Planification de la remise en charge du réseau d'Hydro-Québec : le système RECRÉ

Raouf Naggar, Luc Cauchon, Stéphane Hénault, Si-Truc Phan

▶ **To cite this version:**

Raouf Naggar, Luc Cauchon, Stéphane Hénault, Si-Truc Phan. Planification de la remise en charge du réseau d'Hydro-Québec : le système RECRÉ. IEEE Power Engineering Society, 2006 General Meeting,, Jun 2006, Montréal, Canada. pp.n/a. sic_00001657

HAL Id: sic_00001657

https://archivesic.ccsd.cnrs.fr/sic_00001657

Submitted on 16 Jan 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Planification de la remise en charge du réseau d'Hydro-Québec : le système RECRÉ

Raouf Naggar , Luc Cauchon, Stéphane Hénault, Si Truc Phan

***Résumé*-- En raison de la gravité des pannes générales d'électricité, malgré leur faible probabilité, les organismes de réglementation exigent qu'un plan de remise en charge du réseau soit élaboré et tenu à jour en tout temps. La panne ayant affecté le nord-est de l'Amérique du nord en 2003 a démontré l'importance de cette exigence. La structure particulière du réseau d'Hydro-Québec impose l'application d'une procédure de remise en charge très précise. L'élaboration quotidienne du plan de remise en charge repose sur une stratégie dont l'application requiert l'établissement d'une séquence de rétablissement utilisant l'équipement disponible et dont le comportement électrique a été validé par des études appropriées. Au fil de l'expérience, Hydro-Québec a constitué un important patrimoine de connaissances regroupant l'ensemble des solutions déjà étudiées. Les responsables du plan de remise en charge utilisent leur savoir-faire pour retrouver la meilleure solution, juger de son adéquation et procéder à son application. Au besoin, de nouvelles solutions doivent être développées. Le nouveau logiciel RECRÉ (Remise En Charge du RÉseau) sera implanté par Hydro-Québec en 2005. Ce système de gestion des connaissances vise à faire des connaissances de remise en charge un actif tangible, croissant et valorisable. Il se compose de deux modules. Le module d'ingénierie des connaissances permet la modélisation, dans une base de connaissances, de la stratégie de remise en charge et des solutions connues. Le module de planification permet l'élaboration de plans de remise en charge en fonction des indisponibilités des équipements du réseau. Il peut produire en quelques secondes un plan validé et adéquat ainsi que tous les documents nécessaires pour sa diffusion. Il peut également étudier en quelques minutes toutes les situations correspondant aux retraits planifiés des semaines ou de l'année à venir. Ceci permet d'identifier les solutions manquantes dans la base de connaissances.**

***Mots-clés*— Ingénierie des connaissances, Planification, Raisonnement à partir de cas, Remise en charge du réseau.**

I. Introduction

A. La problématique de la remise en charge du réseau à Hydro-Québec

Un peu partout dans le monde, on procède à la remise en charge des réseaux à partir de lignes dont le niveau de tension est relativement bas. La mise sous tension des lignes à haute tension ne se fait que beaucoup plus tard et sert surtout à rattacher ensemble les différents sous réseaux (îlots) entre eux. À Hydro-Québec, suite à la construction de centrales de plus en plus loin des centres de consommation et à l'expansion du réseau à très haute tension, il a été décidé de mettre en application un scénario de remise en charge via le réseau de transport à 735 kV. Les principaux problèmes rencontrés à ce niveau de tension sont liés à l'effet Ferranti lors de la mise sous tension des lignes et aux surtensions temporaires causées par la mise sous tension des transformateurs de puissance. Ces problèmes sont encore plus importants lorsque le niveau de court-circuit de la source est faible, que les lignes sont longues et que la capacité des transformateurs de puissance à mettre sous tension est élevée.

B. Le plan de remise en charge

Le plan idéal de remise en charge du réseau découle d'études et d'analyses qui tiennent compte de ces problèmes, traduits comme étant des critères techniques, et il prend également en considération certains critères d'ordre pratique qui ont pour but d'optimiser le plan et de limiter le délai requis pour rétablir le réseau.

Ce plan idéal est conçu selon l'hypothèse que tous les équipements requis pour sa réalisation sont disponibles. Or, cette situation ne se vérifie que pendant la période de l'année où le réseau est prêt à affronter la pointe d'hiver. En temps normal, plusieurs équipements sont retirés pour fins de maintenance ou sont non disponibles suite à des défaillances. Le plan de remise en charge doit, par conséquent, être ajusté continuellement en fonction du contexte défini par le réseau disponible.

Ainsi, une activité quotidienne de mise-à-jour du plan de remise en charge doit être réalisée. Cette mise-à-jour doit impérativement s'appuyer sur des études de l'impact du plan proposé sur le comportement électrique du réseau.

Au fil de l'expérience, Hydro-Québec a constitué un important patrimoine de connaissances regroupant l'ensemble des solutions déjà étudiées pour la mise-à-jour du plan de remise en charge du réseau. Les responsables de cette mise-à-jour utilisaient leur savoir-faire pour retrouver la meilleure solution, juger de son adéquation et procéder à son application. Au besoin, de nouvelles solutions devaient être développées.

C. Le besoin d'un outil de support à la planification

Le besoin de migrer vers un système informatisé est souvent dicté par le risque de ne plus être en mesure de réutiliser le patrimoine de solutions accumulé, soit parce qu'il

R. Naggar et L. Cauchon sont chercheurs à Hydro-Québec – Institut de recherche (IREQ), Varennes QC, Canada
(courriel : naggar.raouf@ireq.ca et cauchon.luc@ireq.ca)

S. Hénault est agent principal exploitation du réseau à Hydro-Québec – TransÉnergie, Montréal QC, Canada
(courriel : Henault.Stephane@hydro.qc.ca)

S.T. Phan est ingénieur à Hydro-Québec - TransÉnergie, Montréal QC, Canada
(courriel : phan.si_truc@hydro.qc.ca)

devient trop complexe, soit parce que son exploitation manuelle requiert un savoir-faire long à acquérir et facile à perdre.

C'est ainsi qu'à Hydro-Québec, parallèlement à l'enrichissement du patrimoine de connaissances, l'entreprise a assisté à une diminution graduelle de son savoir-faire avec le départ d'experts du domaine. Cela conduisit à préciser la volonté de se doter d'un « outil d'aide à la remise en charge du réseau » baptisé RECRÉ. Cet outil permettrait de capitaliser le patrimoine de connaissances accumulé en le rendant formel et exploitable. En plus d'assurer la pérennité des connaissances et du savoir faire, RECRÉ permettrait d'assurer une meilleure préparation pour faire face à une situation de panne générale.

II. Les connaissances

L'élaboration du plan de remise en charge est avant tout un processus de décision consistant à choisir l'option qui convient le mieux parmi les options offertes. Pour choisir, il est nécessaire de connaître les options valides, c'est-à-dire dont on sait qu'elles sont réalisables, et les critères permettant de choisir la meilleure option.

Un aspect clef de la prise de décision est donc la connaissance de l'éventail des options possibles et un classement de ces options par ordre de préférence.

Au niveau stratégique, la mission du plan de remise en charge est de reconstituer l'infrastructure du réseau principal à partir de laquelle s'effectuera, graduellement, la reprise de toute la charge.

Les options qui s'offrent sont les différentes infrastructures qu'il est possible d'atteindre suite à la réalisation du plan de remise en charge que l'on aura établi. Ces infrastructures ne sont pas équivalentes et un ordre de préférence est établi en fonction de critères portant sur leur réalisation et sur leur impact sur les actions subséquentes.

La reconstitution de l'infrastructure du réseau principal nécessite sa *partition en réseaux de base*. Après l'exécution du processus automatique de remise à zéro du réseau, le rétablissement de chaque réseau de base est effectué de façon indépendante, puis ces réseaux sont synchronisés entre eux.

Cette décomposition est inhérente à la structure du réseau d'Hydro-Québec. Celui-ci est présentement constitué de cinq réseaux de base possédant chacun une source de production indépendante et les appareils requis pour en assurer le rétablissement de façon autonome.

La connaissance des façons de reconstituer l'infrastructure du réseau principal comprend cette partition en cinq réseaux de base, applicable en situation idéale, ainsi que d'autres partitions que l'on pourrait utiliser au besoin, selon leur ordre de préférence.

Au niveau électrique, pour effectuer la *remise en charge d'un réseau de base*, diverses façons de procéder peuvent être possibles. Ces façons de procéder sont appelées des *parcours*. Un parcours est caractérisé par une séquence d'interventions consistant à changer l'état électrique du réseau.

Ces interventions sont :

- Le démarrage et la synchronisation de groupes dans les centrales
- Le maintien d'une consigne de tension sur ces groupes
- La mise sous tension ou en charge de lignes et d'inductances
- La mise en charge de transformateurs
- Le bouclage des transformateurs
- La prise de charges

Chaque intervention doit s'effectuer dans le respect des limites acceptables autant en régime permanent qu'en régime transitoire.

Différents parcours ont été étudiés pour chaque réseau de base par les experts du domaine. Ces études constituent le patrimoine de connaissances pour cet aspect du problème.

Typiquement, un parcours est constitué d'étapes consistant à rétablir, tour à tour, tous les segments d'un réseau de base. Le rétablissement de chaque segment s'appelle une *étape*. Au niveau du parcours, une étape n'est définie que du point de vue électrique.

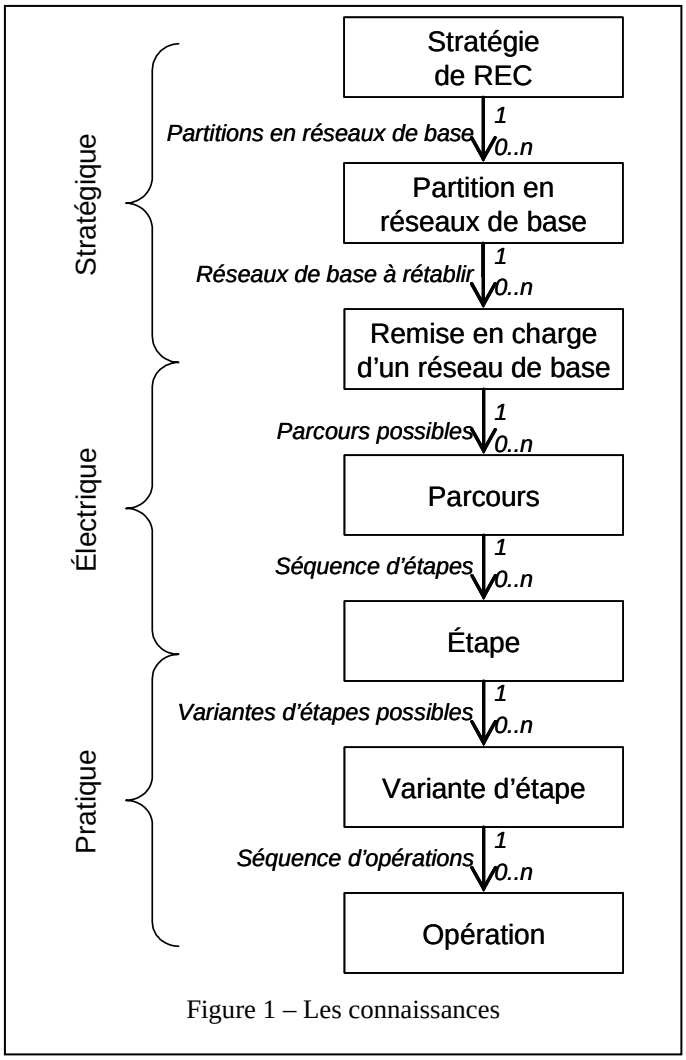

Figure 1 – Les connaissances

En pratique, l'étape peut être réalisée de multiples façons en effectuant des opérations électriquement équivalentes mais en utilisant des appareils différents. Ces différentes façons de réaliser une étape s'appellent des *variantes d'étape*.

La définition des procédures de réalisation d'une étape est un exercice technique effectué à partir des schémas d'installation. Généralement, une procédure de base est privilégiée. Celle-ci est documentée dans les *Urgences d'exploitation* de chaque installation. Des procédures alternatives sont régulièrement produites lorsque l'indisponibilité d'appareils rend la procédure de base inadéquate. Selon le processus actuel, ces procédures alternatives sont spécifiées dans des *mémos* envoyés aux concernés lorsque nécessaires. L'ensemble des procédures ainsi documentées constitue le patrimoine de connaissances pour cet aspect du problème.

III. L'APPROCHE UTILISÉE

A. Choix de l'approche

Les logiciels généralement utilisés dans le domaine des réseaux électriques relèvent généralement des méthodes numériques et de la recherche opérationnelle. L'introduction de méthodes d'intelligence artificielle y est souvent perçue comme une façon de remplacer l'humain en solutionnant automatiquement les problèmes posés [7]. Même si ces méthodes peuvent être très efficaces dans certaines conditions, cette perception provoque beaucoup de scepticisme à leur égard, en particulier lorsque *le jugement des experts* occupe une place importante dans l'élaboration des solutions. Le raisonnement à partir de cas n'a pas cette prétention. L'expertise qu'il vise à acquérir est celle d'un utilisateur capable d'appliquer adéquatement des solutions connues en fonction d'un contexte donné. Cette approche est beaucoup plus facile à accepter car ce travail est souvent déjà effectué manuellement dans les entreprises. De plus, elle respecte les processus d'affaires et les partages de responsabilités existants.

B. Le raisonnement à partir de cas

La définition de l'approche utilisée est présentée ci-dessous en fonction des cinq étapes du processus de raisonnement à partir de cas [3] tel qu'illustré à la figure 2.

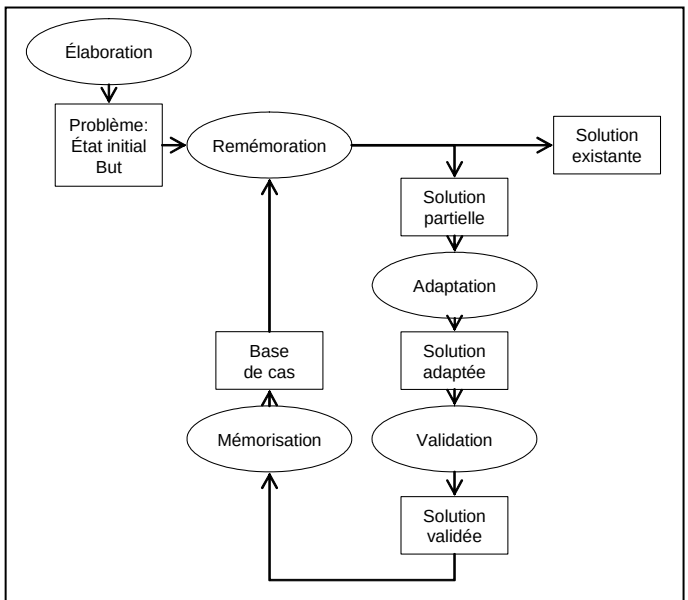

Figure 2 – Raisonnement à partir de cas

1) L'élaboration

Élaborer un problème cible consiste à le mettre en forme et à inférer des informations sur lui, en vue de la remémoration. L'étape d'élaboration consiste donc à définir le but et l'état initial pour le système étudié.

Dans le cas de la remise en charge du réseau, il faut donc construire le modèle du réseau étudié et, à partir de ce modèle, définir formellement l'état initial (disponibilité et état de fonctionnement des équipements) ainsi que les conditions sur l'état d'arrivée permettant de vérifier l'atteinte du but.

2) La remémoration

La remémoration a pour objectif de sélectionner un cas source, issu de la base de cas, dont la solution peut s'appliquer au problème cible défini à l'étape de l'élaboration, ou peut être adaptée en vue de le solutionner.

L'approche préconisée pour RECRÉ aborde l'étape de remémoration sous l'angle de l'applicabilité des solutions. Selon cette approche, toutes les solutions répertoriées dans les cas sources disponibles dans la base de cas sont analysées pour vérifier si elles permettent d'atteindre le but B, compte tenu de l'état initial E_0. La remémoration permet de retrouver, s'il y a lieu, une solution répondant au problème cible, ainsi que de retrouver des solutions partielles qui pourront être adaptées pour y répondre.

Pour que cette approche soit réalisable et qu'elle fournisse des solutions, deux conditions sont essentielles :

– On doit disposer d'une méthode de vérification de l'applicabilité d'une solution au problème cible et d'un modèle du système comprenant toutes les informations et connaissances requises pour l'utilisation de cette méthode.

– Le modèle de connaissances servant à la mémorisation des cas sources doit permettre la décomposition des solutions et l'application au problème cible d'éléments de solutions provenant de plusieurs cas sources.

3) L'adaptation et la validation

L'adaptation a pour but de trouver une solution au problème cible à partir d'un cas source similaire ou d'une solution partielle à compléter. La solution trouvée doit être validée afin de s'assurer qu'elle est correcte.

En l'absence de solution remémorée/recomposée, l'adaptation et la validation de nouvelles solutions sont réalisées par les unités de l'entreprise qui en ont la responsabilité.

4) Mémorisation

La mémorisation permet de constituer la base de cas. Elle s'effectue chaque fois qu'un nouveau cas est résolu. Seuls les cas jugés opportuns sont mémorisés.

La base de cas de RECRÉ se présente sous la forme d'un système de connaissances où les cas sont décomposés et indexés suivant une stratégie de résolution de problème.

C. Méthode de modélisation des connaissances

Les connaissances sont modélisées selon le formalisme initialement développé par le projet SATT [1] et repris par l'outil MDI [6]. Les connaissances y sont représentées à l'aide d'une structure d'idées et de relations. Ce formalisme a

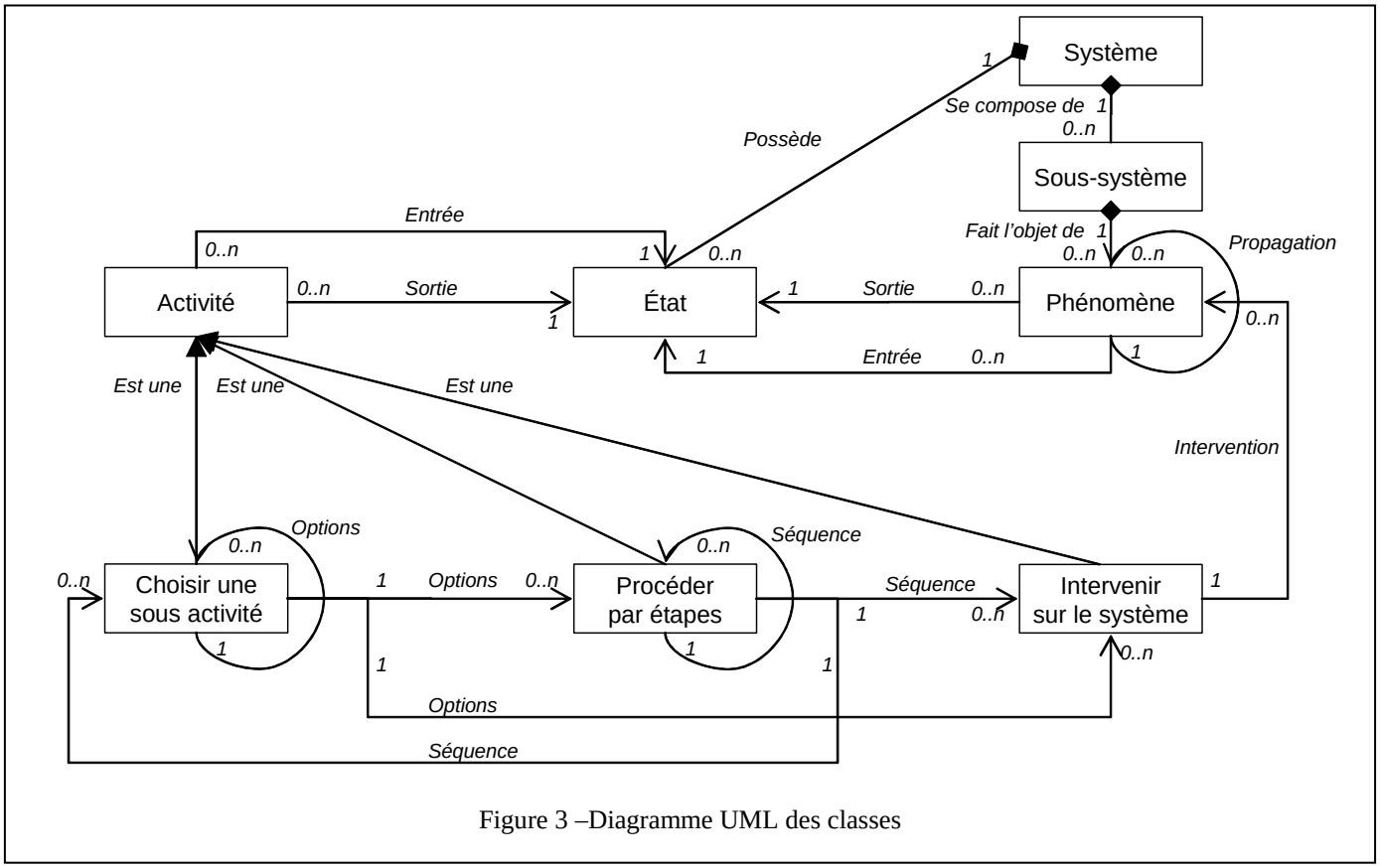

Figure 3 –Diagramme UML des classes

démontré son efficacité dans diverses applications développées à l'Institut de recherche d'Hydro-Québec [4] [5].

Il en résulte un réseau de connaissances rigoureux, cohérent et manipulable. La figure 3 présente un diagramme UML [2] partiel des classes de ce réseau de connaissances. Les classes présentées permettront de décrire la méthode utilisée.

1) Modèle général

Le Système se compose de plusieurs sous-systèmes.

Les Sous-systèmes sont le théâtre de différents phénomènes.

Les États du système sont la combinaison des états des différents sous-systèmes qui le composent.

Les Phénomènes sont déclenchés par un événement survenant sur un sous-système et peuvent se propager à d'autres sous-systèmes, déclenchant ainsi d'autres phénomènes. Chaque phénomène a, à son entrée, un état initial et, à sa sortie, un état final.

Les Activités ont en entrée un état initial et visent à obtenir, en sortie, un état final répondant à un but recherché. On distingue trois classes d'activités :

– Une activité de la classe Choisir une sous activité se présente sous la forme d'une tâche alternative, en ce sens qu'elle peut se réaliser par l'une où l'autre des options qui lui sont associées. Le choix de la meilleure option peut s'effectuer selon un ordre de préférence prédéterminé ou en fonction d'un critère quantitatif basé sur une métrique appropriée.

– Une activité de la classe Procéder par étapes se présente sous la forme d'une tâche séquentielle en ce sens qu'elle comporte une séquence de sous-activités réalisées selon un ordre établi.

– Une activité de la classe Intervenir sur le système se présente sous la forme d'une tâche terminale en ce sens qu'elle ne fait pas appel à des sous-activités et agit elle-même sur le système par une intervention dont le résultat découle des phénomènes qu'elle a déclenchés.

Les activités constituant les options ou les éléments d'une séquence peuvent appartenir à l'une ou l'autre de ces trois classes.

2) Modèle spécifique à la remise en charge

Les connaissances de remise en charge sont modélisées selon une structure macroscopique permettant de définir les activités à réaliser des plus générales aux plus particulières. Cette structure est présentée sous une forme arborescente dont chaque niveau précise le précédent, tel qu'illustré à la figure 1.

Ces niveaux sont définis de la façon suivante :

– *Stratégie de remise en charge* est une activité de la classe *Choisir une sous activité*, permettant de sélectionner l'une des *Partitions en réseaux de base* définies pour le réseau principal en fonction d'un ordre de préférence prédéfini. Ces options constituent l'ensemble des solutions au problème, définies au niveau stratégique.

– *Partition en réseaux de base* est une activité de la classe *Procéder par étapes*, consistant à remettre en charge un

certain nombre de *Réseaux de base à rétablir*, de façon séquentielle.

– *Remise en charge d'un réseau de base* est une activité de la classe *Choisir une sous-activité*, permettant de sélectionner l'un des *Parcours possibles* pour ce réseau de base en fonction d'un ordre de préférence prédéfini. Ces options, définies au niveau électrique, constituent l'ensemble des séquences électriquement valides.

– *Parcours* est une activité de la classe *Procéder par étapes*, constituée d'une *Séquence d'étapes* devant être réalisées pour remettre en charge le réseau de base. Chaque étape permet l'atteinte d'un état du réseau particulier, caractérisé par le rétablissement de certains équipements importants et par son profil de tension. Ainsi, les parcours diffèrent entre eux par les équipements rétablis et par les profils de tension obtenus. Chaque parcours résulte d'une étude du réseau électrique en fonction des équipements rétablis et requiert des choix de réglages permettant l'atteinte d'un profil de tension adéquat.

– *Étape* est une activité de la classe *Choisir une sous activité*, permettant de sélectionner l'une des *Variantes d'étapes possibles* pour la réalisation de l'étape en fonction d'un ordre de préférence prédéfini. Ces options, définies au niveau pratique, permettent de choisir les équipements et les opérations les plus appropriés pour réaliser une étape.

– *Variante d'étape* est une activité de la classe *Procéder par étapes*, constituée d'une *Séquence d'opérations* devant être réalisées. Chaque variante d'étape est électriquement équivalente aux autres variantes de la même étape. Ainsi, les variantes d'étapes diffèrent entre elles par leurs séquences d'opérations. Chaque variante d'étape résulte d'une analyse topologique du réseau et du respect de contraintes issues d'études de comportement transitoire associées à certaines opérations.

– *Opération* est une activité de la classe *Intervenir sur le système*. Elle définit une action à simuler sur le réseau et fixe les critères permettant de juger de son applicabilité, en fonction de l'état de réseau résultant de la simulation. Le responsable de l'opération est identifié et un texte descriptif de l'opération y est associé.

La stratégie de remise en charge du réseau est complétée par un modèle du réseau pour former le système de connaissances de RECRÉ.

IV. Le système RECRÉ

A. Vue d'ensemble

Tel qu'illustré à la figure 4, le système RECRÉ se compose essentiellement de deux logiciels et d'un système de connaissances.

Le premier logiciel est l'*Éditeur de stratégie de REC*. Il permet d'éditer la Stratégie de remise en charge du réseau

Le second logiciel est l'*Assistant Planification*. Ce système à base de connaissances obtient des autres systèmes de l'entreprise la liste des équipements non disponibles afin d'élaborer le problème et utilise le système de connaissances pour se remémorer les solutions applicables. La solution choisie constitue le plan de remise en charge du réseau.

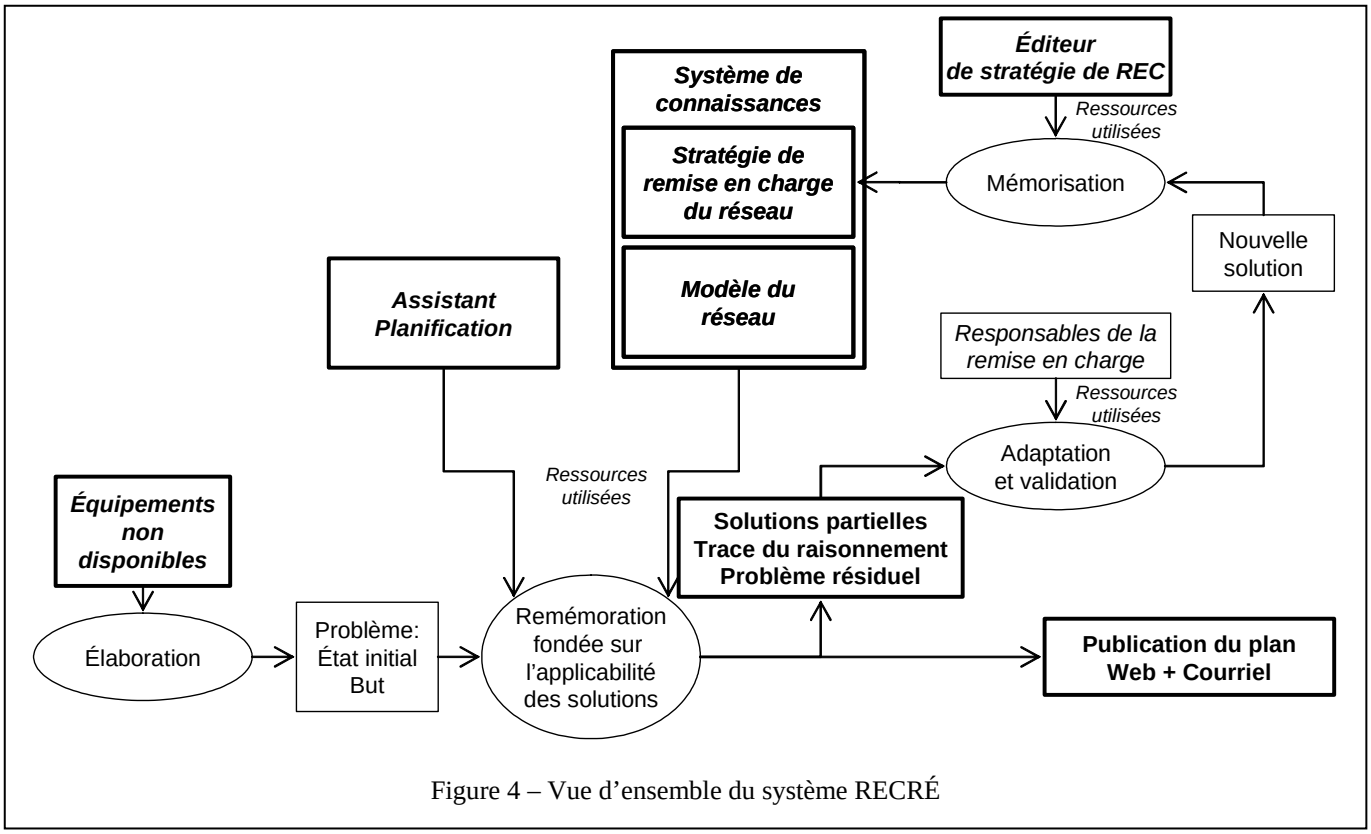

Figure 4 – Vue d'ensemble du système RECRÉ

Celui-ci est publié sur un site web et diffusé par courriel aux intervenants concernés. Les solutions partielles sont documentées par une trace du raisonnement permettant de définir le problème résiduel.

Ces solutions partielles sont adaptées et validées par les responsables de la remise en charge afin de définir de nouvelles solutions qui sont mémorisées dans le système de connaissances à l'aide de l'éditeur de stratégie de REC.

B. Illustration de l'application

1) L'éditeur de stratégie de remise en charge

La stratégie de remise en charge du réseau est encodée dans une base de connaissances à l'aide de l'Éditeur de stratégie de REC. L'éditeur utilisé est l'outil MDI développé à l'IREQ. Cet outil permet une modélisation dynamique des connaissances et son interface graphique a été configurée de manière à répondre aux besoins spécifiques de RECRÉ.

2) L'assistant planification de RECRÉ

La figure 5 présente une vue d'ensemble de l'Assistant planification. Celui-ci est doté des fonctions suivantes :

– *Définir l'étude* : Cette fonction permet, à partir des paramètres décrivant le contexte pour lequel on doit élaborer un plan de remise en charge, de charger dans le système : le modèle du réseau en y définissant l'état initial selon les indisponibilités des équipements; la base de connaissances définissant la stratégie de remise en charge devant être utilisée pour l'étude. Cette fonction utilise un module d'interface permettant l'obtention de ces données provenant des divers serveurs de l'entreprise.

– *Réaliser l'étude* : Cette fonction utilise un moteur d'inférence permettant de balayer, par ordre de préférence, tous les chemins définis dans la stratégie et de vérifier leur applicabilité à l'aide d'un simulateur de rétablissement afin de déterminer l'état résultant de chaque activité étudiée. Ce balayage s'arrête lorsqu'une solution applicable est trouvée ou lorsque toute la stratégie a été étudiée sans qu'une solution applicable n'ait été trouvée. Il en ressort une trace du raisonnement et une trace des états du réseau résultant de chaque activité étudiée. Afin d'éviter de simuler des chemins inutilement, une liste d'équipements prérequis pour l'analyse est définie pour chaque activité, aux différents niveaux de la stratégie. Toute activité dont un équipement pré-requis n'est pas disponible provoque l'échec du chemin et n'a pas besoin d'être analysée plus en détail.

– *Produire le plan* : Cette fonction utilise un Rédacteur virtuel permettant, si une solution a été trouvée, de rédiger le plan de remise en charge à partir de la trace du raisonnement

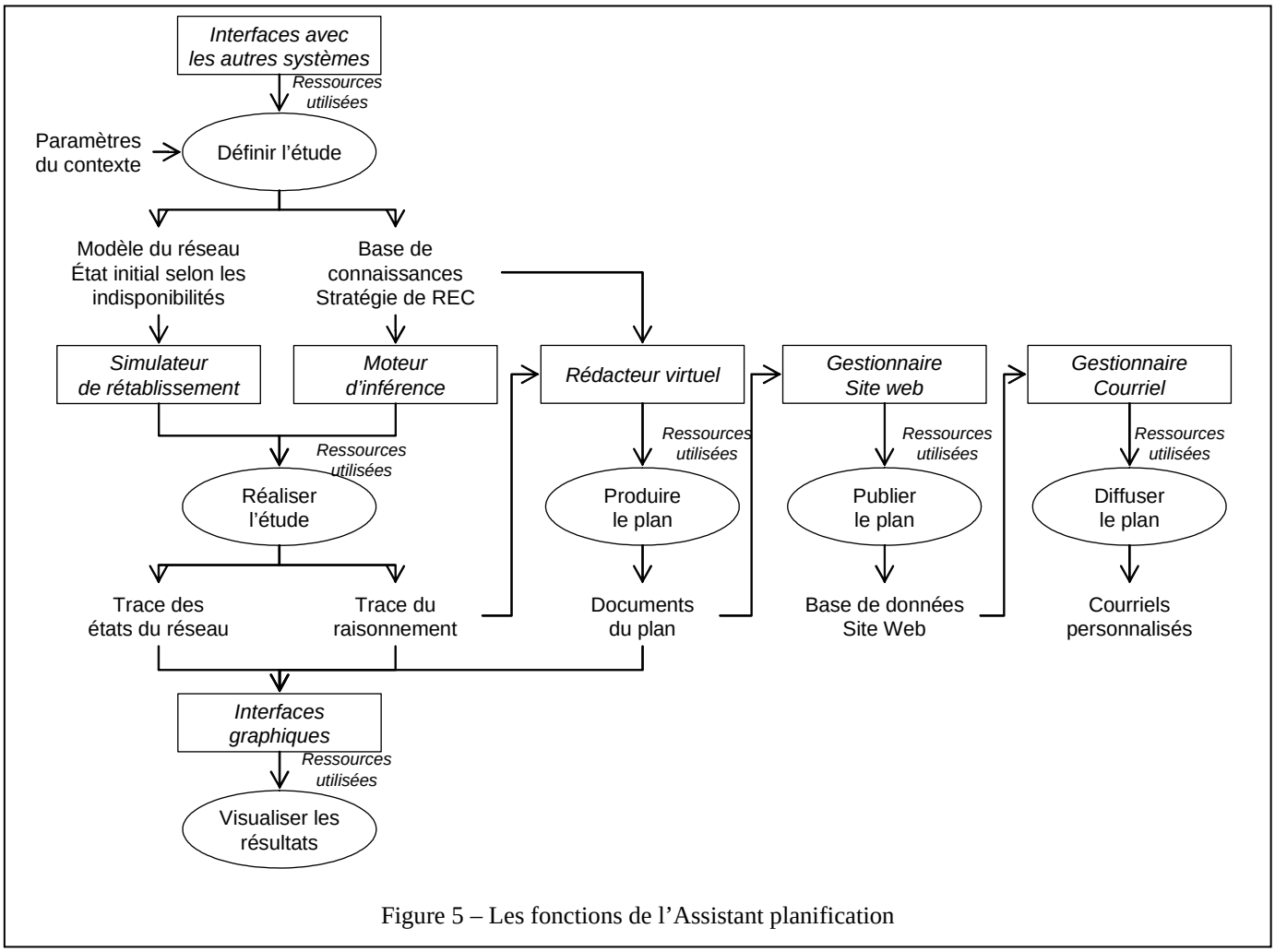

Figure 5 – Les fonctions de l'Assistant planification

et des connaissances de restitution contenues dans la stratégie de remise en charge. Ce plan est constitué d'un document de synthèse décrivant le plan dans son ensemble et de documents personnalisés contenant les instructions particulières destinées à chacun des intervenants lors d'une remise en charge.

– *Visualiser les résultats* : Cette fonction utilise des interfaces graphiques permettant de visualiser les produits de l'étude. La trace du raisonnement est visualisée sous la forme d'un arbre représentant les activités de la stratégie coloriées en fonction de leur applicabilité. La trace des états du réseau fournit l'état du réseau associé à chaque élément de cet arbre. L'état est visualisé sur un schéma à l'échelle du réseau ou à l'échelle d'un poste électrique (voir exemple à la figure 6). Le plan est visualisé sous la forme des documents produits.

– *Publier le plan* : Cette fonction permet de mettre à jour un site web présentant le plan de remise en charge en vigueur et les plans précédents. Tous les documents produits sont conservés dans une base de données. Le site web permet d'obtenir les documents désirés par une consultation de cette base de données.

– *Diffuser le plan* : Cette fonction permet de préparer, pour chaque destinataire concerné par le nouveau plan de remise en charge, un message électronique (courriel) personnalisé lui faisant part des nouvelles mises à jour et contenant les nouveaux documents à utiliser.

V. Conclusion

Le système RECRÉ, tel qu'implanté à Hydro-Québec en 2005, supporte le processus de planification et d'encadrement de la remise en charge du réseau :

– La mise à jour quotidienne du plan de remise en charge s'effectue en utilisant le système RECRÉ qui peut produire en quelques secondes un plan validé et adéquat ainsi que tous les documents nécessaires pour sa diffusion.

– Cette performance n'est possible que si la solution recherchée fait partie de la base de cas. Cependant, étant donné que le système est doté d'une fonction d'étude multiple lui permettant d'étudier en quelques minutes toutes les situations correspondant aux retraits planifiés des semaines à venir, il est possible d'identifier à l'avance les situations non résolues. Ce délai permet généralement l'élaboration de

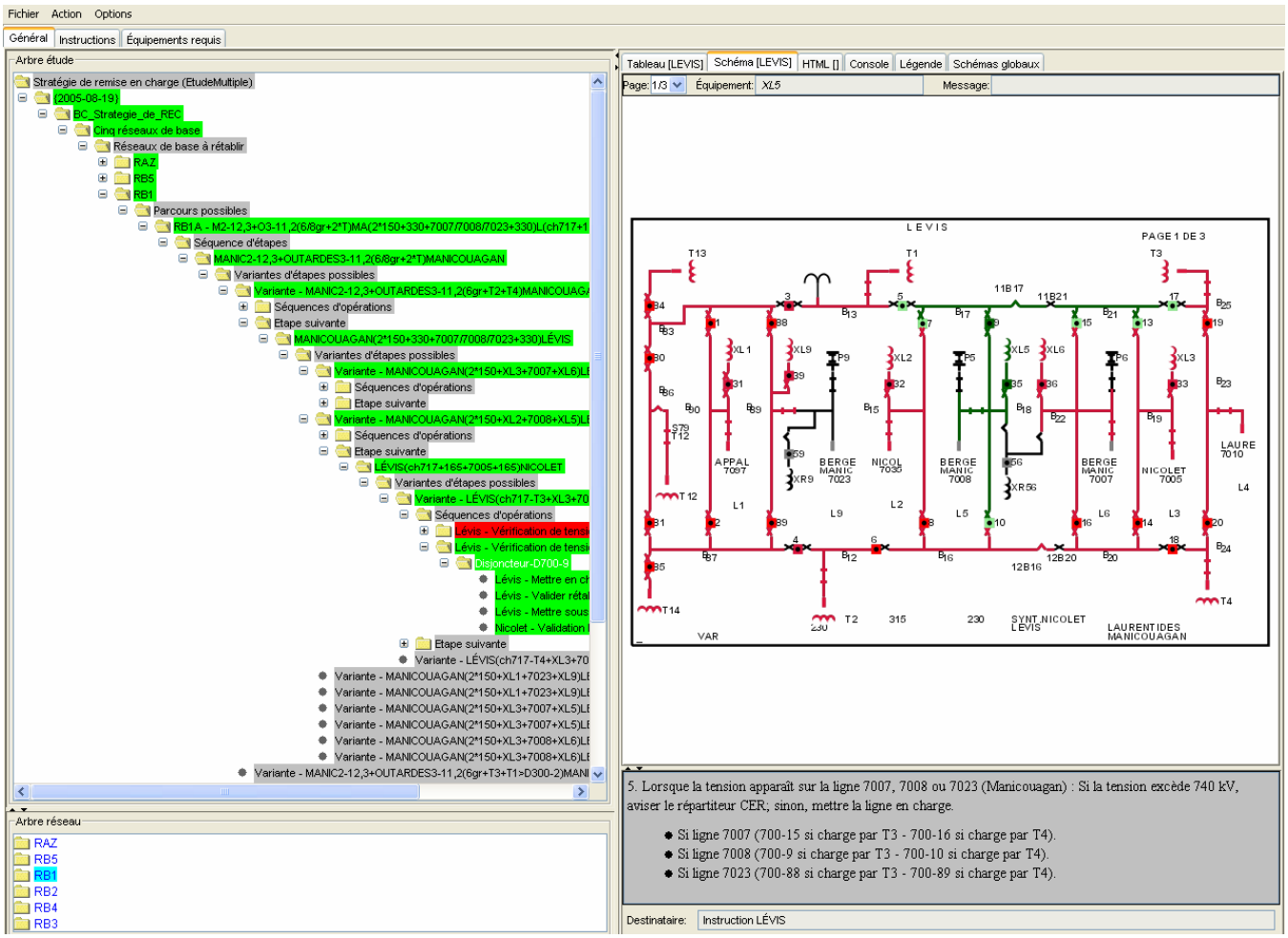

Figure 6 – Visualisation de la trace du raisonnement et de l'état du réseau à l'échelle d'un poste électrique

nouvelles solutions et leur mémorisation dans la base de cas, à temps pour leur utilisation le moment venu.

– La fonction d'étude multiple permet également de valider rapidement le plan annuel des retraits d'équipements pour fins de maintenance.

Il est actuellement envisagé de débuter une seconde phase du projet RECRÉ visant à rendre le système utilisable en temps réel par les exploitants du réseau en situation de panne générale ou en mode formation pour assurer la préparation du personnel responsable dans l'éventualité d'une telle panne. Ce projet comprendrait notamment :

– L'introduction d'une fonction avancée servant à l'adaptation automatique des solutions partielles, lorsque réalisable, et à leur validation en vue d'éviter le délai requis pour l'élaboration de ces solutions et de pouvoir en disposer en temps réel.

– L'introduction d'une approche de mémorisation et de remémoration permettant de disposer d'une stratégie tenant compte des aléas pouvant être rencontrés en cours de remise en charge et nécessitant la modification d'une solution déjà appliquée en partie.

– Le développement d'un environnement de coordination et de suivi pour supporter les activités de remise en charge et permettant l'élaboration en temps réel d'un nouveau problème chaque fois que la solution utilisée n'est plus applicable.

VI. Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Denis Valiquette, Robert St-Arnaud et Luc Vouligny pour leur importante contribution lors de la conception du prototype du système RECRÉ.

VII. Références bibliographiques

Périodiques:

[1] LANGHEIT C., NAGGAR R., ST-ARNAUD R., VOULIGNY L., *Système d'aide au transfert technologique (SATT)*, in Revue U.E. ENSAM 2000 - Knowledge Management, Dunod 2000, pp. 288-299.

Livres:

[2] FOWLER, M., SCOTT, K., *Le tout en poche : UML*, CampusPress, Pearson Education France, 2001.

Articles tirés d'actes de conférences:

[3] FUCHS B., MILLE A., *Une modélisation au niveau connaissance du raisonnement à partir de cas*, Actes de la conférence IC2000, pp. 3-10, N. Aussenac-Gilles Éditeur, Toulouse, mai 2000

[4] NAGGAR R., LANGHEIT C., DALLAIRE J., *Fiord – Knowledge engineering for the evaluation of voltage continuity*, Session 3 – Article 12, CIRED – Barcelona, 2003

[5] NAGGAR R., LANGHEIT C., DALLAIRE J., *Reliability Assessment and Planning for Distribution Systems - A New Global Approach*, DistribuTECH – San Diego 2005. [Online] Available in French: http://archivesic.ccsd.cnrs.fr/sic_00001350.html

[6] VOULIGNY L., NAGGAR R., LANGHEIT C., ST-ARNAUD R., *A Dynamic Development System for Knowledge Applications in Engineering*, Proceedings 8th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, IIIS 2004, Vol. XIV, 207-212

[7] SALEK K., SPANEL U., KROST G., *Flexible Support for Operators in Restoring Bulk Power Systems*, Proceedings CIGRÉ/IEEE PES International Symposium on Quality and security of electric power delivery systems, Montréal, Oct. 2003.

VIII. Biographies

Raouf Naggar est né à Alexandrie, en Égypte. Il détient un baccalauréat en Génie électrique et une maîtrise en Génie industriel de l'*École Polytechnique* à Montréal. Il est au service d'Hydro-Québec depuis 1978. Il y a œuvré dans les domaines de la Planification des réseaux, des Services à la clientèle et de la Recherche et développement. Il est actuellement chercheur et chargé de projets d'innovation à *Hydro-Québec – Institut de recherche (IREQ)*. Ses principaux projets portent sur la Fiabilité des réseaux électriques et sur l'Ingénierie des connaissances. Il est membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec.

Luc Cauchon est né à Maria, au Québec, Canada. Il détient un baccalauréat en Génie informatique et une maîtrise en Génie électrique de l'*Université Laval*. Il est au service d'Hydro-Québec depuis 2002. Il y a œuvré dans le domaine de la Recherche et développement. Il est actuellement chercheur à *Hydro-Québec – Institut de recherche (IREQ)*.

Stéphane Hénault est né au Québec, Canada. Il détient un diplôme d'étude collégial en instrumentation et contrôle. Il est au service d'Hydro-Québec depuis 1991. Il y a œuvré dans les domaines de l'encadrement technique de l'exploitation du réseau et de l'entretien des protections et automatismes du réseau. Il est actuellement chargé du plan de remise en charge du réseau à *Hydro-Québec*. Le projet RECRÉ est son premier projet d'envergure.

Si Truc Phan est né à Saigon, au Vietnam. Il détient un baccalauréat en Génie électrique de l'*École de Technologie Supérieure* à Montréal. Il est au service d'Hydro-Québec depuis 1992. Il est actuellement en planification du réseau de transport et premier répondant sur le support à la remise en charge de réseau à l'unité *Capacité et Stratégies du réseau principal* à *TransÉnergie* (Hydro-Québec)