

Evolutions des outils de formation fondés sur simulateur

J. MOUSTAFIADÈS

ELECTRICITE DE FRANCE

Direction des Etudes et Recherches

Service Etudes de Réseaux

1, avenue du Général de Gaulle

92141 CLAMART Cedex

Tel : 47.65.50.62

Email : jaja@clr34el.edf.fr

Résumé :

Depuis plusieurs années, on constate que les outils de formation fondés sur simulateur évoluent vers des systèmes plus interactifs et mieux adaptés à l'utilisateur. Les simulateurs d'entraînement caractérisés par la reproduction physique de l'environnement réel constituent un bon outil pour le stagiaire mais ils présentent des limites en terme de coût, d'évolutivité et de disponibilité. D'autres approches consistent à simuler entièrement par ordinateur l'environnement réel. Certaines approches cherchent aussi à intégrer des connaissances supplémentaires pour rendre le système plus autonome, développer une meilleure interactivité avec le stagiaire et mieux assister l'instructeur dans ses fonctions.

Une expérience relevant de cette dernière approche est menée actuellement à la Direction des Etudes et Recherches d'EDF conjointement avec le Laboratoire d'Informatique Fondamentale de l'Université Paris VI dans le cadre du projet de recherche DIAPASON, pour la formation à la conduite des réseaux électriques de distribution. L'objectif est de réaliser un environnement interactif d'apprentissage, guidé et adaptatif, fondé sur la simulation du fonctionnement de ces réseaux. Pour ce faire, on a recours à des techniques d'intelligence artificielle et à des méthodes d'analyse et de conception par objets.

1. INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, on constate que les outils de formation fondés sur simulateur évoluent vers des systèmes plus interactifs et mieux adaptés à l'utilisateur. Les simulateurs d'entraînement caractérisés par la reproduction physique de l'environnement réel constituent un bon outil pour le stagiaire mais ils présentent des limites en terme de coût, d'évolutivité et de disponibilité. D'autres approches consistent à simuler entièrement par ordinateur l'environnement réel. Certaines approches cherchent aussi à intégrer des connaissances supplémentaires pour rendre le système plus autonome, développer une meilleure interactivité avec le stagiaire et mieux assister l'instructeur dans ses fonctions.

Une expérience relevant de cette dernière approche est menée actuellement à la Direction des Etudes et Recherches d'EDF conjointement avec le Laboratoire d'Informatique

Fondamentale de l'Université Paris VI dans le cadre du projet de recherche DIAPASON, pour la formation à la conduite des réseaux électriques de distribution. L'objectif est de réaliser un environnement interactif d'apprentissage, guidé et adaptatif, fondé sur la simulation du fonctionnement de ces réseaux. Pour ce faire, des techniques d'intelligence artificielle et des méthodes par objets sont utilisées. Les enjeux de ce projet sont d'accompagner l'évolution technique des réseaux de distribution en anticipant les besoins en outils de formation pour dépasser les limites d'un simulateur d'entraînement.

Cette communication présente tout d'abord les outils de formation fondés sur simulateur en les caractérisant et en montrant leur évolution. Puis nous présentons le projet de recherche DIAPASON, ses grandes orientations et les travaux réalisés.

2. LES OUTILS DE FORMATION FONDES SUR SIMULATEUR

Le recours à la simulation informatique pour la formation a lieu dans de nombreux domaines, aussi bien généraux comme l'économie [1], la finance ou la géographie que scientifiques ou techniques, comme le dépannage de systèmes électriques [2] [3], le dépannage de circuits électroniques [4] [5], le pilotage d'avions ou la conduite de réseaux électriques [6].

L'un des plus grands apports de la simulation est de permettre à l'apprenant d'avoir une activité exploratoire dans un monde très proche de la réalité. Selon certaines théories de l'apprentissage, l'apprenant restructure ses connaissances en permanence. La possibilité d'agir et de voir l'effet de ses actions contribue à améliorer plus rapidement ses compétences. Des motivations d'ordre économique suscitent aussi l'intérêt des entreprises pour la simulation informatique, en particulier pour créer à volonté des situations très rares ou des situations critiques impossibles à reproduire dans la réalité.

Par son ouverture, la simulation favorise l'apprentissage par la découverte. Cependant, comme l'exploration n'est pas toujours systématique, il est important de guider l'apprenant et de contrôler son apprentissage car il risque de ne jamais découvrir certains aspects fondamentaux ou de ne pas exploiter au mieux les possibilités qui lui sont offertes. Finalement, il peut être complètement démotivé s'il n'obtient aucune aide. Pour s'affranchir de ces limites, il est donc nécessaire, dans un contexte de formation, d'associer au simulateur un environnement pédagogique.

2.1. Caractéristiques des outils de formation fondés sur simulateur

Une simulation informatique pour la formation se caractérise, d'une part, par des modèles du système à étudier et de son environnement technique et, d'autre part, par un environnement pédagogique permettant de gérer l'apprentissage.

Les modèles du dispositif à étudier peuvent être de nature *quantitative*, c'est à dire numérique, ou *qualitative*, c'est à dire symbolique ou bien combiner les deux approches. Dans un contexte de formation, certaines connaissances doivent être explicitées alors que

d'autres peuvent être ignorées. La difficulté est de trouver un bon niveau de modélisation comme l'ont montré de nombreux travaux [3].

L'environnement technique peut, soit être une réplique physique de la réalité, soit être entièrement simulé sur ordinateur, ce qui conduit à distinguer respectivement deux grandes classes d'outils de formation fondés sur simulateur : les *simulateurs d'entraînement* et les *simulateurs informatiques de formation*, relevant de l'enseignement assisté par ordinateur.

2.2. Les simulateurs d'entraînement

Le dispositif à étudier est simulé sur ordinateur mais son environnement est une réplique physique de la réalité. L'apprentissage est géré en permanence par un instructeur humain qui choisit une simulation, guide le stagiaire dans sa démarche et le suit dans sa progression. Dans certains cas, l'instructeur dispose d'un poste informatique propre qui lui permet d'agir sur la simulation. Il peut ainsi introduire des perturbations sur le dispositif simulé.

C'est par exemple le cas du simulateur d'entraînement des dispatchers à la conduite des réseaux de transport, installé au centre de formation de Caen (France) d'EDF [6]. Il reproduit physiquement les salles de commande du dispatching national et celles d'un dispatching régional. Une session de formation sur le simulateur met en jeu trois profils d'intervenants, le formateur, qui mène le jeu de simulation par l'introduction et le suivi d'un scénario, le dispatcher, en situation de conduite d'un réseau et l'opérateur, chargé d'exécuter les ordres de manœuvres du dispatcher.

Un simulateur d'entraînement constitue un bon environnement pour le stagiaire car il met en oeuvre des équipements réels et nécessite la présence de formateurs. Cependant, un certain nombre de limites peuvent être mises en évidence. Un simulateur d'entraînement est coûteux à construire. Il est difficile d'y intégrer des évolutions de l'équipement ou de créer de nouveaux scénarios. La présence d'un formateur est obligatoire et la formation se fait généralement en centre de formation à des périodes bien précises, ce qui ne permet pas un entraînement continu et permanent. Le formateur n'est pas assisté dans la gestion de l'apprentissage.

Une approche du type "simulateur informatique de formation" peut permettre de répondre à certaines de ces questions.

2.3. Les simulateurs informatiques de formation

Le dispositif à étudier ainsi que son environnement technique sont formalisés dans un modèle et implémentés dans un programme informatique. C'est le cas du système SHERLOCK destiné au dépannage de composants électroniques d'avions utilisant une station de tests, entièrement simulée sur ordinateur [5] ou du système de [8] pour la supervision et le contrôle d'un satellite.

L'intérêt immédiat est de pouvoir étendre ou modifier plus facilement l'environnement simulé, d'intégrer de nouveaux scénarios. Le recours à des méthodes par objets pour les modèles de simulation facilite encore plus ces possibilités d'évolution. De plus, le logiciel peut être aisément distribué, ce qui favorise une décentralisation de la formation.

Pour la gestion de l'apprentissage, il est possible d'imaginer trois types de support : l'instructeur humain exclusivement, un support entièrement informatisé, ou bien une conjonction des deux. La complexité du système informatique est alors en relation directe avec le degré d'autonomie du système vis-à-vis de la gestion de l'apprentissage. On recourt alors à des techniques utilisées en intelligence artificielle pour la construction de *systèmes tuteurs intelligents*. Ces systèmes ont pour objectif de mieux interagir avec le stagiaire, mieux le guider et s'adapter à son niveau et le cas échéant d'aider l'instructeur dans ses fonctions [9] [8] [7] [5] [2]. Cette approche offre des perspectives en matière d'utilisation autonome et de coopération entre le système, l'instructeur humain et le stagiaire.

Pour améliorer l'interaction avec le stagiaire le minimum requis pour le système est de *savoir résoudre le problème* qu'il lui pose. Ainsi, le système a les moyens d'évaluer les actions du stagiaire et le guider dans la résolution. Cette fonction peut aussi être utilisée par l'instructeur pour tester les scénarios de simulation destinés au stagiaire.

Pour aider le stagiaire dans la compréhension de certains concepts ou choix de résolution, le système doit être en mesure de *fournir des explications*. L'aide est encore meilleure si les explications sont *adaptées* à son niveau. Pour cela, le système doit être en mesure d'évaluer le stagiaire et de construire un *modèle de l'élève* représentant l'état de ses connaissances. Ce modèle est aussi utilisé par le système pour *gérer la progression du stagiaire*.

Dans les systèmes tuteurs intelligents, les aspects les plus complexes à traiter sont l'élaboration d'un modèle de l'utilisateur, la construction d'explications adaptées et la gestion de l'apprentissage.

2.4. Tendances des recherches sur la simulation informatique en formation

Depuis les années 70 où les systèmes tuteurs intelligents ont vu le jour, on note une évolution importante consistant à rechercher l'intégration de l'instructeur dans le processus de formation. Cette évolution va dans le sens de l'histoire de l'intelligence artificielle après les échecs d'une automatisation du raisonnement humain sur des problèmes complexes. On ne cherche donc plus aujourd'hui à réaliser des systèmes de formation totalement autonomes mais des *systèmes d'aide* à la formation, ouverts sur l'extérieur et capables de prendre en compte les décisions de l'instructeur humain.

Parmi les recherches entreprises sur la simulation informatique pour la formation, on distingue trois grandes orientations.

Dans la première orientation, le module de simulation est développé en même temps que le reste du système de formation. L'intérêt est de pouvoir choisir des modèles appropriés de simulation.

Dans la deuxième orientation, l'environnement est construit à partir d'un simulateur existant. Le système doit alors s'adapter au simulateur indépendamment de toute préoccupation de formation.

La troisième orientation utilise une approche générique dans la construction d'environnement d'apprentissage fondés sur la simulation. On distingue alors les *systèmes adaptatifs* qui peuvent s'adapter à plusieurs domaines et les *architectures adaptatives* qui peuvent s'adapter à n'importe quelle simulation existante.

Dans le cas des systèmes adaptatifs, les différents modules sont conçus indépendamment du domaine d'application. Le système offre des outils pour construire le modèle de la simulation et une interface interactive favorable à un contexte de formation. C'est le cas du système STEAMER [10] pour contruire de façon interactive les composants graphiques d'une simulation ou du système IMTS [11] pour construire les composants d'un équipement dont on souhaite faire un diagnostic de pannes. Pour les architectures adaptatives, on doit mettre au point une architecture modulaire, indépendante de la représentation des connaissances du domaine. Citons le projet SIMULATE (Simulation Authoring Tools Environment) dont l'objectif est de définir un environnement intelligent d'enseignement par la simulation (ISLE - Intelligent Simulation Learning Environment) et de spécifier un ensemble d'outils auteurs pour la construction de ces environnements [12].

3. L'EXPERIENCE DU PROJET DE RECHERCHE DIAPASON

Le domaine de la distribution d'électricité est en pleine évolution. Afin d'améliorer la qualité de son service, EDF fait évoluer ses réseaux, ses systèmes de téléconduite et cherche également à améliorer la formation de ses agents au moyens d'outils informatiques fondés sur la simulation.

Depuis une dizaine d'années environ, EDF investit dans la construction de simulateurs d'entraînement ; la production et le transport d'électricité ont été les premiers domaines à en bénéficier. Cependant, afin de dépasser les limites des simulateurs d'entraînement, la Direction des Etudes et Recherches d'EDF a entrepris d'explorer une voie complémentaire visant à construire un environnement interactif d'apprentissage fondé sur la simulation informatique. C'est l'objet du projet de recherche DIAPASON pour la formation à la téléconduite des réseaux électriques de distribution.

3.1. Orientations consécutives à une analyse des besoins

Afin de préciser les finalités et les modes d'utilisation du système DIAPASON, nous avons enquêté auprès de trois centres de distribution EDF-GDF SERVICES et deux centres de formation d'EDF [13]. De cette étude, il ressort en particulier l'importance d'intégrer l'instructeur dans le processus de formation.

Voici une synthèse des caractéristiques à prendre en compte dans le système DIAPASON. Les objectifs sont, d'une part, d'aider le stagiaire à acquérir, perfectionner et réactualiser des connaissances et des savoir-faire en conduite et, d'autre part, d'assister l'instructeur. Le

système utiliserait un réseau école représentatif de diverses situations d'exploitation et serait destiné à deux catégories d'utilisateurs, stagiaires et instructeurs. Le stagiaire interagirait au moyen d'une interface simulée de téléconduite.

L'utilisation du système DIAPASON se caractérise par cinq points essentiels :

- 1) DIAPASON serait utilisé principalement en centres de distribution ;
- 2) il aurait surtout son utilité en entraînement ;
- 3) le réseau école est pertinent mais devrait être adaptable et reconfigurable ;
- 4) le système devrait être exploité sous contrôle de l'instructeur ;
- 5) il devrait pouvoir fournir des exercices de difficulté graduelle ou aléatoire tout en conservant un certain réalisme.

En outre, DIAPASON pourrait aussi être utilisé en fin de formation initiale pour du perfectionnement dans les centres de FORMATION ou les centres EDF-GDF SERVICES pour approfondir et consolider par la pratique des connaissances fraîchement acquises.

Etant donné la diversité du domaine de la distribution, les limites des outils actuels en formation à la téléconduite et les besoins exprimés, le prototype DIAPASON (réalisation sur trois ans) ne prendra en compte que les réseaux et systèmes de téléconduite existants. Néanmoins, les recherches sont orientées vers la conception d'un système capable de prendre en compte les évolutions techniques futures.

3.2. Situation de DIAPASON dans les outils de formation fondés sur simulateur

DIAPASON est un *système d'aide* à la formation qui intègre des connaissances spécifiques des systèmes tuteurs intelligents. La gestion de l'apprentissage est co-assistée par l'instructeur et le système. DIAPASON comprend un environnement technique et un environnement adaptatif d'apprentissage.

3.2.1. L'environnement technique

Il est constitué d'un simulateur modélisant le réseau électrique de distribution et l'environnement de téléconduite. La simulation de l'environnement de téléconduite permet à l'apprenant de trouver un contexte normal de travail : le système de téléconduite et les différentes liaisons entre le centre de conduite et l'extérieur, postes téléphoniques ou postes radio.

Le simulateur de réseaux a été entièrement développé avec un niveau de modélisation propre aux besoins de formation à la téléconduite. Une approche de développement par objets a été choisie pour faciliter l'évolutivité du simulateur [16].

3.2.2. L'environnement d'apprentissage

L'environnement d'apprentissage de DIAPASON a pour objectif de guider le processus de formation des stagiaires et d'assister les formateurs [14].

Plusieurs modes d'utilisation sont prévus :

- Un *mode résolution* où le stagiaire est en situation active de résolution d'un problème de conduite sur le réseau école. Pendant la résolution, l'instructeur n'intervient pas, contrairement aux simulateurs d'entraînement. Le système contrôle les actions du stagiaire, le guide et, si nécessaire, lui fournit des explications. Différents protocoles de guidage sont spécifiés allant d'un guidage assez fort du stagiaire à une résolution libre.
- Un *mode exploration* permettant au stagiaire d'explorer l'environnement technique, d'agir sur le réseau et d'observer l'effet de ses actions dans une situation normale. Il peut aussi observer la manière dont DIAPASON résout un problème en consultant la conduite automatique.
- Un *mode bilan* permettant à l'instructeur et au stagiaire de consulter et d'analyser la trace de la résolution de l'exercice et le bilan établi par DIAPASON. Le modèle du stagiaire élaboré par DIAPASON est alors modifiable, ce qui signifie que le système reste sous le contrôle commun de l'instructeur et du stagiaire.

Fonctions de l'instructeur :

L'instructeur configure une session pour le stagiaire en formation ou en entraînement. Il choisit d'intervenir en fin d'exercice (pour analyser l'exercice réalisé par le stagiaire et choisir l'exercice suivant) ou en fin de session pour procéder au bilan.

L'instructeur peut utiliser le système en dehors des sessions avec le stagiaire pour préparer des cursus, c'est à dire des séquences d'exercices, utilisables en formation ou en entraînement. Pour cela, une banque de cas a été constituée à l'aide de formateurs [15]. Elle propose un apprentissage progressif de la conduite de réseau à tout stagiaire formé à la conduite des postes sources.

3.3. Connaissances mises en œuvre dans DIAPASON

Le système DIAPASON contient des connaissances sur le fonctionnement d'un réseau électrique de distribution, sur les méthodes de conduite, avec en particulier le diagnostic de pannes et la réalimentation [17] [18]. Il dispose aussi de connaissances pédagogiques pour guider le stagiaire et fournir des explications adaptées, sur la base d'un modèle de l'élève, construit dynamiquement.

Le système DIAPASON s'articule autour de quatre modules coopérant entre eux, un simulateur de réseau et de l'environnement de téléconduite, un module de conduite, un module d'explications et un module pédagogique. L'utilisation du système se fait au moyen d'une interface de téléconduite simulée qui permet à un utilisateur de conduire le réseau et d'interfaces spécifiques au stagiaire et à l'instructeur.

3.4. Travaux réalisés et recherches en cours

Des techniques d'intelligence artificielle sont utilisées pour l'acquisition et la modélisation de connaissances de raisonnement [19]. Des méthodes d'analyse et de conception orientées objet sont utilisées pour le simulateur ainsi que pour la représentation de connaissances conceptuelles [20]. Le développement est réalisé dans un environnement orienté objets.

A l'heure actuelle, une maquette du simulateur et une maquette du module de conduite ont été réalisées. Une banque d'exercices a également été implémentée. Elle permet à l'instructeur de créer des séquences pédagogiques d'exercices. Les travaux en cours portent sur les explications et l'adaptation au stagiaire.

4. CONCLUSION

Nous avons vu comment évoluent les outils de formation fondés sur simulateur afin de réaliser des systèmes plus interactifs, mieux adaptés à l'utilisateur et permettant une décentralisation de la formation. Même si certaines tendances actuelles vont vers une simulation informatique de l'environnement technique et l'ajout de connaissances pédagogiques pour rendre le système plus autonome, la place de l'instructeur dans le processus de formation est cruciale.

Nous avons tout au long de ce texte différencié les simulateurs d'entraînement des simulateurs informatiques de formation. Néanmoins, de nouvelles évolutions se dessinent dans le domaine de la distribution d'électricité combinant les deux approches. Des simulateurs d'entraînement seront à terme disponibles sur les futurs systèmes de téléconduite des réseaux de distribution et les recherches menées dans le cadre de DIAPASON pourraient alors contribuer à étendre les capacités de ces simulateurs.

5. REMERCIEMENTS

Nous remercions tous les participants du projet DIAPASON, Mmes M. Joab, C. Moinard, O. Auzende, M. F. Paoletti de l'UNIVERSITE PARIS VI, M. J. Courtois de l'ISEP ainsi que les experts EDF des centres de distribution EGS LOIR-ET-CHER, EGS NICE ALPES D'AZUR, EGS PYRENEES GASCOGNE et des centres de formation LA PEROLLIERE et SOISSONS-CUFFIES.

6. REFERENCES

- [1] V.J. Shute, R. Glaser, *A Large-Scale Evaluation of an Intelligent Discovery World: SMITHTOWN*, Interactive Learning Environments, 1, p.51-77, 1990.
- [2] B.Y. White, J.R. Frederiksen, *QUEST Qualitative Understanding of Electrical System Troubleshooting*, ACM Sigart Newsletter 93, p.34-37, 1985.
- [3] B.Y. White, J.R. Frederiksen, *Causal Model Progressions as a Foundation for Intelligent Learning Environments*, Artificial Intelligence, vol 42, p.99-157, 1990.

- [4] J.S. Brown, R.R. Burton & J. De Kleer, *Pedagogical, Natural Language and Knowledge Engineering Techniques in SOPHIE I, II, III*, in *Intelligent Tutoring Systems*, Eds. D. Sleeman & J.S. Brown, Academic Press, New-York, 1982.
- [5] A. Lesgold, S. Lajoie, M. Bunzo, G. Eggan, *SHERLOCK: A Coached Practice Environment for an Electronics Troubleshooting Job*, Learning Research And Development Center, University of Pittsburgh, March 1988.
- [6] Y. Logeay, M. Musart, M. Martin, *Le simulateur d'entraînement*, article de la Revue EPURE d'Electricité de France, octobre 1988. Pour toute information sur le simulateur d'entraînement des dispatchers d'EDF, contacter EDF, Centre de Formation de Caen, rue Claude Bloch, B.P. 5080, 14042 CAEN Cedex (FRANCE).
- [7] J. Moustafiadès, *Formation au diagnostic technique : l'apport de l'intelligence artificielle*, Ed. MASSON, 1990.
- [8] R.W. Chu, C.M. Mitchell, *A Pedagogical Design and Architecture for Intelligent Tutoring and Aiding in Supervisory Control of Complex Systems*, Proceedings of the 2nd International Conference ITS'92, Montréal, Lecture Notes in Computer Science 608, 1992.
- [9] E. Wenger, *Artificial Intelligence and Tutoring Systems*, Morgan Kaufmann, Los Altos, California, 1987.
- [10] J.D. Hollan, E.L. Hutchins, L.M. Weitzman, *STEAMER: An Interactive, Inspectable, Simulation-Based Training System*, in G.P. Kearsley (Ed), *Artificial Intelligence & Instruction, Applications and Methods*, Addison Wesley, 1987.
- [11] D.M. Towne, A. Munro, Q. Pizzini, D. Surmon, L. Coller, J. Wogulis, *Model-Building Tools for Simulation-Based Training*, *Interactive Learning Environments*, 1, p.33-50, 1990.
- [12] W.R. van Joolingen, T. de Jong, *Characteristics of simulations for instructional settings*, *Education and Computing*, vol 6, n° 3-4, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1991.
- [13] J. Moustafiadès, F. Paoletti, *Analyse des besoins en formation à la conduite des réseaux de distribution HTA : projet de recherche DIAPASON*, Note HR-34/93/012, mars 1994.
- [14] M. Joab, *Fonctions du système DIAPASON*, rapport LIF-EDF, novembre 1993.
- [15] O. Auzende, *Banque de situations du système DIAPASON et définition de cursus*, rapport LIF-EDF, Octobre 1993.
- [16] J. Courtois, J. Moustafiadès, *Modélisation par objets d'un réseau de distribution HTA : projet DIAPASON*, Note HR-34/93/004, mars 1994.
- [17] C. Moinard, *Recueil d'expertise sur la conduite des réseaux de distribution moyenne tension*, rapport LIF-EDF, Mars 1993.
- [18] C. Moinard, M. Joab, *Etude de cas : recueil et analyse des connaissances pour le système DIAPASON*, Journées ACTI 93 Acquisition de Connaissances dans les Tuteurs Intelligents, 17, 18 novembre 1993, Limoges (FRANCE).
- [19] B.J. Wielinga, A.T. Schreiber, J.A. Breuker, *KADS: A Modelling Approach to Knowledge Engineering*, *Knowledge Acquisition*, 4, p 5-53, 1992.
- [20] S. Shlaer & S. J. Mellor, *Object Lifecycles: Modeling the World in States*, Yourdon Press Computing Series, 1992.