

Chapitre 1

Les Systèmes d'Aide à l'Exploitation d'un Simulateur d'Entraînement

Problématique

1.1 Introduction

Cette étude se situe dans le contexte de la formation professionnelle des opérateurs¹ engagés dans des tâches de supervision et de conduite de *systèmes complexes* de natures très variées. Parmi ces tâches, Hoc distingue le contrôle de processus industriel (par exemple, la conduite de haut fourneau ou de centrale nucléaire), la conduite de mobiles (par exemple, le pilotage de navire ou d'avion), le contrôle de trafic (par exemple, le trafic aérien), la gestion de crise (par exemple, la mise en place d'un plan Orsec) et enfin la résolution de problèmes médicaux (par exemple, la supervision d'une salle de réanimation) (Hoc, 1996).

Les *systèmes complexes*² au centre de cette étude sont dynamiques, au sens où ils évoluent continuellement, n'étant que partiellement contrôlés par l'opérateur humain chargé de leur conduite. Ils sont soumis à des défaillances humaines ou matérielles qui mènent le plus souvent à des incidents sans gravité mais aussi parfois à des accidents. Outre les facteurs techniques, les facteurs humains et, en particulier, la formation des opérateurs, sont souvent mis en avant pour améliorer les performances et la sécurité de ces systèmes.

Avant de conduire le système réel en toute responsabilité, les opérateurs novices suivent en général une formation pratique où ils sont placés en situation. Ils résolvent des cas réels avec les mêmes moyens (dispositifs matériels et humains) que ceux dont ils disposeront dans l'exercice de leur métier. De leur côté, les opérateurs expérimentés suivent périodiquement des sessions *d'entraînement* dont les conditions doivent être tout aussi complexes que celles de la réalité. En particulier, dans une situation d'entraînement comme dans une situation réelle, les actions sont souvent irréversibles, ce qui constitue, pour Amalberti, un facteur de complexité de la situation (Amalberti, 1996).

Les opérateurs s'entraînent sur des dispositifs physiques réels ou sur des dispositifs simulés. Parmi les arguments en faveur de la simulation, nous retiendrons particulièrement :

- Les risques encourus par les humains ou par les matériels sont éliminés.
- Les coûts d'entraînement sont réduits.
- Les situations d'exercices sont reproductibles.

¹ Nous utiliserons le terme d'« opérateur » lorsqu'il sera question d'une situation de travail réelle alors que nous utiliserons le terme de « stagiaire » lorsque ce même opérateur résoudra la même tâche dans un cadre de formation ou d'entraînement. Nous substituerons au terme « d'opérateur », le terme spécifique propre à un métier donné.

² Amalberti les qualifie de « systèmes à risques » (Amalberti, 1996).

En revanche :

- L'environnement visuel est imparfait.
- Les conditions de l'exercice simulé sont souvent moins riches que la plupart des situations réelles.

Nous désignons par *Simulateur d'Entraînement* (SE), un système fondé sur la simulation, dédié à la formation pratique des opérateurs engagés dans des tâches de contrôle et de supervision de systèmes complexes. Nous reprenons les définitions du contrôle et de la supervision de (Hoc, 1996). Le *contrôle* désigne une tâche où les actions de l'opérateur portent directement sur le système. La *supervision* décrit un niveau plus abstrait avec des tâches de surveillance et de planification de la prise de décision. Un SE met les opérateurs en situation de résolution de problèmes dans un environnement similaire à leur environnement de travail habituel ; ils agissent alors dans un environnement simulé où sont exécutés des scénarios reproduisant des situations réelles.

Les simulateurs de formation se répartissent sur un large spectre qui va du simulateur *pleine échelle* au *micromonde*. Un simulateur *pleine échelle*, qui reproduit le dispositif physique¹, les commandes et leurs effets, vérifie à la fois les propriétés de *fidélité physique* et *fonctionnelle*. Dans les *micromondes*, le moteur de l'apprentissage est *l'exploration* ; ils n'ont pas vocation à former à une tâche particulière. Certains micromondes sont dédiés à *l'apprentissage par la découverte* de connaissances conceptuelles : l'apprenant découvre les propriétés du système simulé. On citera, par exemple, certaines applications développées grâce au *système auteur*¹ de simulations pédagogiques *SMISLE* : *SETCOM* pour l'étude des mouvements oscillatoires, *Collision* pour l'étude des chocs élastiques (Van Joolingen & Ton de, 1996). Dans un micromonde, parler de fidélité physique et fonctionnelle n'a pas toujours un sens. En effet, un micromonde ne représente pas toujours un dispositif réel et on parle alors de *fidélité conceptuelle* pour traduire sa capacité à réifier les lois du domaine de la simulation (Hollan, et al., 1987, Wenger, 1987). En formation professionnelle, la fidélité conceptuelle de l'environnement de simulation sera atteinte si la tâche elle-même n'est pas simplifiée alors que son contexte peut l'être. L'environnement de simulation est analysé en termes de *validité*

¹ Pour éviter de recourir systématiquement au mot « système » qui risque d'être ambigu dans la suite du document, nous emploierons le terme de « dispositif » pour l'objet physique sur lequel la tâche de l'opérateur s'exerce et le terme de « processus » lorsqu'on fera référence au comportement dynamique du dispositif.

écologique, c'est-à-dire, de la pertinence des situations simulées pour l'étude des situations réelles (Samurçay & Rogalski, 1998). La fidélité de la situation simulée, elle-même, est source de débat car, même avec un simulateur *pleine échelle*, la situation n'est pas parfaitement représentative de la réalité car les stagiaires s'attendent à être confrontés à un incident type (Beguïn & Weill-Fassina, 1997).

Les systèmes auteurs sont à la périphérie de notre étude car les applications développées sont rarement dédiées à l'apprentissage d'une tâche professionnelle. Nous présenterons rapidement les caractéristiques principales de SMISLE (Van Joolingen & Ton de, 1996). Le système auteur permet, grâce à une technologie objet, de créer des simulations pédagogiques sans recourir à un langage de programmation. L'auteur choisit des objets de simulation et des objets pédagogiques dans un catalogue, puis les adapte à ses besoins.

SMISLE présente l'intérêt de libérer l'auteur de la programmation et surtout de lui permettre de spécifier l'interaction avec l'apprenant en l'intégrant à celle de la simulation. De plus, le style d'interaction peut varier d'une liberté totale de l'apprenant au guidage selon les moyens pédagogiques choisis par l'auteur de l'application. Van Joolingen et De Jong distinguent quatre catégories de moyens pédagogiques :

- la progression des modèles

Une simulation pédagogique peut contenir différents modèles de simulation comme le préconisent White et Fredericksen (White & Frederiksen, 1990). Les moyens pédagogiques spécifient les variables visibles de l'apprenant à un moment donné.

- les attributions

Les attributions affectent à l'apprenant un but à court terme comme, par exemple, trouver une relation donnée, prédire le comportement de la simulation ou atteindre un état donné de la simulation. En contrôlant les variables d'entrée de la simulation, les attributions permettent de provoquer des événements intéressants. En définissant des conditions sur les variables de sortie, elles permettent aussi de repérer des événements particuliers de la simulation pour activer une présentation et attirer ainsi l'attention de l'apprenant.

¹ Un *système auteur* permet à un auteur non informaticien de construire une simulation pédagogique sans recourir à un langage de programmation.

- les cahiers de brouillon d'hypothèses

Les apprenants notent leurs hypothèses sur la simulation et le domaine simulé. Le cahier de brouillon offre une structure pour établir des hypothèses en utilisant les variables et leurs relations à partir de celles définies par l'auteur.

- les explications

SMISLE permet d'engendrer des explications en construisant par exemple une chaîne causale ou une vue globale structurelle du système simulé. En outre, les auteurs peuvent fournir des explications textuelles, graphiques ou multimédia.

Les concepteurs de SMISLE ont ajouté des outils d'aide à l'auteur d'une simulation pédagogique (Joolingen & Jong, 1996). Il s'agit de modules de documentation sur les moyens pédagogiques mis à disposition, de documentation sur l'apprentissage par la découverte, d'un glossaire sur la terminologie de SMISLE et d'un module de suggestions¹, qui propose des moyens pédagogiques à partir des caractéristiques du domaine et de la population d'apprenants visée. Le système auteur SMISLE est actuellement prolongé par SimQuest développé dans le cadre du projet européen Servive². SimQuest ajoute aux fonctionnalités de SMISLE une fonction de surveillance qui permet aux apprenants de conserver une trace de leurs expériences (de Jong, et al., 1998). Dans SimQuest, un mécanisme de modélisation de l'apprenant permet d'évaluer la validité des hypothèses formulées par l'apprenant. Toutefois, cette évaluation n'est pas mise en relation avec les connaissances du domaine sous-jacentes (Veermans & Joolingen, 1998). Elle est utilisée pour engendrer des conseils pour bâtir une meilleure expérimentation. Les simulations pédagogiques ne sont plus aujourd'hui seulement des environnements où l'apprenant découvre et expérimente librement mais elles sont complétées progressivement par des fonctions d'aide pour le guider dans son apprentissage. Dans la suite de ce mémoire, nous nous limiterons aux environnements de simulations dédiés à l'apprentissage d'une tâche.

Pour les SE, jusqu'ici, nous n'avons mentionné qu'une seule catégorie d'utilisateurs, les stagiaires en formation. Il convient d'y ajouter les instructeurs qui intègrent le SE dans leur dispositif de formation global. Ils créent des exercices, les intègrent dans des cursus qu'ils adaptent aux stagiaires, supervisent le déroulement des exercices et enfin en dressent le bilan.

¹ Le module de suggestions est un système à base de connaissances.

² Service for Integrated Virtual Environments (Servive, ET1020) est un projet européen en cours du programme Education & Training. Le lecteur consultera le site WEB de Servive : <http://www.simquest.to.utwente.nl/simquest/servive/project/text.htm>.

Nous avons conçu et réalisé un véritable environnement pédagogique opérationnel qui ajoute à un SE des fonctions d'aide aux instructeurs : la création et la gestion de modules de formation, l'évaluation du stagiaire et l'élaboration du bilan synthétique d'un exercice et d'une session. Dans certains contextes d'auto-formation, l'environnement pédagogique est complété par certaines fonctions d'aide graduelle au stagiaire disponibles durant l'exercice : l'élaboration d'une analyse synthétique et contextuelle de l'état du problème, l'élaboration de conseils à partir de l'évaluation du stagiaire.

Compte tenu des objectifs opérationnels des projets que nous avons réalisés, nous avons limité le champ de notre travail. Nous considérons que l'interprétation des observables est une forme d'explication du fonctionnement du dispositif. Cependant, nous ne traitons pas ici tous les aspects de l'explication. En particulier, nous n'abordons pas le problème du raisonnement explicatif proprement dit (Lemaire & Safar, 1991, Moore & Swartout, 1989, Weiner, 1980), c'est-à-dire un raisonnement portant d'une part sur la nature, le choix et la structure des informations transmises et d'autre part sur l'adéquation de ces informations aux demandes des utilisateurs (Baker, et al., 1995). Nous construisons une forme d'explication du fonctionnement du dispositif, à savoir l'interprétation des observables qui aide le stagiaire à appréhender la situation du dispositif.

L'évaluation est une analyse critique de l'activité du stagiaire obtenue sur la seule base de l'observation de ses actions. Elle porte sur la démarche adoptée par le stagiaire et sur ses résultats effectifs. Nos travaux visent essentiellement à construire un diagnostic du comportement et des savoir-faire de l'apprenant. Nous ne construisons pas un modèle de l'élève en aval du diagnostic de l'élève. En effet, le module d'évaluation n'infère pas un état des connaissances de l'apprenant et ne met pas à jour les résultats produits par l'analyse de la résolution du stagiaire. Il construit une vue instantanée du stagiaire lors de la résolution d'un unique cas. Nous situons le modèle de l'élève sous-jacent dans la classe des modèles de perturbation plutôt que dans celle des modèles « overlay » ou des modèles différentiels (Kass, 1989, Wenger, 1987).

Nous désignons ces environnements pédagogiques par le terme de *Systèmes d'Aide à l'Exploitation des Simulateurs d'Entraînement* (SAESE)¹. Notre travail se situe au point de

¹ Nous n'utiliserons pas ici la terminologie *Intelligent Training Systems*, l'analogue pour les SE du terme *Intelligent Tutoring Systems*, car le terme n'est utilisé que marginalement dans la littérature. Nous pensons que l'expression *Aide à l'Exploitation des SE* recouvre mieux la vocation de ces systèmes.

rencontre de la communauté *Artificial Intelligence and Education* (AI & ED) et de la communauté *Training & Simulation*.

De nos expériences de réalisations de SAESE, nous tirons aujourd'hui une méthodologie de conception et de réalisation pour cette classe de systèmes de formation. Cette méthodologie permet de guider le concepteur d'un SAESE dans sa démarche. Elle s'appuie sur les méthodes d'ingénierie des connaissances et du génie logiciel.

Notre méthodologie met en exergue les résultats suivants pour une simulation à événements discrets :

- la mise en évidence d'un noyau partagé par les modèles de connaissances d'un SAESE,
- une méthodologie de recueil incrémental des connaissances d'un SAESE, partiellement automatisé,
- un cycle itératif de développement pour les modules « sensibles¹ » du SAESE à partir d'un système *amorcé*.

La section 1.2 présente les contraintes des SAESE que nous illustrerons par deux projets que nous avons menés : DIAPASON, un système de formation pour les chargés de conduite des réseaux électriques de distribution moyenne tension², et l'environnement pédagogique d'un simulateur *pleine échelle*, le Simulateur d'Entraînement d'Equipage du char Leclerc (SEE)³. La section 1.3 présente l'architecture générale d'un SAESE. La problématique de recherche est présentée dans la section 1.4.

1.2 Les contraintes des SAESE

Les SAESE, comme tous les systèmes opérationnels, sont ciblés et répondent à des besoins spécifiques de leurs utilisateurs. Dès l'analyse des besoins, le rôle du logiciel, le cadre de son utilisation et son environnement sont précisés. Pour répondre aux besoins de formation d'une catégorie d'opérateurs, il est nécessaire de déterminer certains paramètres qui permettront d'orienter la conception du SAESE.

- Le public cible : Qui sont les stagiaires en formation ? Opérateurs novices ou expérimentés ? Quels sont les pré-requis des sessions de formation sur le SAESE ?
- Dans quelles phases d'un cursus de formation le SAESE sera-t-il utilisé ?

¹ Nous désignons par module « sensible », un module du SAESE pour lequel l'expertise de l'instructeur humain est peu disponible, car peu explicite ou mal formalisée.

² Le projet DIAPASON est présenté dans l'annexe 1 de ce document.

³ L'environnement pédagogique du SEE est présenté dans l'annexe 2 reproduisant (Joab, et al., 1998).

- Dans quel cadre le SAESE sera-t-il utilisé ? Seul ou combiné à d'autres types de formation ? Dans quel contexte : un centre de formation ou sur le lieu de travail ?
- Comment le SAESE sera-t-il utilisé ? Quelle en sera la durée d'utilisation ? Le stagiaire sera-t-il seul ou encadré par un instructeur ? L'instructeur sera-t-il présent en permanence ou par intermittence durant la session ? Durant l'exercice ?
- Des données sur le stagiaire seront-elles mémorisées par le logiciel ? Qui aura le droit de consulter ces données ?

Toutes ces questions concernent l'insertion du SAESE dans le contexte de l'organisation des entreprises et doivent être explicitées au début du projet. Pour obtenir ces réponses, une enquête auprès d'interlocuteurs représentatifs est indispensable.

L'analyse de l'environnement matériel et logiciel sur lequel le SAESE est greffé pose des contraintes techniques et scientifiques. La figure 1.1 montre les positions relatives d'un SAESE et du SE correspondant où l'environnement pédagogique constitue une sur-couche du SE.

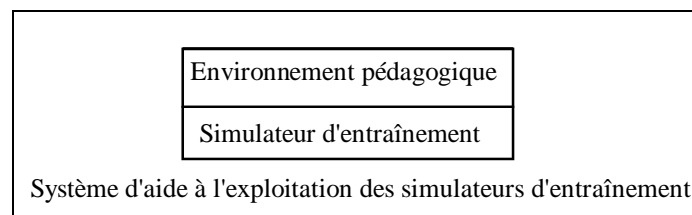


Figure 1.1 : Position d'un SAESE

Lorsque le SE ne préexiste pas au développement du SAESE, l'étude de l'environnement de travail réel contraint la spécification du SE et de son interface utilisateur, si on garde le principe d'une situation d'apprentissage identique à la situation réelle de l'opérateur. La réalisation du SE doit être menée en coopération avec l'équipe en charge de son environnement pédagogique. Lorsque le SE préexiste, certaines données à visées pédagogiques peuvent être absentes. Par exemple, dans le SEE du char Leclerc, un scénario décrit le déroulement de l'exercice et ne contient aucune information explicite sur les buts pédagogiques de l'exercice alors que cette information est indispensable pour structurer automatiquement un module de formation.

Les données sur le stagiaire ne sont pas toujours directement accessibles. Par exemple, comme le simulateur du SEE est une boîte noire, les actions des membres de l'équipage sur les commandes du char ne sont pas exportables sans modifier les interfaces internes. En revanche,

un tir et son résultat, la position des acteurs humains et artificiels sont connus. Les données sur le stagiaire ne sont pas toujours suffisantes. Dans DIAPASON, elles sont limitées à ses actions sur le réseau simulé. Dans la formation du chargé de conduite, l'accent est mis sur l'apprentissage de tâches dont les actions élémentaires ne constituent qu'une trace très sommaire. Les contraintes techniques sont donc très fortes lorsque le SAESE doit s'ajouter au SE sans le modifier.

La **spécification détaillée des fonctions utilisateur** des SAESE pose des difficultés. S'il est simple de préciser le rôle et les conditions d'activation des différentes fonctions d'aide, spécifier le résultat de leur activation est une entreprise plus délicate. Il faut imaginer au début du projet ce que serait une « bonne » fonction d'aide qui favorise l'apprentissage de la tâche. Or la nature précise des aides n'apparaît qu'à l'issue d'une étude de la tâche, cible de la formation, et de la pédagogie à mettre en œuvre. Ces études mettent toutes en jeu une expertise humaine qui, une fois acquise, pourra être transférée dans le SAESE. Pour répondre aux besoins des utilisateurs, le cycle de développement d'un SAESE ne peut être qu'itératif (par exemple un cycle en spirale). A l'issue de chaque itération, la validation expérimentale des maquettes réalisées permet d'aborder la spécification de l'itération suivante. Pour faciliter la convergence de ce processus, la participation des utilisateurs, stagiaires et instructeurs, à chaque étape de développement est recommandée.

La conception d'un SAESE ne relève pas de la compétence des seuls informaticiens. Les chercheurs en EIAO¹ mettent l'accent depuis les années 80 sur le caractère pluridisciplinaire de leur approche. Plusieurs spécialités peuvent concourir à ces travaux avec des objectifs différents : ergonomie, didactique professionnelle, psychologie, pédagogie, informatique.

Pour notre part, nous étudions la situation de formation pour la transposer dans le SAESE. Notre objet d'étude est le SAESE proprement dit. En revanche, un ergonomiste étudie le travail humain. Les compétences respectives des ergonomistes et informaticiens sont complémentaires. Par exemple, un ergonomiste sait spécifier un protocole expérimental de façon à ne tester qu'un nombre limité de facteurs, réaliser l'expérimentation et analyser les résultats. En revanche, l'informaticien indique rapidement la faisabilité de l'automatisation de certaines fonctions et une estimation du coût de réalisation. Un ergonomiste, cependant, à la différence des chercheurs

¹ A l'origine, le sigle EIAO signifie *Enseignement Intelligent Assisté par Ordinateur* par croisement de l'Intelligence Artificielle et de l'Enseignement Assisté par Ordinateur. Pour mettre davantage l'accent sur l'interaction avec l'utilisateur, il a été rebaptisé *Environnement Interactif d'Apprentissage avec Ordinateur*.

en didactique professionnelle, n'intervient pas directement dans la formation des opérateurs mais plutôt sur la situation de travail elle-même. La didactique professionnelle constitue donc une composante essentielle pour spécifier l'usage de la simulation dans le but de favoriser l'acquisition de compétences chez l'opérateur (Samurçay & Rogalski, 1998). Selon Rogalski, la compétence est définie par « un potentiel de propriétés, de connaissances opérationnelles et de schèmes d'actions disponibles ou mobilisables dans une classe de situations » (Rogalski, 1997). Pour notre part, en Intelligence Artificielle, notre intervention se situe à deux niveaux. Le premier niveau concerne l'ingénierie des connaissances. Il s'agit de procéder au recueil et à la modélisation de l'expertise et enfin à son opérationnalisation, nécessaires au développement d'un SAESE. Le deuxième niveau concerne plus généralement le développement d'une application informatique où il faut procéder aux étapes classiques du cycle de vie du logiciel : l'analyse des besoins, la spécification, la conception de l'architecture, la conception détaillée, le codage, les tests unitaires et l'intégration (Gaudel, et al., 1996). Un projet de SAESE ne peut que s'enrichir de la participation de ces différentes composantes où chacune travaille dans sa sphère de compétences et interagit avec les autres composantes.

1.3 Architecture des SAESE

L'architecture informatique d'un SAESE est construite à partir de l'architecture d'un tuteur intelligent et de celle d'un simulateur d'entraînement. Les différents modules d'un SAESE et leur rôle sont présentés dans la figure 1.2 (Chu & Mitchell, 1995, Diaz-Illaraza, et al., 1991, Gutierrez, et al., 1998, Mitchell, et al., 1996, Vasandani & Govindaraj, 1995).

Le SE se compose des interfaces stagiaire et instructeur, du simulateur et d'un module pédagogique embryonnaire de gestion d'exercices. L'interface instructeur permet ainsi de créer des exercices de simulation, de superviser et de contrôler le déroulement de l'exercice via ce module pédagogique. Dans un simulateur *pleine échelle*, l'interface stagiaire et le simulateur sont des dispositifs en dur reproduisant le dispositif réel, alors que, dans une simulation informatique, ce sont des modules du SAESE.

Le tuteur intelligent est composé d'un module expert, d'un module du stagiaire et du module pédagogique (Burns & Capps, 1988, Wenger, 1987). Le module expert met en œuvre des connaissances expertes sur la tâche de l'opérateur au cœur de la formation. En particulier, il résout l'exercice posé au stagiaire. Le module du stagiaire diagnostique et maintient l'état

Une évolution plus récente insiste sur la coopération entre agents humains et agents artificiels dans des

des connaissances du stagiaire. Il dispose de données sur la résolution du stagiaire transmises par l'interface stagiaire. Le module pédagogique gère l'enchaînement des exercices, détermine le contenu des aides destinées au stagiaire, explications et commentaires, et construit le bilan de l'exercice. On retrouve cette même architecture dans la plupart des SAESE, quelquefois avec des regroupements un peu différents.

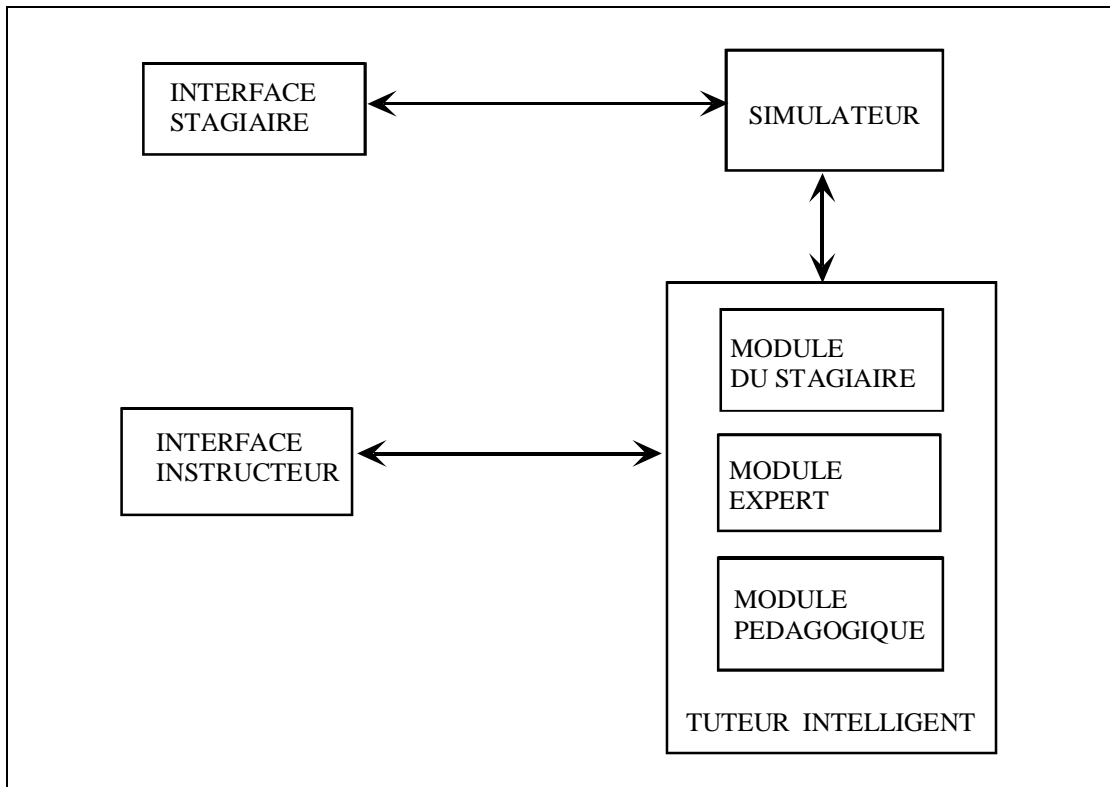


Figure 1.2 : Architecture d'un SAESE

1.4 Problématique

Nous rappelons brièvement les grandes directions de recherche en acquisition des connaissances (section 1.4.1) pour traiter ensuite les problèmes méthodologiques de conception des SAESE sous l'angle de l'ingénierie des connaissances (section 1.4.2)

1.4.1 Réutilisation en ingénierie des connaissances

L'acquisition des connaissances recouvre à la fois le recueil et la modélisation des connaissances. Le recueil se rapporte à la collecte des données. La modélisation correspond à l'identification et à la caractérisation des connaissances et de leurs propriétés. On désignera par *modèle de connaissances*, le résultat de cette étape. La représentation des connaissances consiste à les traduire dans un formalisme adapté au traitement informatique (Rousset, 1998).

Les chercheurs en Intelligence Artificielle s'accordent aujourd'hui pour séparer les connaissances du domaine de leur utilisation dans un processus de résolution de problèmes. Les modèles de connaissances du raisonnement ou les modèles des connaissances du domaine sont susceptibles de guider l'acquisition des connaissances (Erce, 1995).

La réutilisation de modèles de raisonnement est au cœur de l'approche KADS (Knowledge Analysis and Documentation System ou Knowledge Analysis and Design Support) (Wielinga, et al., 1993). KADS privilégie le choix d'un modèle de raisonnement abstrait dans une bibliothèque proposant des méthodes de résolution de classes de problèmes, modèle indépendant de tout domaine d'application (Breuker & Velde, 1994). Le modèle de raisonnement sera ensuite particularisé au domaine de l'application en associant les connaissances du domaine aux différents rôles du modèle de raisonnement. Par ailleurs, le domaine est décrit par des concepts simples ou structurés, les propriétés des concepts et leurs valeurs, des relations entre les concepts et des contraintes (Wielinga, et al., 1993). Le choix du modèle de raisonnement dirige donc l'explicitation des connaissances du domaine.

Les approches privilégiant les modèles de connaissances du domaine cherchent à produire des modèles de connaissances réutilisables pour différents systèmes à base de connaissance. Il s'agit de construire des *ontologies* décrivant l'ensemble des objets et catégories d'un domaine indépendamment de leur utilisation. Les bases de connaissances d'un SBC du domaine sont alors construites par restriction des ontologies du domaine.

L'approche des « Generic Tasks » propose des briques génériques qui permettent la mise en œuvre de méthodes de résolution pour des classes de problèmes (Chandrasekaran, 1988). Ces briques associent une représentation des connaissances du domaine adaptée à la classe de problèmes considérée. La réutilisation peut donc porter sur des modèles de raisonnement, des modèles du domaine ou une brique composée d'un modèle de raisonnement associé à un modèle du domaine stéréotypé.

1.4.2 L'ingénierie des connaissances dans les SAESE

Comme tous les Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur, les SAESE ont recours à des connaissances pour la mise en œuvre de leurs différents modules (figure 1.3).

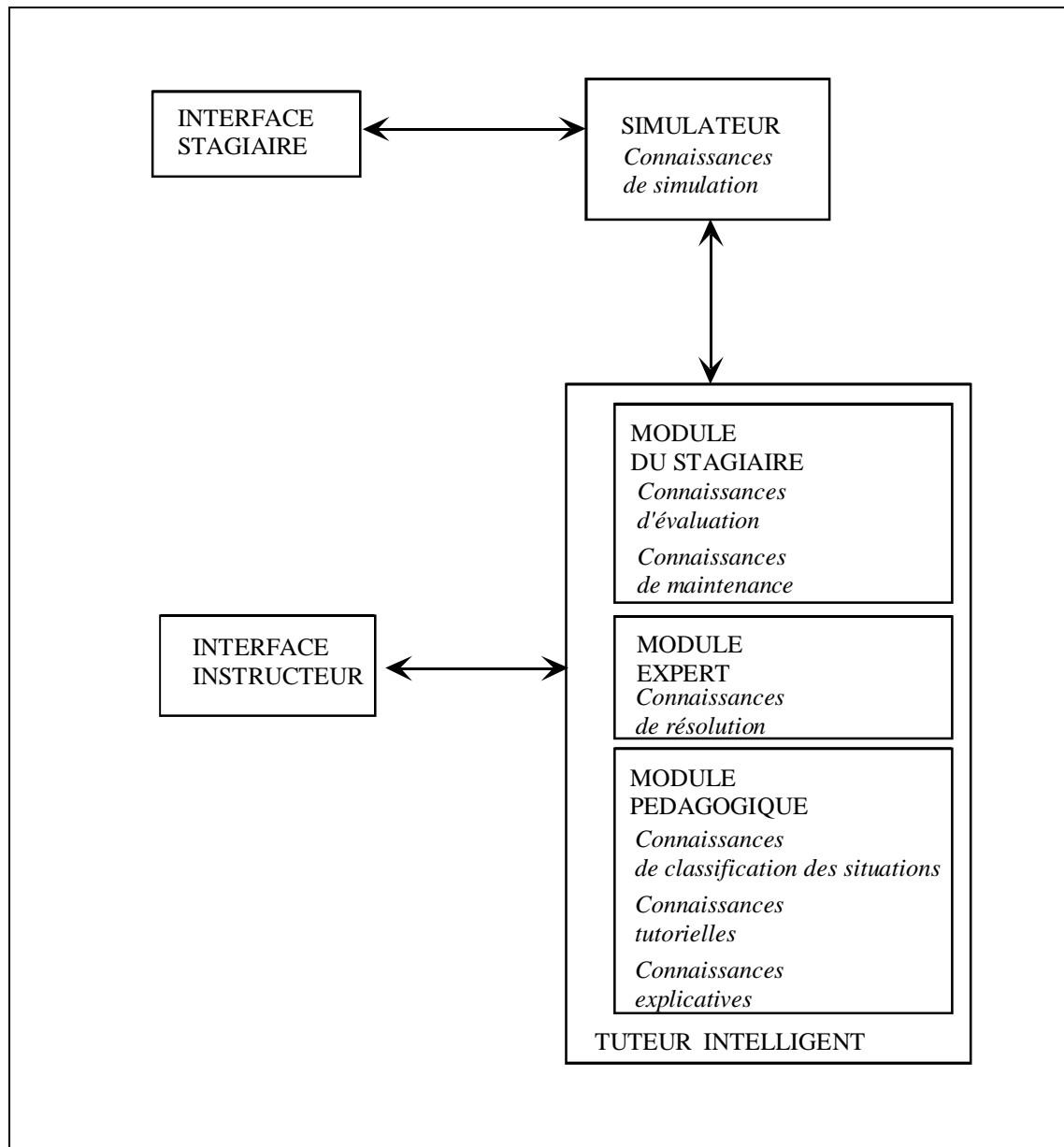


Figure 1.3 : Bases de connaissances d'un SAESE

- Le simulateur requiert des *connaissances de simulation*, pour reproduire le fonctionnement du dispositif.
- Le module expert utilise *des connaissances de résolution* pour résoudre l'exercice posé au stagiaire.

- Le module du stagiaire demande des *connaissances d'évaluation* pour diagnostiquer l'état des connaissances du stagiaire et des *connaissances de maintenance* pour la mise à jour .
- Le module pédagogique nécessite des *connaissances de classification des situations* pour construire un cursus, des *connaissances explicatives* pour produire une aide au stagiaire¹, des *connaissances tutorielles* pour conduire la session.

Les exemples de SAESE montrent que réaliser un tel système est un processus long et complexe qui ne peut que résulter du travail d'une équipe². La durée et la difficulté de développement sont dues en partie à l'hétérogénéité des connaissances et, en partie, au fait que l'expertise des modules « sensibles », comme le module du stagiaire ou le module pédagogique, est peu disponible. Comment adopter une démarche d'économie face à ce problème ? Une fois les connaissances du domaine séparées de leur utilisation, Nous examinons, dans le cadre des SAESE, l'hypothèse d'un noyau de connaissances partagé par les différents modules. Cette hypothèse rejoint les préoccupations de chercheurs en acquisition des connaissances qui posent le problème de la réutilisation des connaissances du domaine pour des tâches de résolution, d'explication, d'enseignement (Erce, 1995, Wielinga, et al., 1993).

Outre le coût de développement, l'économie des représentations informatiques des connaissances est un corollaire du problème précédent¹. Si cette hypothèse est vérifiée même partiellement, des bases de connaissances peuvent être communes à plusieurs modules du SAESE ou déduites d'autres bases de connaissances. Les connaissances sur le dispositif constituent un bon candidat pour ce noyau de connaissances partagées car ce dispositif est central pour la tâche de l'opérateur. Nous justifierons ce choix dans le chapitre 2.

Nous examinons trois questions méthodologiques dans ce mémoire liées à cette démarche d'économie des ressources.

- L'hypothèse d'un noyau de connaissances partagées est-elle valide ?
- Comment faire, en partie, l'économie du recueil de connaissances ?
- Comment concevoir les modules « sensibles » du SAESE à partir des autres modules ?

¹ Le module explicateur est considéré selon les auteurs comme partie intégrante du module pédagogique ou comme un module séparé.

² Par exemple, pour obtenir un prototype de DIAPASON il a fallu près de 12 homme/an sur une période de trois ans. Ce travail a requis un recueil d'expertise qui s'étend sur la quasi totalité du domaine technique de l'application.

Le chapitre 2 analyse le rôle joué par le dispositif pour les différents modèles de connaissances développés dans un SAESE. Le chapitre 3 propose une méthodologie incrémentale de recueil d'expertise pour un SAESE, dont certaines étapes peuvent être partiellement automatisées. Le chapitre 4 présente la conception de modèles de raisonnement pour les modules « sensibles » d'évaluation et d'explication d'un SAESE. Ces modules réalisés servent alors de système amorce dans un cycle itératif de développement. Le chapitre 5 présente l'acquisition des connaissances pour le système DIAPASON. Il décrit les réalisations effectives et non une application des prescriptions des chapitres 2 et 3. En effet, ces prescriptions sont le fruit d'une réflexion critique de nos réalisations, élaborée après coup. Les différences entre prescriptions et réalisations seront justifiées en conclusion du chapitre 5.

¹ Cette idée a été émise par J.-C. Pomerol lors d'une discussion sur l'hypothèse d'un noyau de connaissances pour les SAESE.