

Chapitre 5

Acquisition de connaissances dans DIAPASON

5.1 Introduction

Dans les chapitres précédents, nous avons présenté nos propositions pour l'acquisition des connaissances d'un SAESE. Certaines d'entre elles correspondent à des approches que nous avons effectivement mises en œuvre dans DIAPASON comme l'utilisation d'un modèle générique de raisonnement pour le module expert. D'autres propositions, comme la méthodologie de recueil incrémental des connaissances, correspondent à une réflexion fondée sur l'expérience. Nous présentons dans ce chapitre les liens entre propositions et réalisations effectives.

La section 5.2 présente le système DIAPASON pour faciliter la compréhension de l'analyse des modèles de connaissances sous-jacents. La section 5.3 décrit l'expérience du recueil des connaissances. La section 5.4 compare les modèles du dispositif issus du recueil d'expertise à ceux produits par notre méthodologie de recueil. La section 5.5 décrit la réutilisation de structures d'inférence pour DIAPASON. La section 5.6 présente les conclusions sur l'apport de notre approche de réutilisation de modèles de connaissances pour la conception d'un SAESE.

5.2 Présentation de DIAPASON

Nous présentons DIAPASON, un SAESE pour les chargés de conduite des réseaux électriques moyenne tension en décrivant successivement le contexte de la tâche du chargé de conduite (section 5.2.1), les fonctions de DIAPASON (section 5.2.2) et son architecture (section 5.2.3).

5.2.1 La tâche du chargé de conduite

Le réseau électrique de distribution moyenne tension (HTA) est intermédiaire entre le réseau de transport HTB (issu des centrales) et le réseau basse tension qui alimente les clients. Il comprend des postes sources (jonction entre le réseau HTA et le réseau HTB) et des lignes. Le réseau HTA est un réseau arborescent dont chaque nœud est alimenté par une source unique : le départ d'un poste source. Le réseau est soumis à des défauts multiples (surintensité, court-circuit, défaillance d'un élément). Il est surveillé par des protections qui détectent les défauts et des automatismes qui réagissent en déclenchant (ouvrant) les disjoncteurs si le défaut persiste après un cycle donné de déclenchements/réenclenchements. Le réseau dans son

ensemble (composants, protections et automatismes) a un fonctionnement complexe et *temps réel*.

Le chargé de conduite dispose d'un système informatique de téléconduite (SIT) qui lui permet de recevoir les alarmes et télésignalisations émises par les composants du réseau, d'interroger et de commander à distance certains organes du réseau. Il doit diagnostiquer le défaut (nature et localisation), en déterminer la gravité et réalimenter la clientèle. Il raisonne à partir des observables (télésignalisations et alarmes) et des effets des manœuvres entreprises sur les composants du réseau pour remettre en service les parties saines du réseau dans les meilleurs délais.

5.2.2 Fonctions

DIAPASON reproduit l'environnement de travail du chargé de conduite (Joab, 1993, Paoletti, et al., 1994). Le stagiaire dispose d'une interface de téléconduite opérant sur un réseau moyenne tension simulé. L'interface graphique est analogue à celle du SIT¹, affiche les télésignalisations datées et les alarmes émises par le réseau. Elle permet d'interroger et de commander les composants du réseau. DIAPASON place le stagiaire en situation de résolution de problèmes. Il propose au stagiaire un exercice reproduisant une situation réelle sur un réseau école, représentatif des réseaux français à l'exception des grandes villes. Les exercices sont organisés dans un cursus construit à l'initialisation de la session et modifiable par l'instructeur.

Un scénario de simulation décrit une configuration initiale du réseau sur lequel survient une séquence d'événements datés marquant l'apparition d'un défaut. DIAPASON représente de façon réaliste les réactions des composants du réseau aux événements du scénario en respectant les échelles de temps. En particulier, l'occurrence et la date des signaux (télésignalisations ou alarmes) émis respectent la réalité. En revanche, DIAPASON ne fonctionne pas en temps réel car il ne garantit pas les temps de réactions (de l'ordre du dixième de seconde).

Comme DIAPASON est destiné à l'entraînement des stagiaires plutôt qu'à leur formation initiale, il n'interrompt pas le stagiaire en cours de résolution et ne le remet pas sur la voie en cas d'erreur. De plus, le stagiaire ne commente pas sa résolution. Il n'explicite ni son

¹ SIT : Système Informatique de Téléconduite

diagnostic ni ses stratégies de résolution. La seule trace de résolution est constituée de ses actions via l'interface de téléconduite.

Pour compléter l'environnement de simulation et lui ajouter des fonctions pédagogiques, nous proposons une fonction d'aide, qui, à la demande du stagiaire, construit les interprétations des observables, sans interrompre l'évolution du réseau ni l'activité du stagiaire. Fondée sur les seules informations dont dispose le stagiaire, l'interprétation regroupe les observables et met en évidence les hypothèses sous-jacentes, constituant ainsi la première étape du diagnostic. Ces interprétations, construites dynamiquement au fur et à mesure de l'évolution du réseau, prennent en compte l'enchaînement temporel des événements passés à l'instant précis de la demande d'aide et exploitent les relations liant les événements, qu'ils soient provoqués par l'occurrence de défauts ou par les manœuvres du stagiaire. Elles permettent au stagiaire d'étayer ses décisions de conduite par l'analyse du fonctionnement du réseau. Par contre, les interprétations ne lui donnent aucune indication pour discriminer les hypothèses envisagées ; elles lui permettent donc de poursuivre la résolution de l'exercice. La même fonction d'aide sollicitée en fin d'exercice, évoque le diagnostic du défaut puisque l'exercice est terminé.

Parmi les fonctions pédagogiques, nous proposons une fonction d'évaluation du stagiaire conçue pour observer le stagiaire sans le questionner. L'évaluation est une analyse critique de son activité obtenue sur la seule base de l'observation de ses actions. Elle porte sur la démarche adoptée par le stagiaire et, de façon complémentaire, sur ses résultats effectifs. En cours d'exercice comme en phase de bilan, les éléments d'évaluation sont essentiels tant pour le stagiaire que pour l'instructeur qui supervise la formation. Ils permettent de commenter la résolution du stagiaire et d'étayer des interventions pédagogiques. Les fonctions décrites dans cette section, génération de cursus, simulation, interprétation des observables et évaluation sont implémentées dans la version actuelle du système DIAPASON.

5.2.3 Architecture

A partir des paramètres choisis par l'instructeur, le **générateur de cursus** engendre un cursus composé d'une séquence de situations. Chaque situation représente une famille de cas qui, une fois instanciée sur le réseau, donne naissance au scénario de simulation exécuté par le **lanceur**. On distingue dans l'architecture de DIAPASON (figure 5.1), le **monde du stagiaire**, qui constitue l'environnement de résolution du stagiaire, **du monde de l'expert**, qui représente

l'environnement de résolution d'un expert et qui produit une solution de référence pour l'évaluation. Chaque monde contient sa propre occurrence du simulateur alimenté par le lanceur. Le **monde du stagiaire** regroupe le **simulateur dédié au stagiaire**, l'**interface de téléconduite** et le module **explicateur**. L'**explicateur** construit les interprétations des observables. Il explique le comportement du réseau électrique moyenne tension en réaction aux défauts ou aux manœuvres du stagiaire. Le **monde de l'expert** regroupe un **module expert** et son simulateur dédié. Le **module expert** résout l'exercice posé au stagiaire à partir des mêmes données. Il est en mesure de fournir une solution de référence ou d'adopter une résolution voisine de celle du stagiaire.

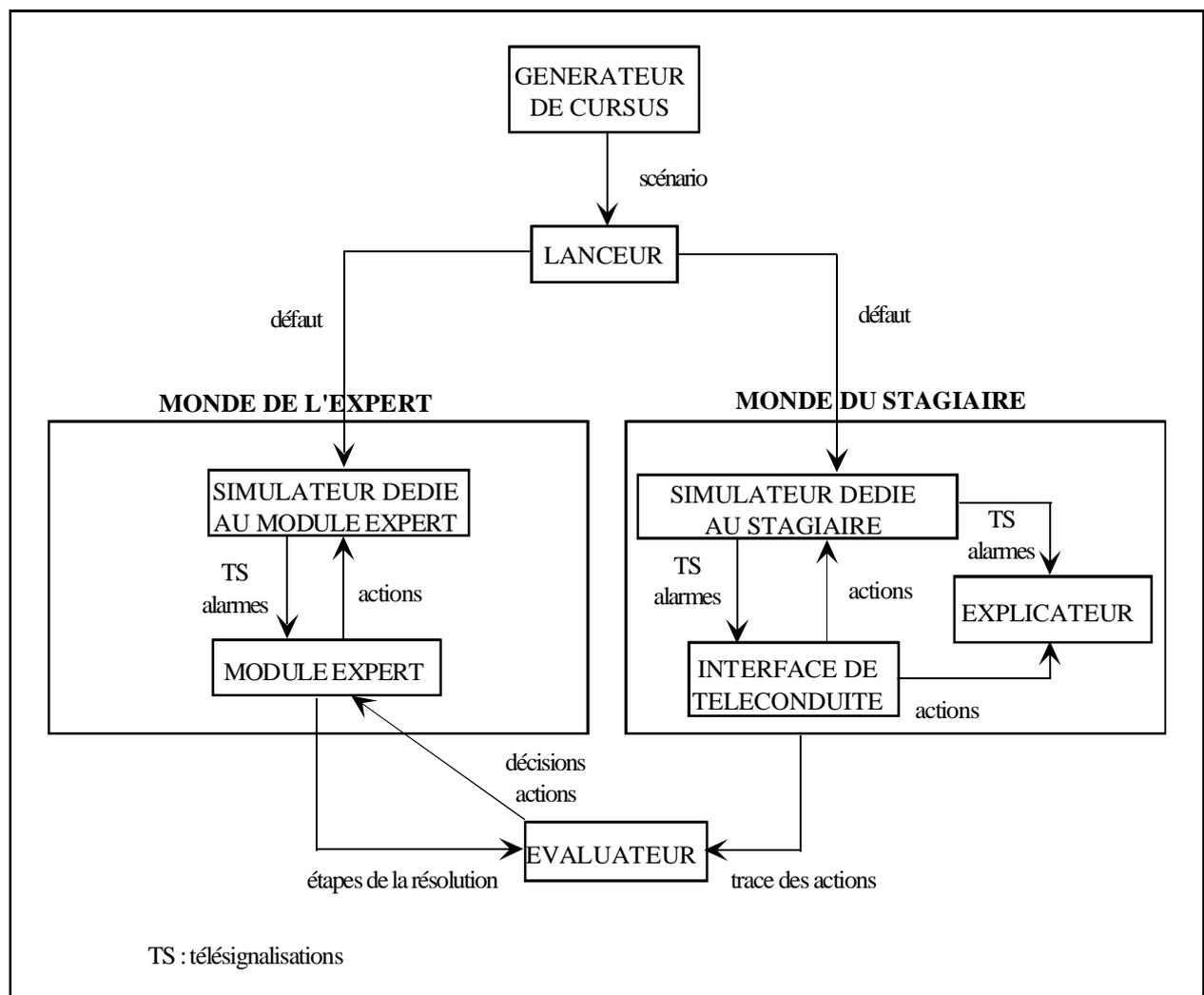


Figure 5.1 : Architecture de DIAPASON

5.3 Le recueil des connaissances dans DIAPASON

Nous avons procédé au recueil des connaissances de simulation, des connaissances de résolution et des connaissances de classification des situations. Ce recueil a directement servi de support à la réalisation du simulateur, du module expert et du générateur de cursus. Nous indiquons la méthode de recueil, le choix des experts et les problèmes que nous avons rencontrés lors de ce recueil.

Dans un projet, le choix entre les différentes méthodes de recueil n'est pas toujours possible. Comme aucun simulateur n'était disponible au moment du recueil, l'expérimentation a été éliminée d'emblée. De plus, il n'a pas été possible d'obtenir l'accord des experts pour les observer durant leur activité. Par défaut, nous avons travaillé par entretien et recueil systématique de données par questionnaire. Des documents de travail, validés à mesure par les experts, ont été produits. Nous avons recueilli des données sur les familles de situations¹ qui surviennent sur les réseaux électriques moyenne tension. Ces familles ont servi de point de départ aux questionnaires utilisés pour le recueil des connaissances de conduite (Moinard, 1993, Moinard & Joab, 1994) et de conception de cursus (Auzende, 1993). Pour les connaissances de simulation, les composants du réseau ont servi de point d'entrée des questionnaires (Courtois & Moustafiadès, 1994). Les recueils ont été menés en parallèle dès que cela était possible. Chaque phase de recueil a duré environ six mois avec environ une dizaine de journées consacrées aux entretiens avec les experts. Le choix de paralléliser les recueils était justifié par la nécessité de développer rapidement le noyau du SAESE.

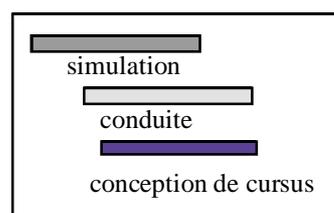


Figure 5.2 : Calendrier des recueils d'expertise

Nous avons travaillé effectivement avec des catégories d'experts différentes selon le type de connaissances que nous souhaitons recueillir (figure 3.1). Pour les connaissances de simulation, nous avons spécifié l'environnement du stagiaire avec les instructeurs et le comportement des composants du réseau avec un ingénieur de maintenance. Pour les connaissances de résolution, nous avons travaillé avec des instructeurs et des opérateurs

¹ On compte 72 familles de situations.

expérimentés issus de centres variés, avec des réseaux électriques à dominante rurale ou des réseaux de ville moyenne et avec des systèmes de téléconduite différents (Moinard & Joab, 1994). La diversité de provenance des opérateurs expérimentés a permis d'appréhender le noyau commun et les particularités des situations de conduite. Les instructeurs, issus de centres nationaux de formation, ont plutôt mis l'accent sur les procédures générales de communication entre agents EDF, les consignes de sécurité et les normes de comportement.

Pour ce qui concerne les connaissances pédagogiques, nous avons travaillé avec des instructeurs. Nous avons constaté que les instructeurs ne disposaient pas d'une expérience préalable de conception de cursus composés d'étude de situations car les formations ne comportaient qu'une partie pratique très réduite. En effet, entre 1992 et 1995, les formations des chargés de conduite avaient lieu dans des centres nationaux qui exploitaient des réseaux physiques réels, réduits par leur nombre de composants et déconnectés de la clientèle, où les instructeurs pouvaient provoquer des défauts simples en manœuvrant localement les composants. Dans ce contexte, en l'absence de simulateur, la partie pratique de la formation ne comportait que la résolution de cas simples. Les connaissances de classification des situations ont été construites à partir d'une réflexion avec les instructeurs et non recueillies à partir de leur expérience préalable.

Nous n'avons recueilli que des données partielles sur les connaissances explicatives et sur les connaissances d'évaluation. Les instructeurs ont explicité, pour chaque famille de situations, les « cartons rouges » qui sont les erreurs graves à ne pas commettre mais n'en fournissent pas d'interprétation. De plus, leurs stratégies explicatives ne sont pas explicites.

5.4 Modèles du dispositif

La plupart des modules de DIAPASON recourent directement à un modèle du dispositif (voir section 2.5.2) : le simulateur, le module expert, l'évaluateur, l'explicateur et le générateur de cursus. L'étude détaillée des modèles de connaissances de DIAPASON montre qu'en réalité, certains modules nécessitent plusieurs modèles du dispositif (section 5.4.1). Les modèles du dispositif de DIAPASON sont analysés par rapport aux modèles introduits dans les sections 2.2, 2.3 et 2.5.

5.4.1 Etude détaillée des modèles du dispositif

Les modèles du dispositif dédiés au simulateur

Dans DIAPASON, le réseau électrique moyenne tension est représenté par un modèle discret, dynamique et déterministe (Courtois & Moustafiadès, 1994). En effet, le modèle est *discret* car l'état d'un composant est modifié instantanément par la réception d'un événement. Le modèle est *dynamique* car l'état du réseau est fonction du temps. Certains composants suivent un cycle temporel constitué d'une séquence d'événements. Le modèle est *déterministe* car la réaction des composants est déterminée par le contexte de leur activation. Nous avons éliminé les aspects quantitatifs du modèle du réseau¹: le modèle considéré est donc *qualitatif*. Une simulation à événements discrets simule le réseau électrique moyenne tension dans DIAPASON (Lefebvre, 1994). Le modèle de simulation est aussi un *modèle transformationnel*. L'état des composants est explicité par des attributs. Un organe de coupure (un disjoncteur, par exemple) est défaillant ou en service, ouvert ou fermé. Les composants du réseau sont représentés par des objets dont les changements d'état surviennent à la réception de messages. Une analyse orientée objet (Shlaer & Mellor, 1992) a permis de modéliser les composants du réseau et leur comportement (Chikhi & Moustafiadès, 1994, Courtois & Moustafiadès, 1994). Un *modèle topographique* est aussi présent dans le *simulateur*. En effet, la topographie du réseau est représentée dans les liens entre objets voisins du réseau (Lefebvre, 1994).

Les modèles du dispositif dédiés au module expert

Un *modèle topographique* est utilisé par le *module expert*. Il est partagé avec le *simulateur* car le *module expert* raisonne sur la topographie pour réalimenter le réseau. En revanche, pour le diagnostic, le *module expert* utilise une représentation plus structurée du réseau moyenne tension. En effet, le réseau moyenne tension peut être hiérarchisé en zones. Une zone est décomposée en zones plus restreintes et électriquement indépendantes. La méthode de diagnostic, le diagnostic systématique, s'appuie sur cette décomposition hiérarchique (Moinard & Joab, 1994). Pour affiner le diagnostic d'une zone, le *module expert* teste chaque sous-zone indépendante.

¹ A la demande des instructeurs qui considéraient les calculs des charges électriques comme mineurs en formation.

Deux versions du *module expert* ont été réalisées. Elles diffèrent par le modèle du dispositif sous-jacent. Dans la première version, le *module expert* utilise des associations pour analyser les observables émis par le réseau¹. Chaque groupe d'observables est associé à un ou plusieurs défauts pouvant affecter la zone correspondante (Moinard, 1994). Le modèle du dispositif sous-jacent est une table d'associations, fondée sur des connaissances heuristiques. Ce *modèle* est utilisé par les tâches de filtrage et d'interprétation des observables. Il représente des connaissances de surface sur le dispositif car il s'agit d'une table d'association (section 2.6.1) entre les observables et les défauts qui n'exploite aucune variable interne du dispositif.

Dans la deuxième version, pour les mêmes besoins de diagnostic, le module expert utilise *un modèle de fautes* qui tire parti du modèle topographique structuré et du modèle de simulation (Moinard, 1996). Comme le réseau est décomposé hiérarchiquement en zones, à chaque zone du réseau sont associés des défauts de base² susceptibles d'affecter cette zone. Pour tester une zone et diagnostiquer le défaut, chaque défaut de base est injecté dans un simulateur prédictif utilisé comme une "boîte noire". Les effets du test sont alors comparés à la situation courante du réseau. Dans la première version du *module expert*, le modèle du dispositif est explicite alors qu'il est implicite dans la deuxième version.

Le *module expert* utilise des connaissances fonctionnelles sur le dispositif. A une zone du réseau correspond un plan de dépannage destiné à réalimenter la zone. Ces plans de dépannage font partie des informations dont dispose l'opérateur en situation d'exploitation courante. Ces plans, créés par les concepteurs du réseau en amont de l'exploitation quotidienne, sont des connaissances qui ont pour rôle de réalimenter la zone. Elles seront exploitées par l'opérateur dans la tâche de réalimentation. L'opérateur mettra alors en œuvre ce plan de dépannage prédéfini en le réadaptant au contexte courant.

Les modèles du dispositif dédiés à l'évaluateur

L'évaluateur utilise un *modèle topographique* du dispositif pour relier les actions du stagiaire à la zone concernée. Il utilise de plus un *modèle transformationnel* pour calculer les effets des actions du stagiaire sur le réseau.

¹ Les télésignalisations (TS) et les alarmes sont les seuls observables dont dispose le chargé de conduite pour faire le diagnostic de l'installation et la réparer. A la différence d'une alarme, une TS est datée. Une TS seule est rarement significative mais certaines séquences de TS montrent l'occurrence d'événements comme, par exemple, la réaction d'une protection.

² Un défaut de base est une combinaison minimale d'incidents qui provoquent une rupture d'alimentation de la zone. Ces défauts de base sont le fruit de connaissances heuristiques recueillies auprès des experts.

Les modèles du dispositif dédiés à l'explicateur

L'explicateur utilise des *connaissances heuristiques* sur le dispositif (Auzende & Joab, 1996) qui décrivent, pour chaque composant actif¹, tous ses comportements possibles dans des contextes distincts. Elles sont concrétisées dans des entités explicatives désignées par *E-composants*. Chaque composant actif de la simulation donne naissance à un ensemble de E-composants qui représentent une vue de l'interaction du composant actif avec les composants du réseau qui lui sont fonctionnellement liés. Par exemple, un disjoncteur de départ est protégé par un ensemble de protections qui activent des automatismes. On peut considérer le bloc (composant, protections, automatismes) comme un seul bloc fonctionnel. Un E-composant, instancié par la situation, associe pour le composant actif, la cause de la réaction du composant, le contexte et les observables qui traduisent la réaction du composant (ou l'absence de réaction)². Les E-composants sont implémentés par une table d'associations mais contiennent un modèle causal implicite. L'explication synthétise la chaîne d'événements : « Un défaut franc terre a été détecté sur le départ DD1. Le DTR du transformateur déclenche instantanément les départs DD4 et DD5 en RSE B. La protection de base qui détecte le défaut active le réenclencheur qui effectue son cycle et entraîne l'ouverture du départ DD1 après le deuxième lent. ». Le texte ne fait aucune référence explicite aux observables. Cependant, le stagiaire est en mesure d'établir un lien entre les observables et l'explication car chaque phénomène décrit correspond à un groupe significatif d'observables.

L'explicateur exploite ces E-composants selon deux modes : le *mode savant* où le défaut est mis en relation avec les observables et le *mode utilisateur* où les observables sont mis en relation avec le défaut. Le *mode savant* est destiné à produire des explications à la fin de l'exercice et peut donc dévoiler le diagnostic au stagiaire alors que le *mode utilisateur* est destiné à produire des explications en cours d'exercice sur la seule base des observables dont dispose le stagiaire.

¹ Un composant actif est doté de modes de fonctionnement propres. Par exemple, une protection est un composant actif. Un composant asservi subit les effets des composants actifs. Par exemple, un disjoncteur de départ est asservi. Enfin, un composant passif est un organe non manœuvrable. Par exemple, un organe de coupure manuel n'est pas commandable à distance et est donc un composant passif.

² Auzende distingue observables attendus, éventuels et éliminatoires (Auzende, 1995). Les observables attendus reflètent la réaction du composant considéré ; les observables éventuels sont susceptibles d'accompagner la réaction du composant (une manœuvre pouvant empêcher leur apparition) ; les observables éliminatoires sont ceux qui réfutent la réaction du composant considéré. Les observables éliminatoires répondent au cas où

L'explicateur exploite un *modèle fonctionnel* élémentaire du dispositif. Les E-manœuvres concrétisent la réaction d'un organe de coupure à une commande (ou son absence de réaction s'il est défaillant). La manipulation des composants du réseau se limite à la manœuvre des organes de coupures commandés à distance (par exemple les disjoncteurs de départ). L'explicateur enfin utilise un *modèle topographique* pour instancier les E-composants ou les E-manœuvres pour la situation.

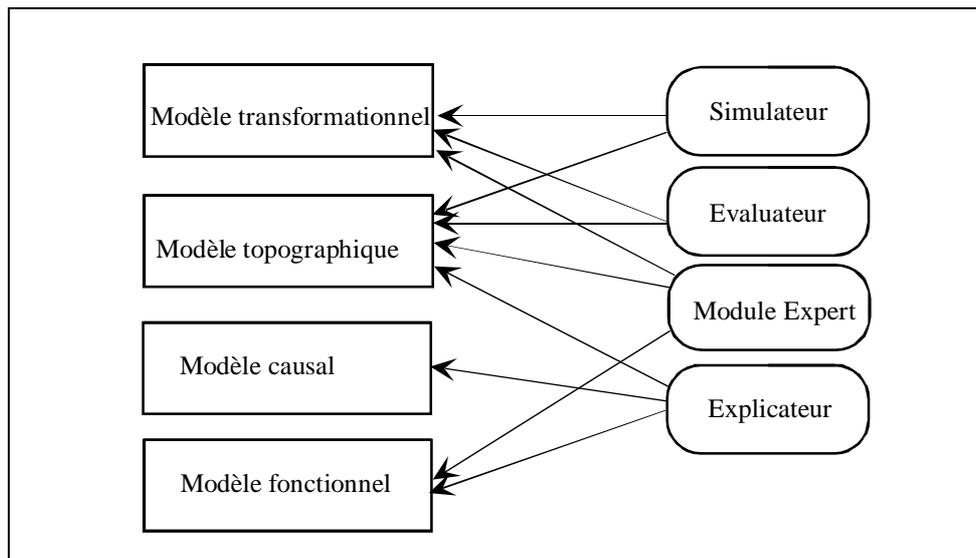


Figure 5.3 : Exploitation de modèles du dispositif par les modules de DIAPASON

Les modèles du dispositif dédiés au générateur de cursus

Les connaissances de classification des situations font intervenir des connaissances sur le dispositif plus structurées que celles que nous avons décrites dans les paragraphes précédents. Elles sont comparables aux connaissances des défauts de base affectant une zone dans une vue hiérarchique du réseau. Il est difficile d'associer à ces connaissances un unique modèle ou une composition de modèles transformationnel, causal, topographique ou fonctionnel. Ces connaissances résultent plutôt de savoir-faire des instructeurs qui énoncent des critères de complexité de la tâche à réaliser en fonction du cas à résoudre (Prince, 1996). Ce sont des connaissances heuristiques qui « court-circuitent » une analyse comparative des résolutions des

aucun observable n'est attendu. Par exemple lorsque l'on envisage le cas où un composant ne répond pas, la réponse du composant élimine ce cas.

différentes familles de cas. Les instructeurs ont du mal à les expliciter complètement car elles sont souvent intuitives.

5.4.2 Modèles informationnels et modèles réservés

Parmi les modèles du dispositif de DIAPASON, nous recherchons ceux qui sont utilisés de manière effective pour communiquer des représentations du dispositif au stagiaire.

Modèles réservés

Le *modèle transformationnel* du simulateur n'est pas directement utilisé pour présenter au stagiaire des informations sur le fonctionnement du réseau. En effet, dans la représentation orientée objets, la réaction de chaque composant du réseau à la réception d'événements est représentée isolément. Or le comportement d'un composant isolé ne suffit pas à comprendre le fonctionnement du réseau. Ce modèle est donc un modèle réservé et ne peut jouer le rôle d'un modèle informationnel.

Le *modèle topographique simple* est utilisé comme un modèle réservé par l'explicateur et par l'évaluateur.

L'examen du modèle du dispositif utilisé par le module expert est délicat car dans sa deuxième version, le module expert construit un modèle de faute en exploitant le simulateur comme une « boîte noire ». En conséquence, les connaissances du dispositif ne peuvent être présentées au stagiaire pour justifier le diagnostic. De fait, ce choix est pertinent parce que la tâche de réparation prend le pas sur la tâche de diagnostic. Pour le stagiaire, le diagnostic se précise au fur et à mesure de l'avancement de la réparation. Il n'est pas essentiel que le diagnostic soit complètement traçable. Dans sa deuxième version, le module expert exploite le modèle de simulation comme modèle réservé.

Modèles informationnels

Le *modèle topographique simple* est utilisé par l'interface de téléconduite qui présente la topographie du réseau servant de support au raisonnement du stagiaire. L'interface graphique est mise à jour en fonction des effets des commandes passées par le stagiaire.

Le *modèle topographique structuré* est utilisé pour justifier le plan de réparation choisi par le module expert. Par exemple, lorsque le disjoncteur d'arrivée a déclenché, la remise en

service de la zone globale ne peut se faire sans risques et l'opérateur doit réalimenter chaque départ par l'extérieur. Le modèle topographique structuré est donc un modèle informationnel.

Pour l'explicateur, les connaissances heuristiques contenues dans les E-composants sont utilisées pour produire des explications sur le fonctionnement du réseau. Elles correspondent à un modèle causal implicite, qualifié de *modèle informationnel* dans la mesure où il sert à communiquer une vue du réseau au stagiaire.

Le *modèle fonctionnel* est exploité par l'explicateur pour produire des explications prenant en compte les actions de l'utilisateur et leurs effets sur le réseau.

Le *modèle fonctionnel* du module expert sur les plans de dépannage est un *modèle informationnel* car l'adaptation de ces plans au contexte de la résolution liée à la zone en défaut fait partie de la trace de la résolution.

Modèles réservés	Modèle transformationnel (du simulateur et du module expert) Modèle topographique (de l'explicateur)
Modèles informationnels	Modèle topographique commun Modèle topographique (du module expert) Modèle causal (de l'explicateur) Modèle fonctionnel (du module expert et de l'explicateur)

Figure 5.4 : Modèles réservés et informationnels de DIAPASON

Nous pouvons tirer certaines conclusions de cette étude (voir figure 5.4). Dans DIAPASON, le modèle transformationnel du simulateur est caché au stagiaire, c'est donc bien un modèle réservé. Les modèles topographiques sont clairement des modèles informationnels. Le modèle causal de l'explicateur est un modèle informationnel. Les modèles fonctionnels de l'explicateur et du module expert sont des modèles informationnels. En effet, celui de l'explicateur est exploité dans les explications construites tandis que celui du module expert est communiqué au stagiaire car il sous-tend la tâche de réparation.

Le modèle du dispositif exploité par le module expert est un modèle réservé car il ne sert pas directement à présenter une représentation du réseau au stagiaire. Il pourrait être informationnel si la tâche de diagnostic était majeure. Nous retrouvons ici la dépendance des modèles de connaissances pour représenter le dispositif vis-à-vis de la tâche considérée.

Les *connaissances heuristiques* de classification des situations ne sont pas communiquées au stagiaire mais à l'instructeur pour la conception d'un cursus. Au même titre que les modèles de simulation, elles peuvent être qualifiées de modèle réservé pour le stagiaire.

5.4.3 *Modèle prédominant*

La conception du modèle de simulation est orientée « composants ». Le comportement de chaque classe de composants est modélisé par la réaction du composant aux événements qu'il reçoit. L'approche objets permet de prendre en compte la complexité du fonctionnement du réseau électrique moyenne tension. Le parallélisme est essentiel pour modéliser le fonctionnement du réseau. En effet, différentes protections sont activées en parallèle et produisent des effets éventuellement différents selon le contexte. La hiérarchisation des temporisations des protections permet d'obtenir un mécanisme de secours en cas de défaillance d'une protection ou d'un disjoncteur. La temporisation d'une protection est d'autant plus longue qu'elle couvre une zone plus étendue. Deux phénomènes résultent du parallélisme :

- Des effets de bords peuvent se produire. Des départs en travaux déclenchent dès la détection d'un défaut franc sur un départ voisin même si leurs protections ne détectent pas de défaut.
- Des défauts fugitifs dont les durées se cumulent sur deux départs voisins peuvent provoquer une rupture d'alimentation dans une zone plus étendue.

Une représentation fonctionnelle du réseau pourrait faire intervenir la fonction de protection d'une zone. La zone protégée comporte un ensemble de composants protégés et de protections qui peuvent influencer sur cette zone. Les paramètres de ces fonctions porteraient alors sur le type de défaut, les temporisations des protections, et, pour un départ, le régime d'exploitation (normal ou spécial pour les travaux). Une telle représentation met en évidence la portée d'une protection mais ne représente pas naturellement le mécanisme de secours entre protections qui est le fait d'une chaîne temporelle d'événements.

La représentation fonctionnelle (Chandrasekaran, 1994) fondée sur le triplet fonction-structure-comportement ne nous semble pas aisément adaptable à la représentation de systèmes complexes où le temps joue un rôle essentiel et dont le fonctionnement est parallèle.

Le modèle de simulation est structurel et comportemental. La représentation fonctionnelle, plus abstraite, n'est pas la représentation la plus adaptée compte tenu de la complexité du

dispositif. A notre sens, ce n'est pas un inconvénient car nous considérons le modèle de simulation comme un modèle réservé qui n'est pas destiné à produire directement des représentations intéressantes pour le stagiaire.

Le modèle prédominant dans DIAPASON est un modèle fonctionnel pour la réalimentation. Pour le diagnostic, le modèle prédominant, c'est-à-dire le modèle informationnel pertinent est le modèle causal du dispositif qui permet de construire des explications sur l'enchaînement des événements significatifs.

5.4.4 Connaissances noyau et connaissances déduites

Parmi les connaissances du dispositif, nous recherchons les connaissances nécessaires pour inférer certains modèles du dispositif à partir du modèle de simulation. La table d'associations du module expert pourrait être générée à partir du simulateur (section 3.6). Pour ce faire, il est indispensable de connaître les défauts de base susceptibles d'affecter une zone. La génération de cette table suppose donc une connaissance heuristique des défauts par zone du réseau. De plus, la structuration hiérarchique du réseau doit être explicite dans le modèle topographique du réseau utilisé par le module expert. Des connaissances heuristiques sur les caractéristiques de la zone à réalimenter déterminent la complexité de la tâche de réalimentation. Nous pourrions donc raffiner automatiquement la classification des situations obtenue par l'exécution du composant C_3 . Le modèle causal de l'explicateur pourrait être obtenu grâce au composant C_1 . Pour obtenir une décomposition du comportement d'un composant actif, il faut connaître ses interactions avec son environnement. Le problème consiste alors à générer automatiquement tous ces différents modes de fonctionnement en leur associant les observables attendus, éventuels et éliminatoires. Les différentes catégories d'observables sont répartis en attendus, éventuels et éliminatoires par discrimination entre les différents scénarios exécutés par le simulateur. Pour obtenir des modèles du dispositif proches de l'expertise, il faut donc combiner des connaissances heuristiques aux capacités de génération automatique. Sans ces connaissances heuristiques, les modèles obtenus risquent d'être trop pauvres pour constituer de bons supports pour la formation des opérateurs.

5.5 Réutilisation de structures d'inférence pour DIAPASON

Nous présentons les structures d'inférence génériques dans DIAPASON qui modélisent les raisonnements de conduite et d'interprétation des observables. Ces deux expériences sont de natures différentes. La première est issue du recueil d'expertise et a mené au développement

effectif du module expert. La deuxième est une interprétation *a posteriori* du raisonnement implanté dans l'explicateur. Elle nous permet d'abstraire le modèle de raisonnement sous-jacent alors que, lors de sa conception, l'appréhension de la dynamique du dispositif avait prévalu.

5.5.1 Structure d'inférence de la conduite

La conduite du réseau électrique moyenne tension combine diagnostic et réparation avec priorité à la réparation. Pour modéliser l'activité de conduite, après une décomposition de la tâche de conduite en sous-tâches, nous avons adapté la structure d'inférence générique « localisation » qui met en œuvre le diagnostic systématique. Nous renvoyons à (Moinard, 1996, Moinard & Joab, 1994) pour la description détaillée de ce travail.

La réutilisation de la structure d'inférence « localisation » a permis d'identifier un modèle structurel complexe du dispositif. La vue du réseau change alors de niveau d'abstraction : elle passe, d'une structure atomisée en composants dans le modèle de simulation, à une structure hiérarchique fondée sur l'analyse des défauts affectant une zone.

L'identification d'une méthode de raisonnement, à partir de la compilation des fiches décrivant la résolution des cas par les experts, a été guidée par le choix d'un modèle dans la bibliothèque de méthodes de résolution génériques (Breuker & Velde, 1994). On notera que la structure du *diagnostic systématique* a été adaptée pour prendre en compte les spécificités de l'application. En particulier, la réparation du dispositif prenant le pas sur le diagnostic, l'application d'un plan de réparation est utilisée pour faire avancer le diagnostic.

5.5.2 Structure d'inférence de l'explicateur

L'interprétation des observables construite par l'explicateur s'appuie principalement sur une représentation élaborée des connaissances du domaine (E-composant) présentée dans la section 5.4.1. Chaque E-composant représente une description abstraite d'un composant actif dans un contexte donné de fonctionnement (Auzende, 1996, Auzende & Joab, 1996).

La structure d'inférence de l'explicateur reprend la structure de la figure 4.2 en particularisant les entités explicatives aux E-composants. Cependant, elle ne constitue qu'un fragment de diagnostic car elle ne permet pas de discriminer systématiquement les hypothèses de défaut. Ce n'est le cas que lorsque l'on dispose des télésignalisations. Ces observables donnent une information très complète sur la situation. En revanche, lorsqu'on ne dispose que

des alarmes, l'expertise de la conduite du réseau a montré que le diagnostic avance en appliquant un plan de manœuvres visant à réalimenter le réseau car l'opérateur ne teste pas ses hypothèses directement. Nous qualifierons plutôt, par comparaison, le raisonnement de l'explicateur de pré-diagnostic (Auzende, 1998).

5.6 Conclusion

La comparaison entre la méthodologie de conception d'un SAESE et la réalisation de DIAPASON est intéressante car elle montre concrètement comment la méthodologie peut guider le concepteur d'un SAESE et l'économie réalisée. Le premier apport concerne la clarification des modèles de connaissances, qu'il s'agisse des modèles du dispositif ou des modèles de raisonnement. La distinction entre modèles informationnels et modèles réservés est essentielle pour obtenir les « bons » modèles pour la formation qui ne sont pas nécessairement les mêmes que ceux des opérateurs expérimentés. Le deuxième apport concerne la nécessité de développer progressivement le SAESE, pour réutiliser des modèles acquis dans les premières étapes du développement, pour faire l'économie de nouveaux recueils, pour étayer des nouveaux recueils sur les précédents, ou encore pour dériver certains modèles de connaissances d'autres modèles obtenus plus aisément. Notre méthodologie a l'avantage de présenter des propositions pour des SAESE fondés sur une simulation à événements discrets et dédiés principalement à une tâche englobant du diagnostic. Elle ouvre une voie prometteuse de recherche entre le « tout générique » et le développement d'applications particulières, voie que nous commençons à explorer pour les simulations continues.

Partie II

La Modélisation du Dialogue Explicatif