituer un handicap, particulièrement au début des apprentissages; c'est pourquoi il était important de pouvoir simplifier les situations à l'essentiel. À cet égard, nous voulions rendre compte, en termes qualitatifs observables et en termes quantitatifs, des phénomènes qui se produisent lors du fonctionnement des systèmes. Nous voulions aussi permettre la simulation de systèmes complets, c'est-à-dire en interaction avec divers types de mécanismes usuels sur lesquels agissent des charges. Enfin, nous voulions permettre l'expérimentation de systèmes sous des conditions «idéales» (théoriques) et sous des conditions «réelles» (proches des systèmes réels).

3- L'environnement d'apprentissage devait permettre la mise en œuvre d'une approche didactique de modélisation, c'est-à-dire conduire l'étudiant à découvrir, ou, à tout le moins, à constater les liens de cause à effet qui découlent de ses actions expérimentales. À cet égard, nous voulions illustrer les modèles explicatifs et les interactions entre les variables et permettre l'élaboration de stratégies d'apprentissage visant à mettre l'étudiant en situation de conflit conceptuel afin de favoriser le redressement de ses fausses représentations. Nous voulions aussi permettre la mise en œuvre d'activités dirigées, sous forme de contenus théoriques et d'une banque d'exercices, dans la but de favoriser les apprentissages autonomes.

CARACTÉRISTIQUES DE NOTRE ENVIRONNEMENT INFORMATISÉ D'APPRENTISSAGE

L'élément central de cet environnement d'apprentissage est un logiciel de simulation de très haut niveau technologique et didactique. Il permet la simulation de systèmes hydrauliques et pneumatiques. Sa vocation est d'illustrer et de rendre intelligible, au niveau qualitatif et quantitatif, le comportement des systèmes et de permettre l'observation des phénomènes qui s'y produisent, dans un contexte proche de la réalité industrielle, c'est-à-dire lorsqu'ils actionnent des mécanismes et des charges, et en tenant compte des frottements, des inerties, des rendements, des transformations énergétiques, etc. Bien plus qu'un logiciel d'analyse, il constitue à la fois un outil didactique et un laboratoire virtuel d'expérimentation.

- Il traite simultanément les systèmes hydrauliques et pneumatiques.
- Il rend compte des phénomènes qui se produisent dans les systèmes (vide, accélération, inertie, saturation, réchauffement...).
- Il travaille en temps réel, ralenti ou accéléré.

- Il rend compte des états stables (régime permanent) et transitoires (effets dynamiques).
- Il permet d'expérimenter aussi bien les systèmes de puissance que ceux de commande (automatisation) en tout ou rien, d'hydraulique proportionnelle et d'asservissement (régulation P. I. D.).
- Il rend compte des aspects énergétiques: puissance, rendements, transformations de l'énergie en chaleur, équilibre thermique des systèmes...
- Il comporte des mécanismes tels glissière, masse et poulie, volant d'inertie, frein à disque, réducteur de vitesses, treuil, balourd linéaire et rotatif.
- Il permet de régler la plupart des paramètres fonctionnels des composants: pression, débit, cylindrée, rendements, coefficients de frottement statiques et dynamiques, fuites, etc.
- Il comporte de nombreux appareils de mesure: manomètre, débitmètre, chronomètre, wattmètre, thermomètre, réservoir gradué...
- Il permet d'observer, simultanément et en temps réel, le comportement du système et l'évolution dans le temps des variables telles: position, pression, débit, puissance, température, rendement volumétrique...
- Il permet la mise en œuvre d'activités d'apprentissage autonomes: contenus théoriques avec exercices d'expérimentation, banque de problèmes...
- Il permet d'utiliser des composants impliquant divers degrés de complexité:

«idéaux», c'est-à-dire sans frottements, sans inerties et avec des rendements de 100%, pour faciliter les apprentissages de base.

«réels», c'est-à-dire avec frottements statiques et dynamiques, inerties, rendements proches des courbes caractéristiques, débits de fuites, colmatages, etc..

«altérés», c'est-à-dire dont le comportement n'est pas conforme au modèle courant (simulation de grippages, fuites excessives, bris, obturations...), pour fins d'analyse et de diagnostic de pannes.

Ces caractéristiques en font un outil particulièrement riche et puissant pour l'enseignement et l'apprentissage, mais aussi, dans un contexte industriel, pour la conception, l'analyse, le diagnostic et le dépannage des systèmes. C'est pourquoi, il s'adresse autant aux étudiants et aux professeurs qu'aux praticiens, aux techniciens, aux ingénieurs et aux concepteurs.

CONCLUSION

Le prototype de l'environnement d'apprentissage que nous avons construit constitue, selon nous, un outil didactique qui permet aux enseignants de mettre en œuvre une démarche didactique d'expérimentation et de modélisation particulièrement riche. À ce jour, l'ensemble des caractéristiques mentionnées sont déjà implantées et fonctionnelles à des degrés divers. Les incertitudes quant à leur faisabilité technologique sont toutes levées. Il est clair toutefois qu'un produit d'une telle envergure et complexité, et d'un tel niveau technologique, n'est jamais vraiment terminé. Il nous reste à le faire grandir, à le compléter, à le bonifier et à le raffiner. Cependant, il constitue déjà un outil didactique et technologique de très haut niveau, qui peut rendre d'excellents services aux enseignants et aux étudiants, mais aussi, dans un contexte industriel, aux ingénieurs, techniciens, concepteurs et praticiens.

BIBLIOGRAPHIE

- Cervera, D. et Métioui, A. (1993). *Énergie des fluides: analyse conceptuelle et représentations des élèves*, rapport de recherche, Collège de Valleyfield, Québec.
- Cervera, D. et Nonnon, P., (1996), *Comprendre les systèmes hydrauliques et pneumatiques industriels*. Colloque de l'Association pour la recherche au collégial, Collège de Mérici, Québec, actes du colloque.
- Cervera, D., Métioui, A. et Nonnon, P. (à paraître), *Représentations conceptuelles des étudiants sur l'incompressibilité, le débit et le vide dans les systèmes hydrauliques*.
- Giordan, A. (1978), *Observations-expérimentation: mais comment les élèves apprennent-ils?*, Revue française de pédagogie, no 45, Paris
- Lévy-Leblond, J.-M., (1980), *La physique en questions: mécanique*, Vuibert, Paris.
- Nonnon, P. (1987), *Laboratoire d'initiation aux sciences assisté par ordinateur*, Faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal.
- White, B. et Frederiksen, J. (1990), *Causal model progression as a foundation for intelligent learning environments*, Artificial intelligence, n° 42, 99-157.