



**HAL**  
open science

# Systeme expert d'aide à la reprise de service d'un réseau électrique après un incident généralisé

Minh Ngo Quang

► **To cite this version:**

Minh Ngo Quang. Systeme expert d'aide à la reprise de service d'un réseau électrique après un incident généralisé. Energie électrique. Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG), 1994. Français. NNT: . tel-02536943

**HAL Id: tel-02536943**

**<https://hal.science/tel-02536943>**

Submitted on 8 Apr 2020

**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.

# THESE

présentée par

**NGO QUANG Minh**

Ingénieur de l'Institut National Polytechnique de Hanoï

pour obtenir le titre de DOCTEUR  
de L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE

*(Arrêté ministériel du 30 mars 1992)*

(Spécialité: génie électrique)

=====

**SYSTEME EXPERT D'AIDE  
A LA REPRISE DE SERVICE D'UN RESEAU ELECTRIQUE  
APRES UN INCIDENT GENERALISE**

=====

Date de soutenance : 23 Novembre 1994

Composition du Jury :

Monsieur	J.L. COULOMB	Président du Jury
Messieurs	P. AURIOL	Rapporteur
	J.F. MICHON	Rapporteur
	P. PRUVOT	
	J. BIGEON	
	J. FANDINO	

Thèse préparée au sein du Laboratoire d'Electrotechnique de GRENOBLE



**PRESIDENT DE L'INSTITUT**  
**Monsieur Maurice RENAUD**



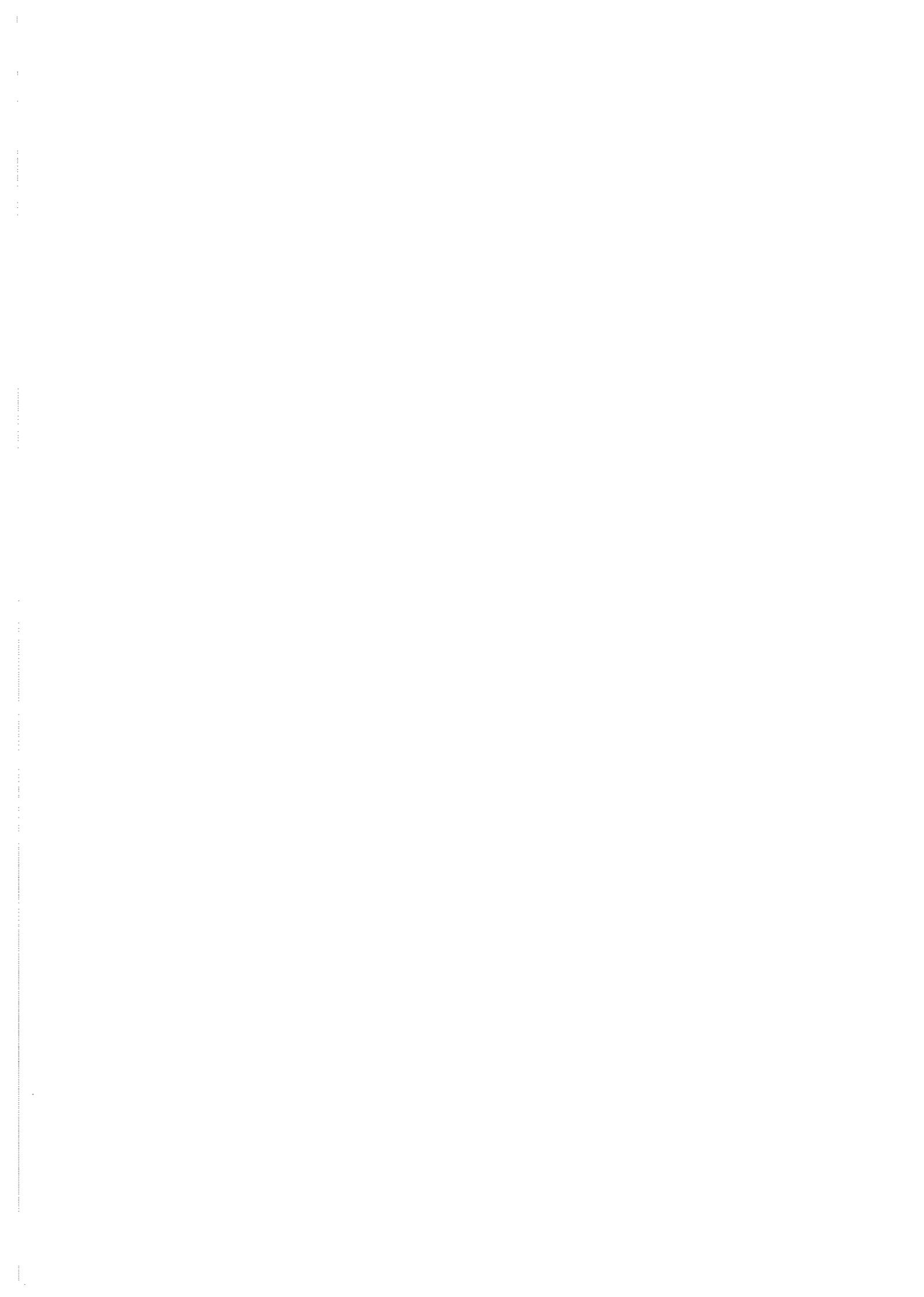
Année 1994

**PROFESSEURS DES UNIVERSITES**

BARIBAUD	Michel	ENSERG
BARRAUD	Alain	ENSIEG
BARTHELEMY	Alain	ENSHMG
BAUDELET	Bernard	ENSPG
BAUDIN	Gérard	UFR PGP
BEUFILS	Jean-Pierre	ENSIEG/ILL
BOIS	Philippe	ENSHMG
BOUVIER	Gérard	ENSERG
BRINI	Jean	ENSERG
BRUNET	Yves	CUEFA
CAVAIGNAC	Jean-François	ENSPG
CHARTIER	Germain	ENSPG
CHENEVIER	Pierre	ENSERG
CHERUY	Arlette	ENSIEG
CHOVET	Alain	ENSERG
COGNET	Gérard	ENSGI
COLINET	Catherine	ENSEEG
COMMAULT	Christian	ENSIEG
CORNUT	Bruno	ENSIEG
COULOMB	Jean-Louis	ENSIEG
COUTRIS	Nicole	ENSPG
CROWLEY	James	ENSIMAG
DALARD	Francis	ENSEEG
DARVE	Félix	ENSHMG
DELLA DORA	Jean	ENSIMAG
DEPEY	Maurice	ENSERG
DEPORTES	Jacques	ENSPG
DEROO	Daniel	ENSEEG
DESRE	Pierre	ENSEEG
DIARD	Jean-Paul	ENSEEG
DOLMAZON	Jean-Marc	ENSERG

DURAND	Francis	ENSEEG
DURAND	Jean-Louis	ENSPG
FAUTRELLE	Yves	ENSHMG
FOGGIA	Albert	ENSIEG
FORAY	Pierre	ENSHMG
FOULARD	Claude	ENSIEG
GALERIE	Alain	ENSEEG
GANDINI	Alessandro	UFR/PGP
GAUBERT	Claude	ENSPG
GENTIL	Pierre	ENSERG
GENTIL	Sylviane	ENSIEG
GUERIN	Bernard	ENSERG
GUYOT	Pierre	ENSEEG
IVANES	Marcel	ENSIEG
JACQUET	Paul	ENSIMAG
JALLUT	Christian	ENSEEG
JANOT	Marie-Thérese	ENSERG
JAULENT	Patrick	ENSGI
JAUSSAUD	Pierre	ENSIEG
JOST	Rémy	ENSPG
JOUBERT	Jean-Claude	ENSPG
JOURDAIN	Geneviève	ENSIEG
KUENY	Jean-Louis	ENSHMG
LACHENAL	Dominique	UFR PGP
LACOUME	Jean-Louis	ENSIEG
LADET	Pierre	ENSIEG
LE NEST	Jean-François	UFR/PGP
LESIEUR	Marcel	ENSHMG
LESPINARD	Georges	ENSHMG
LIENARD	Joël	ENSIEG
LONGEQUEUE	Jean-Pierre	ENSPG
LORET	Benjamin	ENSHMG
LOUCHET	François	ENSEEG
LUCAZEAU	Guy	ENSEEG
LUX	Augustin	ENSIMAG
MASSE	Philippe	ENSPG
MASSELOT	Christian	ENSIEG
MAZARE	Guy	ENSIMAG
MICHEL	Gérard	ENSIMAG
MOHR	Roger	ENSIMAG

MOREAU	René	ENSHMG
MORET	Roger	ENSIEG
MOSSIERE	Jacques	ENSIMAG
OBLED	Charles	ENSHMG
OZIL	Patrick	ENSEEG
PANANAKAKIS	Georges	ENSERG
PAULEAU	Yves	ENSEEG
PERRET	Robert	ENSIEG
PERRIER	Pascal	ENSERG
PIAU	Jean-Michel	ENSHMG
PIC	Etienne	ENSERG
PLATEAU	Brigitte	ENSIMAG
POUPOT	Christian	ENSERG
RAMEAU	Jean-Jacques	ENSEEG
REINISCH	Raymond	ENSPG
RENAUD	Maurice	UFR/PGP
RIMET	Roger	ENSERG
ROBERT	François	ENSIMAG
ROGNON	Jean-Pierre	ENSIEG
ROSSIGNOL	Michel	ENSPG
ROYE	Daniel	ENSIEG
SABONNADIERE	Jean-Claude	ENSIEG
SAGUET	Pierre	ENSERG
SAUCIER	Gabriéle	ENSIMAG
SCHLENKER	Claire	ENSPG
SCHLENKER	Michel	ENSPG
SILVY	Jacques	UFR/PGP
SOHM	Jean-Claude	ENSEEG
SOLER	Jean-Louis	ENSIMAG
SOUQUET	Jean-Louis	ENSEEG
TICHKIEWITCH	Serge	ENSHMG
TROMPETTE	Philippe	ENSHMG
TRYSTRAM	Denis	ENSGI
VEILLON	Gérard	ENSIMAG
VERJUS	Jean-Pierre	ENSIMAG
VINCENT	Henri	ENSPG



SITUATION PARTICULIERE  
PROFESSEURS D'UNIVERSITE

DETACHEMENT

<del>BLOCH</del>	<del>Daniel</del>	<del>ENSPG</del>
BONNET	Guy	ENSPG
BRECHET	Yves	ENSEEG
CAILLERIE	Denis	ENSHMG
GREVEN	Hélène	CUEFA
LATOMBE	Jean-Claude	ENSIMAG
PIERRARD	Jean-Marie	ENSHMG



## DIRECTEURS DE RECHERCHE CNRS

ABELLO	Louis
ALDEBERT	Pierre
ALEMANY	Antoine
ALLIBERT	Colette
ALLIBERT	Michel
ANSARA	Ibrahim
ARMAND	Michel
AUDIER	Marc
AUGOYARD	Jean-François
AVIGNON	Michel
BERNARD	Claude
BINDER	Gilbert
BLAISING	Jean-Jacques
BONNET	Roland
BORNARD	Guy
BOUCHERLE	Jean-Xavier
CAILLET	Marcel
CARRE	René
CHASSERY	Jean-Marc
CHATILLON	Christian
CIBERT	Joël
CLERMONT	Jean-Robert
COURTOIS	Bernard
CRIQUI	Patrick
CRISTOLOVEANU	Sorin
DAVID	René
DION	Jean-Michel
DOUSSIERE	Jacques
DRIOLE	Jean
DUCHET	Pierre
DUGARD	Luc
DURAND	Robert
ESCUDIER	Pierre
EUSTATHOPOULOS	Nicolas
FINON	Dominique
FRUCHARD	Robert

GARNIER	Marcel
GIROD	Jacques
GLANGEAUD	François
GUELIN	Pierre
HOPFINGER	Emil
JORRAND	Philippe
JOUD	Jean-Charles
KAMARINOS	Georges
KLEITZ	Michel
KOFMAN	Walter
LACROIX	Claudine
LANDAU	Ioan
LAULHERE	Jean-Pierre
LEGRAND	Michel
LEJEUNE	Gérard
LEPROVOST	Christian
MADAR	Roland
MARTIN	Jean-Marie
MERMET	Jean
MEUNIER	Gérard
MICHEL	Jean-Marie
NAYROLLES	Bernard
PASTUREL	Alain
PEUZIN	Jean-Claude
PHAM	Antoine
PIAU	Monique
PIQUE	Jean-Paul
POINSIGNON	Christiane
PREJEAN	Jean-Jacques
RENOUARD	Dominique
SENATEUR	Jean-Pierre
SIFAKIS	Joseph
SIMON	Jean-Paul
SUERY	Michel
TEODOSIU	Christian
VACHAUD	Georges
VAUCLIN	Michel
WACK	Bernard
YAVARI	Ali-Reza
YONNET	Jean-Paul

**PERSONNES AYANT OBTENU LE DIPLOME**  
**D'HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES**

BALESTRA	Francis
BALME	Louis
BECKER	Monique
BENECH	Pierre
BIGEON	Jean
BINDER	Zdeneck
BOE	Louis-Jean
BRECHET	Yves
CABANEL	Régis
CABON	Béatrice
CADOZ	Claude
CANUDAS DE WIT	Carlos
CHAMPENOIS	Gérard
CHOLLET	Jean-Pierre
COEY	Jean-Pierre
CORNUEJOLS	Gerard
COURNIL	Michel
CRASTES DE PAULET	Michel
DALLERY	Yves
DESCOTES-GENON	Bernard
DUGARD	Luc
DURAND	Madeleine
FERRIEUX	Jean-Paul
FEUILLET	René
FORAY	Pierre
FREIN	Yannick
GAGNOUD	Annie
GAUTHIER	Jean-Paul
GHIBAUDO	Gérard
GRANGEAT	Pierre
GUILLEMOT	Nadine
GUYOT	Alain
HAMAR	Sylviane
HAMAR	Roger
HORAUD	Patrice

JACQUET	Paul
KEVORKIAN	Antoine
LATOMBE	Claudine
LE HUY	Hoang
LE GORREC	Bernard
LOZANO-LEAL	Rogelio
MACOVSKI	Mihaïl
MAHEY	Philippe
METAIS	Olivier
MONMUSSON-PICQ	Georgette
MORY	Mathieu
MULLER	Jean
MULLER	Jean-Michel
NGUYEN TRONG	Bernadette
NIEZ	Jean-Jacques
PERRIER	Pascal
PETRIN	Jocelyne
PLA	Fernand
RAUCH	Edgar
RECHENMANN	François
RIVEILL	Michel
ROGNON	Jean-Pierre
ROUGER	Jean
ROUX	Jean-Claude
SKOTNICKI	Tomasz
TCHUENT	Maurice
THOMAS	Olivier
TIXADOR	Pascal
VAHLAS	Constantin
VALETTE	Serge
VERGER-GAUDRY	Jean-Louis

**PERSONNES AYANT OBTENU LE DIPLOME  
DE DOCTEUR D'ETAT INPG**

<del>ABDEL</del> -RAZEK	Adel
AKSAS	Haris
ALLA	Hassane
AMER	Ahmed
ANCELLE	Bernard
ANGENIEUX	Gilbert
ATMANI	Hamid
AYEDI	Hassine Feri
A.BADR	Osman
BACHIR	Aziz
BALANZAT	Emmanuel
BALTER	Roland
BARDEL	Robert
BARRAL	Gérard
BAUDON	Yves
BAUSSAND	Patrick
BEAUX	Jacques
BEGUINOT	Jean
BELLISSANT	Marie-Claire
BELLON	Catherine
BEN RAIS	Abdejettah
BERGER-SABBATEL	Gilles
BERNACHE-ASSOLANT	Didier
BEROVAL	Abderrahmane
BERTHOD	Jacques
BILLARD	Dominique
BLANC	Mireille
BOCHU	Bernard
BOJO	Gilles
BOKSENBAUM	Claude
BOLOPION	Alain
BONNARD	Bernard
BORRIONE	Dominique
BOUCHACOURT	Michel
BRION	Bernard
CAIRE	Jean-Pierre

CAMEL	Denis
CAPERAN	Philippe
CAPLAIN	Michel
CAPOLINO	Gérard
CASPI	Paul
CHAN-TUNG	Nam
CHASSANDE	Jean-Pierre
CHATAIN	Dominique
CHEHIKIAN	Alain
CHERUY	Marie-Noëlle
CHIRAMELLA	Yves
CHILO	Jean
CHUPIN	Jean-Claude
COLONNA	Jean-François
COMITI	Jacques
CORDET	Christian
COUDURIER	Lucien
COUTAZ	Jean-Louis
CREUTIN	Jean-Dominique
DAO	Trongtich
DARONDEAU	Philippe
DAVID	Bertrand
DE LA SEN	Manuel
DELACHAUME	Jean-Claude
DENAT	André
DIJON	Jean
DOREMUS	Pierre
DUPEUX	Michel
EL ADHAM	Karim
EL OMAR	Fovaz
EL-HENNAWY	Adel
ETAY	Jacqueline
FABRE	Suzanne
FAURE-BONTE	Mireille
FAVIER	Denis
FAVIER	Jean-Jacques
FELIACHI	Movloud
FERYAL	Haj Hassan
FLANDRIN	Patrick
FOREST	Bernard

FORESTIER	Michel
FOSTER	Panayolis
FRANC	Jean-Pierre
GADELLE	Patrice
GARDAN	Yvon
GENIN	Jacques
GERVASON	Georges
GILORMINI	Pierre
GINOUX	Jean-Louis
GOUMIRI	Louis
GROC	Bernard
GROSJEAN	André
GUEDON	Jean-Yves
GUERIN	Jean-Claude
GUESSOUS	Anas
GUIBOUD-RIBAUD	Serge
HALBWACHS	Nicolas
HAMMOURI	Hassan
HEDEIROS SILIVEIR	Hamilton
HERAULT	Jeanny
HONER	Claude
HUECKEL	Tomasz
IGNAT	Michel
ILIADIS	Athanasios
JANIN	Gérard
JERRAYA	Ahmed Amine
JUTTEN	Christian
KAHIL	Hassan
KHUONGQUANG	Dong
KILLIS	Andreas
KONE	Ali
LABEAU	Michel
LACAZE	Alain
LACROIX	Jean-Claude
LANG	Jean-Claude
LATHUILLERE	Chantal
LATY	Pierre
LAUGIER	Christian
LE CADRE	Jean-Pierre
LE GARDEVV	René

LE THIESSE	Jean-Claude
LEMAIGNAN	Clement
LEMUET	Daniel
LEVEQUE	Jean-Luc
LONDICHE	Henry
L'HERITIER	Philippe
MAGNIN	Thierry
MAISON	François
MAMWI	Abdullah
MANTEL épouse	Elisabeth
SIEBERT	
MARCON	Guy
MARTINEZ	Francis
MARTIN-GARIN	Lionel
MASSE	Dominique
MAZER	Emmanuel
MERCKEL	Gérard
MEUNIER	Jean
MILI	Ali
MOALLA	Mohamed
MODE	Jean-Michel
MONLLOR	Christian
MONTELLA	Claude
MORET	Frédéric
MRAYATI	Mohammed
M'SAAD	Mohammed
M'SIRDI	Kouider Nace
NEPOMIASTCHY	Pierre
NGUYEN	Trong Khoi
NGUYEN-XUAN-DANG	Michel
ORANIER	Bernard
ORTEGA MARTINEZ	Roméo
PAIDASSI	Serge
PASSERONE	Alberto
PEGON	Pierre
PIJOLAT	Christophe
POGGI	Yves
POIGNET	Jean-Claude
PONS	Michel
POU	Tong Eck

RAFINEJAD	Paiviz
RAGAIE	Harie Fikri
RAHAL	Salah
RAMA SEABRA	Fernando
SANTOS	
RAVAINE	Denis
RAZBAN-HAGHIGHI	Tchanguiz
RAZZOUK	Micham
REGAZZONI	Gilles
RIQUET	Jean-Pierre
ROBACH	Chantal
ROBERT	Yves
ROGEZ	Jacques
ROHMER	Jean
ROUSSEL	Claude
SAAD	Abdallah
SAAD	Youcef
SABRY	Mohamed Nabi
SALON	Marie-Christine
SAUBAT épouse	Bernadette
MARCUS	
SCHMITT	Jean-Hubert
SCHOELLKOPF	Jean-Pierre
SCHOLL	Michel
SCHOLL	Pierre-Claude
SCHOULER	Edmond
SCHWARTZ	Jean-Luc
SEGUIN	Jean
SIWY	Jacques
SKALLI	Abdellatif
SKALLI HOUSSEYNI	Abdelali
SOUCHON	Alain
SUETRY	Jean
TALLAJ	Nizar
TEDJAR	Farouk
TEDJINI	Smail
TEYSSANDIER	Francis
THEVENODFOSSE	Pascale
TMAR	Mohamed
TRIOLLIER	Michel

TUFFELIT	Denis
TZIRITAS	Georges
VALLIN	Didier
VELAZCO	Raoul
VERDILLON	André
VERMANDE	Alain
VIKTOROVITCH	Pierre
VITRANT	Guy
WEISS	François
YAZAMI	Rachid

## REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer mes remerciements à :

- \* Monsieur Jean Louis COULOMB, Professeur à l'Institut National Polytechnique de Grenoble qui m'a fait l'honneur de présider le jury de cette thèse.
- \* Monsieur Philippe AURIOL, Professeur à l'École Centrale de Lyon, pour l'intérêt qu'il a manifesté en m'honorant par sa présence dans le jury et en acceptant d'être l'un des rapporteurs.
- \* Monsieur Jean Francis MICHON, Professeur au département informatique de l'Université de Rouen, Faculté des sciences pour s'être intéressé à mon travail et avoir accepté d'être rapporteur de cette thèse.
- \* Monsieur Patrice PRUVOT, ingénieur de la direction des études et recherches d'électricité de France, pour l'honneur qu'il m'a fait d'être l'un des membres de mon jury de thèse.
- \* Monsieur Jean BIGEON, chargé de recherche du CNRS au LEG, pour m'a confié ce sujet, et pour tous les conseils et encouragement qu'il m'a prodigués.
- \* Monsieur Jaime FANDINO, Maître de conférences à L'INPG qui a bien voulu co-encadrer cette thèse, et qui m'a constamment guidé tout au long de ce travail sans ménager ses efforts, ses conseils, et ses encouragements.

Mes remerciements vont aussi à :

- \* Monsieur Jean Claude SABONNADIÈRE, Professeur à l'INPG et directeur du LEG, pour m'avoir pris dans son laboratoire.
- \* L'ensemble des chercheurs, ingénieurs, techniciens et personnel administratif du laboratoire et particulièrement à M.T LOUBINOUX, T. BUI SI, P. GUILLOT, E. CALLEGHER pour l'aide qu'ils m'ont apportée.
- \* Eric ESCANDE, Florence FRANÇOIS, Eric CHOTIN, A. BOLOPION, N. Hadjsaid pour la relecture des manuscrits de ce mémoire.

\* Je tiens à remercier particulièrement à E. CHOTIN, E. ESCANDE, Régis DARNAULD, F. FRANÇOIS, S. AHRENS pour les nombreuses discussions que nous avons eues et pour leur amitié. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère amitié.

\* Finalement, je remercie le gouvernement Français qui a favorisé mon séjour en France en m'accordant une bourse.

## TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I.....</b>	<b>3</b>
<b>PRESENTATION DU PROBLEME.....</b>	<b>3</b>
Introduction .....	3
I.1. Réseau de transport d'énergie et états de fonctionnement. ....	3
I.2. Exemples d'incidents. ....	4
1. Incident du 13 Juillet 1977 à New York [WIN].....	5
2. Incident du 19 Décembre 1978 sur le réseau français.[CHE].....	5
3. Incident du 12 Janvier 1987 sur le réseau français [HAR].....	6
I.3. Incident généralisé et reprise de service.....	7
I.4. Diversité des stratégies pour la reprise de service .....	7
I.5. Caractéristiques du problème et approche système expert.....	11
I.6. Quelques problèmes dans le développement d'un système d'aide à la reconstitution.....	13
I.7. Objectifs du prototype. ....	17
<b>CHAPITRE II.....</b>	<b>19</b>
<b>LE RESEAU FRANÇAIS ET LES DOCTRINES DE REPRISE DE SERVICE DE EDF.....</b>	<b>19</b>
Introduction. ....	19
II.1 Spécificité du réseau français et plan de défense.....	19
II.2 Doctrine actuelle de la reconstitution du réseau .....	20
II.3 Limitations et améliorations de la doctrine actuelle .....	22
II.3.1 Limitations de la doctrine actuelle.....	22
II.3.2 Les voies d'amélioration. ....	22
II.4 Premier système expert de reprise de service [DAR-91].....	23
II.5 Une autre stratégie possible: les ossatures.....	26
II.6 Nouvelles hypothèses retenues pour constituer les ossatures.....	28
II.7 Conclusion. ....	29
<b>CHAPITRE III.....</b>	<b>31</b>
<b>SYSTEME A BASE DE CONNAISSANCES ET MODELE BLACKBOARD.....</b>	<b>31</b>
Introduction .....	31

III.1 Architecture d'un système à base de connaissance.....	32
III.2 Modèle blackboard.....	33
<b>CHAPITRE IV .....</b>	<b>43</b>
<b>IMPLANTATION DES STRATÉGIES DE REPRISE DE SERVICES SUR</b>	
<b>UN BLACKBOARD.....</b>	<b>43</b>
Introduction .....	43
IV.1 Représentation des connaissances factuelles: modèle objets.....	44
IV.1.1 Rappel sur les modèle objets .....	44
IV.1.2 Décomposition du réseau .....	45
IV.1.3 Comportements du réseau: les méthodes.....	47
IV.2 Représentation de connaissances déductives.....	50
IV.2.1 Règles et source de connaissances.....	51
IV.2.2 Décomposition de connaissances pour la reprise de service.....	52
IV.3 Représentation des connaissances stratégiques.....	56
IV.3.1 Stratégie avec zones .....	57
IV.3.2 Reconstruction des ossatures régionales.....	68
IV.3.3 Reconstruction des ossatures régionales avec nouvelles	
hypothèses.....	70
IV.4 Conclusion .....	72
<b>CHAPITRE V.....</b>	<b>75</b>
<b>INTERVENTIONS DE L'OPÉRATEUR DANS LA RÉOLUTION ET</b>	
<b>INTERFACE UTILISATEUR.....</b>	<b>75</b>
Introduction.....	75
V.1 Intervention de l'opérateur.....	76
V.2 Interface graphique.....	79
V.3 Conclusion .....	81
<b>CHAPITRE VI.....</b>	<b>83</b>
<b>RESULTATS DES SIMULATIONS SUR LE RESEAU FRANÇAIS.....</b>	<b>83</b>
Introduction .....	83
VI.1 Méthodologie de calcul de temps et scénarios joués pour la	
simulation.....	83
VI.2 Simulation de la stratégie par zones .....	85
VI.3 Simulation de la stratégie par ossatures régionales.....	86
VI.4 Simulation de la stratégie par ossatures régionales avec les nouvelles	
hypothèses.....	88

VI.5 Simulation de la stratégie par ossatures régionales avec le critère de temps.....	89
VI.6 Conclusion.....	89
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>93</b>
<b>ANNEXE A: DELAI DES OPERATIONS ELEMENTAIRES.....</b>	<b>95</b>
<b>ANNEXE B: TABLEAUX DES RESULTATS DE LA SIMULATION.....</b>	<b>97</b>
<b>ANNEXE C: SYNTHESE DE CERTAINS CONCEPTS CONCERNANT LE MODELE BLACKBOARD .....</b>	<b>115</b>
<b>ANNEXE D: BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>119</b>



# Introduction



## INTRODUCTION

Une bonne qualité ainsi qu'une grande fiabilité sont les principales exigences du consommateur d'énergie électrique. Aujourd'hui, avec les progrès de la technique, chaque élément de ce réseau est muni d'automatismes et de réglages, qui assurent la protection et la sauvegarde de son intégrité. Et pourtant le cas où le réseau se trouve en panne n'est pas toujours évité. A la suite de défauts sur le réseau, l'enchaînement des protections peut entraîner la mise hors tension d'une partie ou de la totalité du réseau.

Dans ces situations difficiles, les opérateurs doivent, à partir d'un grand nombre d'informations, prendre des décisions lourdes de conséquences. Le processus de reprise de service amène à considérer le réseau sous des aspects inhabituels, pour lesquels il n'est pas prévu de fonctionner. Les doctrines de reprise de service laissent une grande liberté de choix à l'opérateur, qui doit, pour prendre des décisions, faire appel à son expérience de la conduite normale. Dans ce contexte, un système d'assistance par ordinateur, afin de guider l'opérateur dans sa prise de décision, est un atout.

L'approche système expert s'avère très adaptée pour cette tâche.

Un premier prototype avait été développé dans notre laboratoire. Il avait montré la faisabilité d'un système expert d'aide à la reprise de services, à travers l'implantation d'une stratégie de reprise de service. Cependant, l'utilisation de ce système pour la simulation de différentes stratégies de reprise de service de même que la possibilité pour l'opérateur d'intervenir dans la résolution s'étaient heurtés à d'importantes difficultés. Le système n'avait pas la souplesse suffisante pour permettre l'implantation ou la modification aisée d'une stratégie, et ne permettait pas les interventions de l'utilisateur.

Une analyse du problème de reprise de services et de ses caractéristiques nous a conduit à appliquer pour ce problème le modèle Blackboard. L'avantage d'un tel modèle réside dans sa souplesse, son évolutivité, et sa facilité de maintenance. Cela est principalement dû à sa possibilité la séparation des trois types de connaissances :

-*les données*, c'est à dire les composants du réseau aussi bien que les liaisons entre eux et les comportements physiques, sont décrits par une représentation orientée objets. La représentation orientée objets compense la faiblesse du mode de représentation par règles de production (utilisées pour les expertises) qui est mal adapté à la description complète

---

d'un univers d'application, du fait de son pouvoir de structuration assez faible. Le couplage entre ces deux modes de représentation nous donne un outil puissant.

- *les expertises* ou encore le savoir-faire, qui sont représentées sous forme de règles de productions. Dans le modèle blackboard, elles sont regroupées pour former des sources de connaissances (SdC) dont chacune a un rôle spécifique et peut être développée indépendamment des autres.

- *la stratégie* pour la résolution du problème.

Dans ce travail nous allons décrire l'implantation de trois stratégies de reprise de service. La première stratégie dite "par zones" nécessitera la création de certains SdC. Ces SdC seront ensuite réutilisées tant que des briques de base pour l'implantation de deux autres stratégies.

La deuxième dite "par ossatures régionales" est inspirée d'un développement réalisé par EDF il y a quelques années.

La troisième stratégie est une modification de la deuxième, à la quelle on ajoute quelques nouvelles hypothèses pendant la reprise de services. Ces hypothèses permettent de raccourcir certains processus et par conséquent de réduire le temps nécessaire à la reprise de service.

Ces implantations vont illustrer l'intérêt du modèle blackboard, notamment sa souplesse et son évolutivité. Elles justifieront aussi la stratégie retenue actuellement par EDF. Bien que non développé dans ce travail, cette structure facilite le développement d'un système d'explication du raisonnement.

La possibilité d'intervention de l'opérateur pendant la résolution du problème de reprise de service du réseau sera considéré dans notre système comme un objectif important. L'opérateur doit pouvoir intervenir sur plusieurs niveaux: stratégiques, tactiques et manoeuvres élémentaires. Nous verrons que le modèle blackboard facilite énormément cette intervention en considérant l'opérateur comme une des SdC du système.

L'interface graphique joue un rôle important pour la bonne communication entre l'utilisateur et le système. A travers cette interface, l'opérateur doit pouvoir intervenir dans la résolution du problème en manipulant directement les objets représentés par les images sur l'écran.

# Chapitre I

## présentation du problème



## **CHAPITRE I**

### **PRESENTATION DU PROBLEME**

#### **INTRODUCTION**

Dans ce premier chapitre, nous présentons le problème de reconstitution du réseau à travers un aperçu rapide des études menées sur ce problème pendant ces dernières années. La diversité des stratégies pour la reprise de service et les caractéristiques difficiles du problème nous ont conduit à fixer des objectifs et à choisir l'approche système à base de connaissance et particulièrement le modèle Blackboard.

#### **I.1. RÉSEAU DE TRANSPORT D'ÉNERGIE ET ÉTATS DE FONCTIONNEMENT.**

Comme tout produit industriel, l'énergie électrique doit traverser différents maillons depuis le centre de production jusqu'au consommateur final. A la différence des autres produits, la principale contrainte d'un distributeur d'énergie électrique est d'assurer, à chaque instant, l'équilibre entre la production et la consommation. Dans la plupart de cas, les centres de production se trouvent éloignés des centres de consommation qu'ils soient regroupés ou répartis géographiquement. Le rôle du maillon de transport et d'interconnexion est d'assurer le transport de l'énergie depuis les centres de production jusqu'à proximité des centres de consommation où elle sera répartie, puis distribuée. La mise en commun des moyens de production par les lignes de transport et d'interconnexion permet d'assurer un meilleur maintien de l'équilibre entre la production et la consommation.

Avec l'accroissement de la demande d'énergie, de la qualité et de la fiabilité, ces réseaux sont devenus de plus en plus élaborés et complexes.

Les systèmes de production, de transport et de distribution d'électricité des pays industrialisés sont planifiés, exploités et protégés de façon à supporter, sans dommage pour la clientèle, les aléas pouvant les affecter le plus couramment (court-circuit, déclenchement d'une ligne ou d'un groupe...). Toutefois, le respect des règles préventives de sécurité, ne met pas le système totalement à l'abri d'effondrements

majeurs, susceptibles de résulter de la conjonction accidentelle de conditions d'exploitation fragilisées et d'avaries graves, ou de la succession d'aléas multiples défavorables, dépassant ceux contre lesquels on se prémunit systématiquement.

Dans l'étude de la sécurité d'un réseau on distingue trois états de fonctionnement (cf. Fig.1): l'état normal, l'état critique et l'état catastrophique [FIN]. En état normal le système répond à tous les consommateurs et vérifie toutes les contraintes: tensions, transits, fréquence ... Dans cet état, le système peut être en sécurité (si la marge de réserve est suffisamment grande pour répondre aux perturbations) ou peut être non en sécurité (le cas contraire). Dans ce dernier cas les actions préventives sont nécessaire pour ramener le réseau à un niveau suffisant de sécurité.

Si une perturbation suffisamment grande se produit, le système entre dans l'état critique où certaines contraintes de fonctionnement (tensions trop bases, courants trop importants,...) ne sont pas respectées. Des actions d'urgence doivent être activées pour ramener le système à l'état normal. Si ces mesures ne sont pas à temps ou ne sont pas efficaces le réseau commence à s'écrouler et entre dans l'état catastrophique.

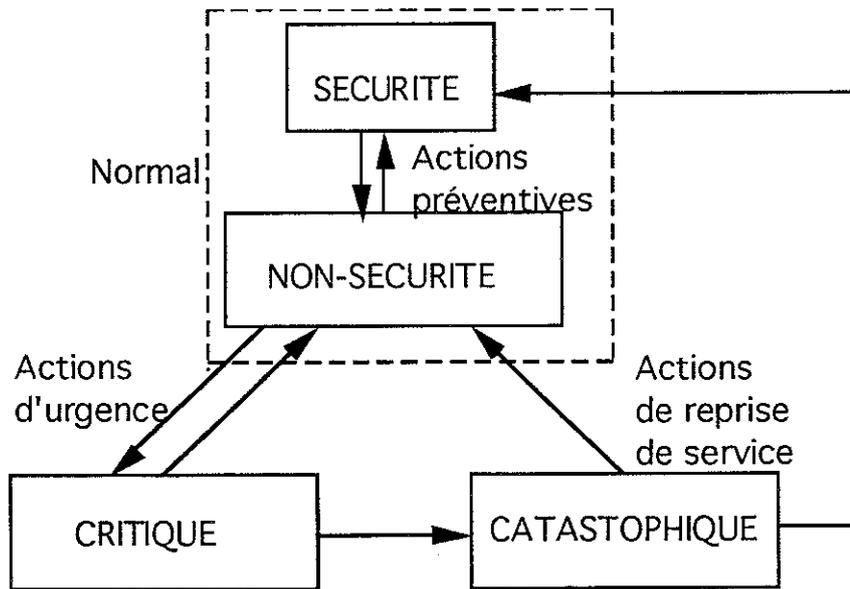


Fig.1 états de fonctionnement du réseau électrique

Dans cet état des parties plus ou moins étendues du réseau peuvent se trouver sans tension. Des actions de reprise de service doivent être entreprises de façon à ramener le système à un état normal.

## I.2. EXEMPLES D'INCIDENTS.

### 1. Incident du 13 Juillet 1977 à New York [WIN].

Dans la soirée orageuse du 13 Juillet 1977, la ville de New York a été privée de courant. Deux coups de foudre qui ont frappé successivement deux pylônes portant des lignes importantes sont à l'origine de cet incident. Le premier coup de foudre sur un support commun de deux lignes 245KV a provoqué le déclenchement de trois lignes et d'un groupe (le déclenchement de la troisième ligne est due à une défaillance du système de protection). Les lignes transportaient 1200 Mw à la ville. L'ouverture de ces lignes a produit une augmentation des transits sur une ligne importante (Millwood-Pleasant Valley) au-dessus des valeurs nominales, mais en dessous des seuils de surcharge forte. Les actions de sauvegarde n'étaient pas efficaces et un deuxième coup de foudre a aggravé la situation. Ce deuxième coup de foudre, sur un support commun à 345KV, a provoqué le déclenchement de deux lignes suivi du réenclenchement d'une seule ligne. Pendant l'ouverture de ces deux lignes s'est produit le déclenchement définitif de la ligne à 345KV Millwood-Pleasant Valley. Ceci a initié l'écroulement total de tout le réseau de New York.

Le déroulement de cet incident illustre la difficulté rencontrée pour la conduite du réseau dans un cas inhabituel:

1) *Difficulté dans la synthèse des informations sur l'état du réseau:* les opérateurs ont cru au fonctionnement normal des lignes qui ont déclenché, car habituellement, ces lignes sont très peu chargées.

2) *Nécessité de disposer d'un plan préétabli ou d'un outil d'aide à l'opérateur pour la reconstitution:* deux essais de reprise rapide du service se soldent par des échecs, avec des déclenchements instantanés des liaisons rétablies et un incident dans un transformateur. Les responsables se consacrent alors à l'élaboration d'un plan coordonné de reprise du service. L'élaboration de ce plan a duré 1h10' (ce qui laisse penser qu'il n'existait pas à l'avance de plan de reprise suffisamment précis). Ce plan a consisté à tenter la reprise simultanément sur six portions de réseau électriquement indépendantes. La réalisation de ce plan a été retardée par l'absence d'auxiliaires de secours alternatifs ce qui a provoqué des baisses de pression sur les câbles et des chutes de tension dans les batteries.

La ville de New York a été en obscurité pendant 25 heures.

## 2. Incident du 19 Décembre 1978 sur le réseau français.[CHE]

Le 19 Décembre 1978, la fourniture d'énergie a été interrompue pendant plusieurs heures pour la quasi-totalité de la clientèle du réseau français. Une forte baisse de réserve hydraulique (ce mois de Novembre fut le mois le plus sec observé depuis bientôt 30 ans) a perturbé la gestion du système production-transport. Les conditions initiales d'exploitation (avant l'incident) étaient caractérisées par des forts transits Est-Ouest en provenance des réseaux étrangers.

Une forte demande qui était prévue mais sous-estimée a provoqué une chute rapide de la tension. Les causes de cette chute sont multiples: plan de tension initial bas, forts transits, production éloignée, insuffisance de moyens de compensation, très peu de réserve primaire. Le souci de maintenir une alimentation normale conduit le dispatcher à tarder à commander des délestages. Le phénomène a été aggravé par l'arrivée en limitation de groupes qui n'ont plus assuré la tenue de la tension et par la séparation du réseau de certains groupes, sous l'action de leurs protections propres, due à la dégradation des conditions d'alimentation de leurs auxiliaires (tensions basses). Le déclenchement d'une ligne à 400 KV par surcharge a commencé l'écroulement d'une grande partie du réseau. Les seules régions qui restaient sous tension furent les régions frontalières, alimentées par l'étranger, et la région Rhône-Alpes.

La précipitation et la panique provoquées par l'incident ont conduit à un deuxième écroulement du réseau lors de la reconstitution (essentiellement à cause d'une remise sous tension trop rapide de certaines lignes, et d'une reprise de charge mal maîtrisée).

## 3. Incident du 12 Janvier 1987 sur le réseau français [HAR].

Cet incident s'est produit en Bretagne, dans une zone située à l'extrémité Ouest du réseau français. Les conditions initiales étaient normales bien qu'il s'agisse d'une période particulière de grand froid. L'incident a commencé par la tombée en panne successive de trois groupes de Cordemais pour des raisons indépendantes.

Le seul groupe restant encore à Cordemais ne pouvait plus tenir la tension et a déclenché par action de sa protection à maximum de courant rotor. La disparition de cette production a entraîné une chute brutale de la tension sur la zone Bretagne. Cette chute s'est accentuée

et s'est généralisé, et a entraîné la perte de neuf groupes thermiques, représentant une perte de production de 9000 Mw.

### **I.3. INCIDENT GÉNÉRALISÉ ET REPRISE DE SERVICE**

Un incident intervenant sur le réseau de transport et d'interconnexion est dit généralisé s'il affecte la totalité ou une partie du réseau, de telle sorte que l'application des programmes de production ou du plan de reprise de service automatique en cas de manque de tension, s'avère non adapté ou de nature à aggraver encore la situation du réseau [BAU].

Lors d'un incident sur le réseau (écroulement de tension, perte de synchronisme), des automatismes et des protections réagissent de façon à isoler la partie qui est le siège du défaut. Suivant son étendue, l'état et les transits à cet instant, l'enchaînement des protections peut entraîner la mise hors tension de la totalité ou d'une grande partie du réseau.

Les opérateurs vont s'employer à reconstruire le réseau: remettre en route des groupes, reconnecter le système et réalimenter les charges déconnectées. L'ensemble du processus doit être réalisé en évitant toute manoeuvre qui pourrait engager la sécurité du réseau et conduire à un nouvel écroulement.

La considération d'un tel processus dans un centre de conduite nécessite de résoudre une série de problèmes qui va de l'acquisition des données du réseau jusqu'à la proposition d'actions à l'opérateur, en vue de réaliser la reprise de service.

### **I.4. DIVERSITÉ DES STRATÉGIES POUR LA REPRISE DE SERVICE**

Pour faire face à un incident généralisé, les entreprises d'énergie électrique se sont données des doctrines ou stratégies de reconstitution qui se traduisent par des plans de reconstitution. Ceux-ci peuvent être figés et directifs avec des fiches descriptives de procédures à suivre, ou se limiter à des conseils d'ordre général. Ces plans dépendent de la structure générale du réseau, de la composition des centrales d'énergie, et des priorités que se donne l'exploitant.

Par exemple, dans le réseau Suédois [KEA], qui est composé au nord, d'une grande production hydraulique et peu de charge, au sud de centres de consommation et quelques productions nucléaires, le plan consiste à réalimenter le sud à partir du nord. On retrouve une structure similaire dans le réseau canadien [MOR-87].

Actuellement, la doctrine EDF de reconstitution du réseau est fondée d'une part sur un ensemble de scénarios ou procédures validés à l'aide de simulations numériques ou dans la mesure du possible testés sur site et sur des directives d'ordre général. Les procédures sont répertoriées sous forme de FIDEO (Fiches Descriptives de l'Enchaînement des Opérations).

Mais l'établissement de procédures n'est pas envisageable pour la totalité du processus de reprise de service car la combinatoire des états de réseaux rencontrés ne le permet pas). Le plan de restauration préparé selon cette approche ne propose que les lignes directrices qui font appel à l'expérience de l'opérateur pour pouvoir être appliquées. Il laisse l'opérateur devant un grand nombre de choix dont certains peuvent être critiques. Par ailleurs, la fréquence très faible de tels incidents ne procure pas à l'opérateur une expérience suffisante. Dans des moments où l'opérateur est submergé d'alarmes et d'informations et où la tension nerveuse provoqué par l'incident peut mener à la panique, le plan de reprise proposé par cette approche peut être considéré comme insuffisant. Ce processus peut entraîner l'opérateur dans une impasse lors de l'apparition d'un aléa imprévu dans le plan.

Les réseaux électriques sont différents d'un pays à l'autre. En principe, une stratégie conçue pour un réseau ne peut pas s'appliquer à un autre réseau. Les spécificité de chaque réseau et de chaque entreprise déterminent sa propre stratégie de reprise de service. Chaque entreprise prépare cette stratégie en fonction des priorités qu'elle se donne (priorité à la sécurité, priorité a la satisfaction de la demande,...), et en fonction de la structure, de la dimension et de la composition des centrales d'énergie de son réseau.

Mais pour une doctrine donnée (ou pour un ensemble de priorités) et pour un réseau donné, plusieurs stratégies peuvent être définies, (et la stratégie "opérationnelle" peut être modifiée).

Nous allons passer rapidement en revue certains points importants à propos des stratégies possibles:

*Deux phase dans la reconstitution du réseau.*

Pour les réseaux de transport et d'interconnexion, la reprise de service est souvent divisée en deux phase. Dans [KOJ-89.1] l'objectif de la première phase est de réalimenter pratiquement à vide une structure qui couvre des sites importants. Cela permet de redémarrer des groupes qui peuvent participer à la reprise de charge plus tard et ainsi former un réseau interconnecté suffisamment robuste. La deuxième phase consiste à réalimenter la demande.

*Division en zones d'action.*

Dans plusieurs cas le plan de reprise de service considère une division du réseau en zones dans lesquelles des actions sont menées en parallèle. Cette stratégie est préférable dans le cas où l'incident affecte une zone importante du réseau. Ces zones sont reconstituées de façon indépendante et simultanée pour ensuite être reconnectées entre elles. Dans [DAR-91], [KAF-81] ces zones sont pré définies ("of-line") et constituent un des paramètres d'entrée du système. Ces zones peuvent correspondre soit à des zones d'action des dispatchings, soit à des zones regroupant des moyens de production, soit à des zones définies par la structure même du réseau. Dans [TRO] cette séparation en zones est prévue par le plan de défense. Certains critères qui permettent de définir les zones à reconstituer sont présentés dans [ADI-87].

Cette approche a l'avantage d'accélérer le processus de reconstitution (action menées en parallèle) et d'augmenter les chances de réussite du plan. Cependant, les situations nombreuses d'incident ne correspondent pas toujours à ce découpage prédéfini et l'obligation de travailler dans une zone peut limiter les possibilités de connexion de certains ouvrages avec des zones voisines.

*Reconstitution d'une ou de plusieurs structures cible.*

Il s'agit de définir un plan global de reconstitution du réseau autour de structures fixes, encore appelées "squelettes" ou "ossatures". Ces ossatures couvrent des sites de production et des zones importantes de consommation. L'intérêt de cette approche tient au fait que les procédures de reconstitution peuvent être décrites jusqu'à des points assez avancés de la reconstitution. Cette approche apparaît dans les articles Canadiens [MOR-87] présentant le plan de reprise de service retenu par la Compagnie d'Électricité Hydro-Québec. Celui-ci est réalisé à partir de trois structures figées reconstituées séparément (suivant des procédures précisées dans la doctrine), puis re-synchronisées. Les actions de

reprise de service (couplage de groupes, reprise de charge, mise sous tension d'ouvrages) sont décrites jusqu'à un niveau très avancé de la reconstitution du réseau 735 KV. Ces trois structures fixes correspondent à trois axes privilégiés pour la reconstitution du réseau puisqu'elle relie les zones de production essentiellement situées au nord, aux zones de consommation de Québec et Montréal situées au sud.

Cette approche permet de vérifier soigneusement toutes les actions envisagées pendant la reprise de service par des simulations numériques ou par des essais sur site. Le problème le plus important est ici celui des surtensions à cause de la puissance réactive fournie par les lignes qui en font partie. Les structures choisies sont évidentes pour le réseau canadien, mais le choix d'une telle structure l'est moins pour d'autres structures de réseau.

*Deux façons de mettre sous tension une grande structure.*

En fonction de la taille de la zone à remettre sous tension, de la composition et de la capacité d'absorber la puissance réactive des centrales d'énergie, la remise sous tension d'une structure peut se faire de deux manières différentes: d'un seul tenant ou pas à pas.

Dans [SIM], [MOR-82] la mise sous tension complète d'une grande structure est effectuée à excitation progressive depuis un groupe hydraulique. Ceci permet de réduire le temps requis pour les manoeuvres (ouverture et fermeture des organes de coupure).

*Niveau de tension: réseau de transport, réseau de distribution.*

Le problème de reconstitution pour les réseaux de transport et de distribution a certains points communs. Il faut élaborer un plan de reprise de service qui satisfait certaines contraintes et chercher les chemins de renvoi de tension et les manoeuvres correspondantes, pour réalimenter des charges. Mais dans le cas des réseaux de distribution il s'agit simplement de réaliser des manoeuvres de reconfiguration de manière à alimenter la consommation. Des problèmes qui sont fondamentaux dans la reconstitution du réseau de transport et d'interconnexion ne se retrouvent pas dans le cas du réseau de distribution. Ceci est dû au rôle différent de ces deux réseaux à la structure arborescente des réseaux de distribution et surtout au fait que dans le premier cas les problèmes de production et d'interconnexion sont les plus importants. En effet dans le premier cas il faut considérer [ADI-87], [ADI-92.2], [GUT], [ADI-88.2] :

- Les groupes de production, avec la reconnexion de groupes, l'augmentation progressive de la puissance des groupes et la prise de charge en assurant les contraintes sur la tension, la fréquence, les transits de puissance et la stabilité. Le redémarrage si nécessaire de groupes à démarrage autonome dans les zones d'incident.
- La mise sous tension de chemins de renvoi de tension vers des groupes voisins.
- L'Interconnexion de zones.

Les problèmes rencontrés dans ce processus sont souvent des surtensions à cause de la puissance réactive fournie par les lignes d'un réseau peu chargé, les surtensions transitoires de manoeuvres, la baisse de fréquence à cause d'une prise de charge importante dans un réseau faible...

Ces problèmes ne sont pas très critiques dans un réseau de distribution. Au lieu de cela, la reconfiguration du schéma du réseau lorsque l'on veut réalimenter des ouvrages hors tension en évitant la surcharge devient le problème principal [MAR], [VU], [MAT-89], [WAD], [LIU-89], [CHEN J].

### **I.5. CARACTÉRISTIQUES DU PROBLÈME ET APPROCHE SYSTÈME EXPERT**

On peut considérer la reprise de service comme un problème de planification où le dispatcheur doit élaborer un plan de reprise composé de manoeuvres élémentaires avec l'objectif de reprendre un maximum de charges.

Cependant ce problème a des caractéristiques particulières :

- Un caractère fortement *combinatoire* et multi-objectifs pour lequel on ne connaît pas actuellement de méthodes algorithmiques pouvant donner une solution satisfaisante. Les outils tels que la simulation numérique ont apporté une aide non négligeable à l'élaboration de plans de reconstitutions et de procédures figées. Mais le caractère combinatoire des états rencontrés, ne permet d'élaborer de telles procédures que pour un petit nombre de cas spécifiques.

- Une nature *distribuée* : la reprise de service nécessite diverses expertises et divers types de raisonnement pour être résolu. Une large gamme de problèmes est concernée: régime

transitoire et régime permanent; réglage de la tension et de la fréquence; comportement des composants du réseau; gestion des groupes de production etc..... Les connaissances pour résoudre ce problème (par exemple pour réaliser des procédures opérationnelles) proviennent souvent d'experts qui sont spécialisés chacun dans un sous-domaine et ne disposent généralement que d'une vue partielle du problème. Certains de ces sous-problèmes sont bien maîtrisés et bien résolus par des logiciels.

- Des connaissances *incomplètes* qui peuvent changer significativement dans le temps. En effet les connaissances en matière de reconstitution proviennent de l'expérience des opérateurs, des directives ou procédures opérationnelles et d'un certain "bon sens électrotechnique". Du fait du caractère (heureusement) exceptionnel des incidents généralisés, ces connaissances sont incomplètes et en pleine évolution. Par exemple on ne dispose pas de connaissances génériques qui permettent d'assurer que la mise sous tension d'une série de lignes ne va pas présenter des surtensions transitoires dangereuses. De même, il est difficile de prédire ou de choisir "la meilleure" stratégie de reconstitution (si ce n'est par la simulation d'un grand nombre de cas); de ce fait la stratégie de reconstitution d'une entreprise peut changer significativement.

- L'élaboration du plan de reprise de service a un caractère *opportuniste* : en fonction du résultat des premières opérations, la suite de procédure est élaborée et de nouvelles opérations exécutées, jusqu'à la résolution du problème. Le système ainsi sera dirigé par le fait.

- La possibilité de *réviser* le plan initial : des erreurs peuvent se révéler en cours d'exécution du plan si le réseau ne se comporte pas comme prévu (la mise sous tension d'une file présente des problèmes de surtension et on n'a pas les moyens de les résoudre).

Ces caractéristiques font que l'approche système expert (SE) pour aider l'opérateur dans la reconstitution d'un réseau soit actuellement considérée comme très prometteuse. Bien que peu de ces systèmes soient opérationnels aujourd'hui, cette approche est l'objet de recherches très actives [CIGRE-92]. Les premiers prototypes [DAR-91] (le premier article sur cette approche, appliquée à un réseau de distribution, a été publié en 1983 [SAK-83]) présentaient un certain nombre de lacunes et entre autres:

- Un manque de flexibilité, c'est à dire le fait qu'il était difficile de modifier ou d'augmenter les connaissances. Ce point est important dans tout système expert, mais

comme il a déjà été dit, dans le cas de la reconstitution ce point est fondamental: il faut par exemple pouvoir modifier assez facilement la stratégie de reconstitution.

- Inexistence ou difficulté dans la coordination entre le système expert et l'opérateur. Dans les premiers prototypes l'opérateur ne pouvait pas intervenir pour refuser ou modifier les propositions du système expert.

Ces problèmes sont en grande partie résolus si l'outil permet que la stratégie soit souple et dans la mesure du possible déclarative. Ceci est possible avec un modèle blackboard qui comme nous le verrons aux chapitres III et IV permet de réaliser un système flexible et évolutif et de considérer de façon transparente les interventions de l'opérateur.

Un système efficace devrait pouvoir exécuter les fonctions suivantes:

- Aider l'opérateur à évaluer la situation et à identifier les secteurs de problèmes potentiels.

- Aider l'opérateur à déterminer quelle sera la prochaine manoeuvre (ou la prochaine série de manoeuvres) à accomplir. Cette aide sera particulièrement utile lorsque les circonstances obligent l'opérateur à s'éloigner de la procédure normale.

- Vérifier que la manoeuvre suivante n'endommagera pas l'appareillage électrique ou ne créera pas une situation instable qui pourrait causer un contretemps dans le rétablissement de service.

- Prêter son assistance dans l'exécution de ces manoeuvres. Les opérateurs doivent être capables de se concentrer sur la prise de décisions et sur les communications avec d'autres employés. Ils devraient ainsi être déchargés de tous les aspects du processus de rétablissement qui pourrait être pris en charge par un ordinateur.

- Recommander une ligne de conduite. La vitesse d'un ordinateur lui donne la capacité d'évaluer plus de solutions de rechange et de prendre en considération plus de variables qu'une personne ne le peut dans la même période de temps. Un système peut ainsi aider l'opérateur à choisir la meilleure approche. Il pourrait aussi avertir l'opérateur qu'un tracé particulier, qui semblerait d'ordinaire prometteur, mènerait en fait à une impasse et que le choisir serait une perte de temps.

- Aider l'opérateur à sélectionner la combinaison de groupes la plus appropriée, fondé sur la disponibilité et les temps de démarrage.

- Avertir l'opérateur de problèmes existants ou possibles. Durant le rétablissement de service, le réseau de transport est dans un état inhabituel et dans ce contexte, l'opérateur

ne comprendra peut-être pas pleinement les conséquences potentielles de certaines actions. Le système devrait ainsi afficher un avertissement lorsqu'il a détecté une situation dangereuse ou potentiellement dangereuse.

### I.6. QUELQUES PROBLÈMES DANS LE DÉVELOPPEMENT D'UN SYSTÈME D'AIDE À LA RECONSTITUTION.

Bien que le travail que nous avons réalisé est au stade du prototype et encore loin d'être "opérationnel" dans un centre de conduite, certains points en aval doivent être considérés dès le début de sa réalisation. En effet, des études sur les systèmes d'aide à la reprise de service soulèvent certains problèmes pour leur développement et leur intégration dans les centres de conduite, et en particulier:

#### La coordination entre opérateur et ordinateur.

On peut considérer trois modes d'organisation[ADI-92.2]:

- La reconstitution "automatique" où l'ordinateur domine.

L'opérateur joue le rôle d'un observateur et le système s'occupe de la reconstitution sans intervention humaine. Dans [BLE], un prototype selon une telle approche a été développé. L'objectif de cette organisation est d'éliminer l'action de l'opérateur qui se trouve souvent dans une situation difficile devant un incident grave. Cependant, l'expérience montre que pour la résolution d'un problème si complexe ce mode, tout automatique, présente des inconvénients insurmontables.

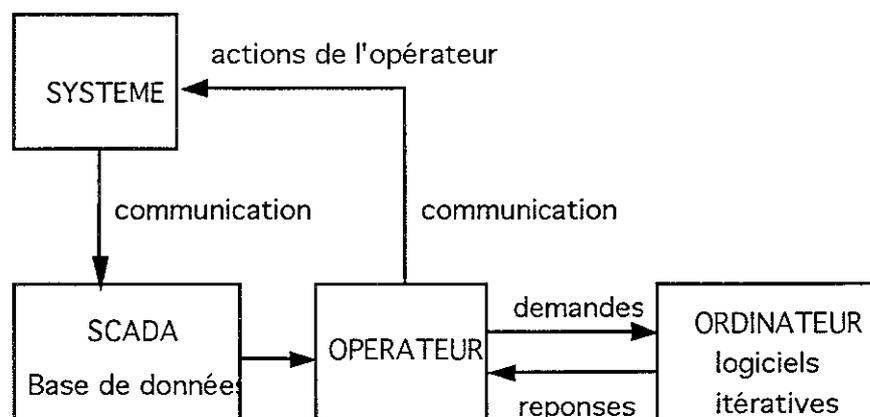


Fig.2 Restauration assistée par ordinateur

- Restauration assistée par ordinateur.

C'est le mode le plus courant à l'heure actuelle. L'opérateur prend la responsabilité pendant le processus de reprise de service. Ses prises de décision sont aidées par l'interaction avec l'ordinateur (utilisation de logiciels d'analyse du réseau, consultation des plans de reconstitution enregistrés dans l'ordinateur) (cf. Fig.2)

- Restauration coopérative.

L'opérateur et l'ordinateur sont dans une boucle fermée. Chacun intervient dans le processus de reconstitution lorsque c'est nécessaire et quand ses actions sont plus efficaces. Certains systèmes [ZAB] sont organisés selon cette structure (Fig.3).

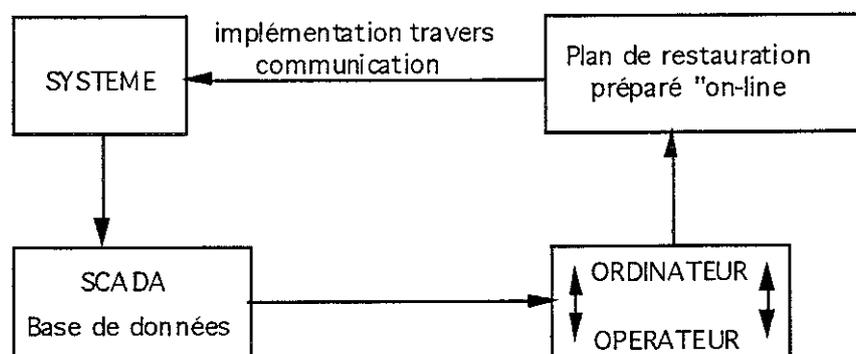


Fig.3 Restauration coopérative

Intégration dans le centre de conduite.

Comme le processus de reconstitution de réseau a besoin de données en ligne, l'intégration d'un système d'aide dans le centre de conduite est indispensable. Cette intégration est difficile lorsque la reprise de service est fondée sur un système à base de connaissances. Les processeurs implantés dans les centres de conduite sont bien adaptés au calcul numérique, mais beaucoup moins au traitement symbolique.

On peut considérer trois niveaux d'intégration: peu couplé, très couplé et intégration totale. Dans la période de développement et de tests, on adopte souvent la première [MAR], (cf. Fig.4). Un nouveau processeur pour le système expert est ajouté au centre de conduite. Cette approche permet de ne pas avoir à modifier le système existant et d'être flexible et extensible.

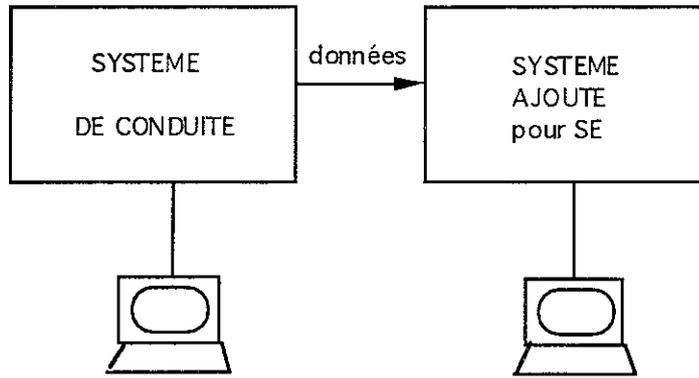


Fig.4 Intégration: peu couplée

Mais cette approche ne permet pas d'exploiter la puissance du système de conduite par exemple, l'interface graphique....

Une intégration plus directe [56] permet le partage de la base de données du système de conduite. Dans ce cas il faut étendre la base de données pour qu'il lui soit possible d'échanger les données avec le système expert. (cf. Fig.5)

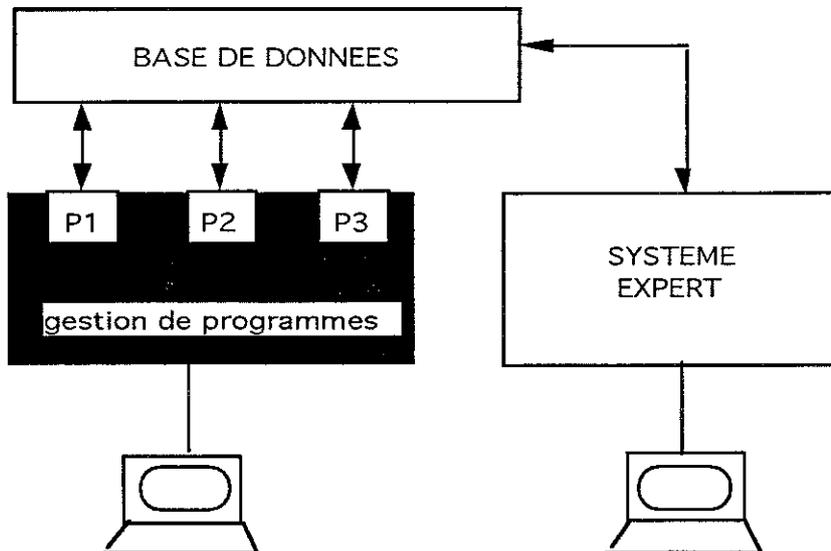


Fig.5 Intégration avec la base de données partagée

Ce n'est que lorsque le système expert est au point que l'on peut envisager son intégration directe dans le système de conduite. Cela demande une modification très profonde de celui-ci, mais permet d'utiliser les mêmes consoles que celles utilisées dans la salle de conduite et de mieux exploiter les fonctions de ce système. Ce type

d'intégration totale à déjà été réalisée avec un simulateur d'entraînement pour les dispatchers [CHEN M].

Outils de développement.

Compte tenu de la complexité de la structure du réseau, des relations hiérarchiques et topologiques très étroites entre les composants du réseau, la technique de la programmation orienté objets est utilisée dans la plus part des systèmes à base de connaissance pour la reprise de service [KOJ-89.2], [DIL-93].

Les connaissances heuristiques (le savoir-faire) sont souvent présentées par les règles de production. L'environnement pour le système expert OPS83 est exploité dans [KOJ-89.2].

Le modèle Blackboard, un modèle de type système distribué est aussi utilisé dans [VU] et [KOJ-89.2]. Dans [KOJ-89.2], ce mode d'inférence permet de coordonner les actions des sources de connaissance à deux niveaux: les connaissance concernant le processus de reprise de service des postes (postes, lignes) et les connaissances concernant la gestion des équipement à l'intérieur d'un poste. (cf. Fig.6)

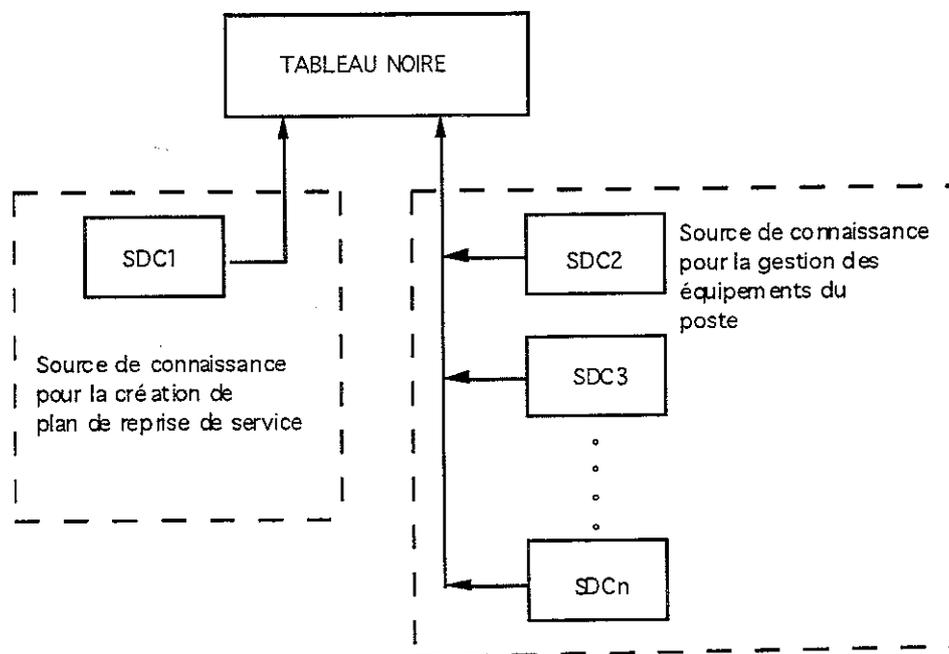


Fig.6 Blackboard pour coordonner les actions à deux niveaux: réseau et poste

Dans [VU] un modèle blackboard plus sophistiqué est utilisé. Celui-ci contient l'état d'avancement de la résolution et une structure permettant la communication entre les sources de connaissances (spécialistes). Les connaissances sont représentées selon une structure hiérarchique à trois niveaux: les connaissances stratégiques, permettant de déterminer la zone à reprendre; les connaissances tactiques jouant ici le rôle du mécanisme de contrôle et les connaissances procédurales permettant de résoudre les sous-problèmes et de modifier le plan.

### **I.7. OBJECTIFS DU PROTOTYPE.**

Un prototype de système expert a été développé dans notre laboratoire il y a quelques années [DAR-91]. L'utilisation de ce système a rencontré beaucoup de difficultés dans la modification ou implémentation des nouvelles stratégies et ne permettait pas l'intervention de l'opérateur. L'origine de ces inconvénients provenait d'une organisation trop figée du système qui demandait des changements importants de la structure pour pouvoir réaliser une modification.

Le *premier objectif* de notre prototype est de pouvoir disposer d'un outil qui permette de tester différentes stratégies de reconstitution. Le prototype doit proposer des actions pour la reconstitution du réseau à la suite d'un incident généralisé (black-out), en fonction de l'état du réseau, et en appliquant des doctrines générales et une stratégie de reconstitution imposées. Le système doit permettre d'implanter assez facilement une nouvelle stratégie. Ceci a pour objectif d'une part de valider les connaissances utilisées par le système et d'autre part de permettre une réactualisation de la stratégie implantée. Avec le prototype, des comparaisons de stratégies doivent permettre de trouver des moyens de réduire le temps requis pour rétablir le service d'un réseau électrique. Même dans les meilleures circonstances, une reprise de service passe par l'achèvement d'un grand nombre d'étapes. Des événements inattendus peuvent causer des délais significatifs. Réduire la durée de chaque étape et prévenir les événements indésirables sont deux façons d'accélérer le rétablissement de service.

Le *deuxième objectif* est de disposer d'un outil sur lequel l'opérateur puisse intervenir pour modifier, refuser, ou proposer des actions. Le système sera conçu pour prendre en charge les aspects les plus routiniers de cette tâche, comme le fait d'identifier les chemins des connexions et vérifier que les contraintes seront respectées durant l'alimentation de ces tracés.

## Chapitre II

Le réseau français et les  
doctrines de reprise de  
service de EDF



## **CHAPITRE II**

### **LE RESEAU FRANÇAIS ET LES DOCTRINES DE REPRISSE DE SERVICE DE EDF**

#### **INTRODUCTION.**

Dans ce chapitre nous présentons la doctrine actuelle de reconstitution du réseau d'EDF et le premier prototype de Système Expert réalisé au LEG [DAR-91] et dans lequel la stratégie actuelle avait été implantée.

Nous concluons ce chapitre en présentant de nouvelles stratégies de reconstitution en cours d'étude par EDF. En effet, il n'existe pas actuellement de "meilleure" stratégie de reconstitution. Les objectifs de celle-ci, de mêmes que les cas à envisager, sont nombreux. Le seul moyen pour comparer des stratégies est la simulation de cas. Par conséquent, un des objectifs de ce travail est la réalisation d'un prototype qui permet cette simulation.

#### **II.1 SPÉCIFICITÉ DU RÉSEAU FRANÇAIS ET PLAN DE DÉFENSE.**

Le réseau de transport de la France est un grand réseau maillé et très étendue géographiquement. Les conséquences potentielle des incidents majeurs sur un tel réseau peuvent être très graves. Elle seront encore plus importantes et moins bien tolérées, du fait de l'utilisation croissante de l'énergie électrique dans les sociétés industrialisées.

Il est donc justifié de prendre les dispositions propres à maîtriser les incidents quand ils s'amorcent, de façon à en limiter les conséquences en termes d'étendue et de durée des mises hors tension, et préparer une reprise rapide pour les clients affectés.

L'approche d'EDF sur ces problèmes a conduit à mettre en oeuvre une panoplie de mesures, qui se basent sur les phénomènes électrotechniques mis en jeu au cours des incidents et leur dynamique propre. Une synthèse de ces mesures est présentée au tableau 1 [TRO].

PHENOMENES	ACTIONS
Déclenchements en cascade par surcharge. Écroulement de tension.	mesures de sauvegarde (manuelles et automatiques)
Écroulement de fréquence. Rupture de synchronisme.	plan de défense (actions automatiques)
Dégradation irréversible de la fréquence et de la tension	îlotage (automatique) des groupes thermiques
mise hors tension étendue	plan de reconstitution

Tableau 1: Barrières interposées aux incidents en fonction des phénomènes mis en jeu.

Les différentes actions du plan de défense entraînent le découpage du réseau, tout d'abord en zones, jusqu'à l'îlotage des groupes de productions et *ainsi préparent le réseau à sa reconstitution*.

La spécificité du parc de production à forte dominante nucléaire doit conduire à prendre en compte dans la stratégie retenue *les contraintes de sécurité des tranches nucléaires* (renvois de tension vers les groupes qui n'ont pas réussi leur îlotage) qui sont le fondement de la doctrine actuelle.

## II.2 DOCTRINE ACTUELLE DE LA RECONSTITUTION DU RÉSEAU

Actuellement, la doctrine d'exploitation en matière de reconstruction du réseau se compose de deux étapes.

### **Réalimentation des auxiliaires des tranches nucléaires.**

Dans la première étape, cette doctrine a permis d'établir des *consignes précises* sur les renvois de tension vers les auxiliaires de tranches nucléaires: il est nécessaire de renvoyer en priorité la tension sur les tranches nucléaires en difficulté avec leurs sources internes puis plus généralement sur celles ayant échoué leur îlotage, dans le but d'assurer leur couplage dans des délais raisonnables et permet ainsi leur participation aux étapes ultérieures de la reconstitution du réseau.

Les renvois de tension sur les auxiliaires des tranches nucléaires sont réalisés à partir de scénarios de renvois de tension décrits de façon précise dans des Fiches Descriptives d'Enchaînement des Opérations (FIDEO). Ces fiches contiennent, pour un ensemble d'auxiliaires d'un site nucléaire, un ensemble de groupes qui peuvent être utilisés pour renvoyer la tension sur ces auxiliaires.

La file à remettre sous tension est aussi précisée: Il s'agit d'un ensemble de lignes à remettre sous tension dans un ordre précis, et isolé du reste du réseau. Des éléments comme des inductances de compensation à connecter sur des tertiaires d'autotransformateurs, ou sur les jeux de barres du poste lui même peuvent être précisés.

Ces FIDEO proviennent de toute une procédure de vérification qui commence par la simulation numérique. Elles sont ensuite, dans la mesure du possible, testées sur site et validées lorsque le compromis temps de mise en oeuvre - sécurité est satisfaisant. L'ensemble des variantes possibles doit être indiqué. Dans certains cas, des possibilités de renvois vers la clientèle peuvent être précisés.

### **Etoffement du réseau**

Pour cette deuxième étape d'étoffement et de reprise de charges, la doctrine énonce un certain nombre de principes et de règles générales à respecter: réglage de la fréquence, réglage de la tension, prise de charges, etc...

## II.3 LIMITATIONS ET AMÉLIORATIONS DE LA DOCTRINE ACTUELLE

### II.3.1 Limitations de la doctrine actuelle.

La doctrine actuelle basée sur les seuls scénarios de renvoi de tension, ne décrit pas explicitement les étapes suivantes de la reconstitution. Les simulations réalisées dans le but de rechercher des stratégies d'étoffement du réseau à partir des structures faibles que sont les premières files de renvoi sur les tranches nucléaires ont bien mis en évidence la difficulté de déterminer en-ligne les actions à mettre en oeuvre à partir des seules règles générales édictées dans la doctrine. On touche ici aux limites de la doctrine actuelle, qui ne permet pas de préciser plus d'éléments car, pour chaque état du réseau résultant de la mise en oeuvre de différentes combinaisons de scénarios, il existe une infinité d'actions d'étoffement qu'il n'est pas possible de décrire ou d'étudier a priori.

### II.3.2 Les voies d'amélioration.

Les moyens actuels en matière de reconstitution du réseau peuvent encore être développés. Les voies de progrès qui semblent accessibles pour faciliter la reconstitution sont les suivantes:

- 1) La préparation de stratégies de reconstitution du réseau plus complètes que les renvois de tension. Jusqu'à présent, l'étude de nouvelles approches pour la reconstitution du réseau a fait l'objet des réflexions d'un groupe de travail de EDF. Ce groupe s'est surtout attaché à définir des stratégies de reconstitution : il a préconisé des stratégies consistant à reconstituer des ossatures régionales pré définies à partir des centrales restées disponibles, puis à rétablir l'interconnexion de ces ossatures de façon à obtenir une structure "objectif" nationale.
- 2) Le développement d'un système d'aide en temps réel à l'opérateur, comprenant l'acquisition, la synthèse d'informations utiles à la reconstitution, ainsi que la proposition d'actions.
- 3) L'amélioration de la connaissance électrotechnique en ce qui concerne les phénomènes de surtension, résonance, stabilité....

## **II.4 PREMIER SYSTÈME EXPERT DE REPRISE DE SERVICE [DAR-91]**

Comme nous l'avons déjà dit, un premier prototype de système expert [DAR-91] a été conçu et développé au LEG en collaboration avec EDF. Il était destiné à proposer, à partir d'une situation initiale donnée, un enchaînement d'actions de reconstitution en appliquant la doctrine EDF de reconstitution. Cette doctrine comprenait les points suivants:

### 1) Trois phases de reconstruction :

#### *La sécurité des centrales nucléaires :*

Au moment de l'incident, si une tranche ne réussit pas son îlotage, son temps d'arrêt avant redémarrage dépend entre autres du temps mis à réalimenter en tension ses auxiliaires. La première priorité est donnée à la réalimentation des auxiliaires de tranches nucléaires qui ont raté leur îlotage. Deux moyens sont mis en oeuvre pour renvoyer la tension.

- le renvoi tranche à tranche sur site
- le renvoi en utilisant les FIDEO entièrement définies en 400 KV.

Les FIDEO sont des fiches descriptives d'enchaînement des opérations. Ces fiches contiennent, pour un ensemble d'auxiliaires d'un site nucléaire, un ensemble de groupes qui peuvent être des groupes nucléaires qui ont réussi leur îlotage, ou des groupes hydrauliques, qui donnent la possibilité de construire toute la file de renvoi hors tension, et de la mettre sous tension de façon progressive en réglant l'excitation du groupe. On n'appliquera les FIDEO que pour les sites où aucun groupe n'a réussi son îlotage.

Ces groupes peuvent être soit des groupes thermiques qui ont réussi leur îlotage, le renvoi s'effectue alors à une tension de l'ordre de 0.9 soit, un ou des groupes hydrauliques, ce qui donne la possibilité de construire toute la file de renvoi hors tension, et de la mettre sous tension de façon progressive en réglant l'excitation du groupe.

#### *Étoffement du réseau :*

Il s'agit de l'interconnexion du réseau où le but est d'assurer la stabilité du réseau en reconstruction. Pour la reprise de service du réseau, le cas idéal serait de disposer des moyens de compensation nécessaires et de pouvoir réalimenter pratiquement à vide toute la structure de ce réseau, avant de commencer à réalimenter la consommation. Réalimenter les charges à l'apparition de la tension n'est pas envisageable, les réseaux qui se constituent ainsi ne disposent pas des avantages de l'interconnexion (partage de la réserve primaire, des moyens de réglages). Dans cette optique, les points de consommation ne seront pas vus comme des buts dans les premiers pas de la reconstitution, mais comme des moyens pour pouvoir satisfaire les contraintes du réseau. Par exemple, pour permettre de régler la tension à certains points du réseau, ou pour respecter les gradients de montée en charge des groupes nucléaires.

### *Reprise de charges*

La réalimentation des charges n'est réalisée qu'après l'interconnexion totale du réseau. Le réseau reconstruit dans la deuxième phase dispose alors de moyens suffisants pour pouvoir faire face à une augmentation importante de la charge et à des perturbations qui peuvent arriver à tout moment.

### 2) Division en zones d'actions

On considère ici une division du réseau en zones dans les quelles des actions sont menées en parallèle. Ces zones peuvent correspondre soit à des zones regroupant des moyens de productions, soit à des zones qui correspondent plus ou moins à la division du réseau en dispatchings régionaux. Ces zones sont reconstituées de façon indépendante et simultanées pour ensuite être reconnectées entre elles.

Le réseau français est un réseau maillé et les centres de production sont éloignés des centres de consommation. Une première stratégie consiste à diviser le réseau en zones regroupant des groupes électriquement proches, et de limiter, dans un premier temps les actions à l'intérieur de ces zones. Ces zones sont définies à l'avance et constituées :

- de sites de productions
- de postes (noeuds 400 KV)
- de lignes

On définit aussi à l'avance des priorités d'interconnexion entre zones. C'est à dire, lorsque dans deux zones, aucune action n'est envisageable et ces deux zones correspondent aux priorités définies, on constitue une nouvelle zone à partir de ces deux zones dites "en attente" et dans laquelle on va continuer à proposer des actions. Cette nouvelle zone est composée des postes et des lignes des deux zones ainsi que des postes et des lignes situés entre ces deux zones et n'appartenant à aucune zone.

Une stratégie opposée serait de mettre sous tension à partir d'un nombre réduit de groupes une ossature, ou structure du réseau à vide, et ensuite de connecter à cette structure les groupes et les charges, au fur et à mesure des possibilités. Ceci pose le problème d'absorption de la puissance réactive produite par la ligne à vide et est sans doute plus risqué que la stratégie précédente ( sur plusieurs petits réseaux sous tension on a plus de chances de constituer des sous-réseaux sans problème que de maintenir un seul grand réseau à vide).

### 3) Prise de charge rapide et interconnexion

Les sous-réseaux qui comprennent des groupes nucléaires qui ne sont pas à leur minimum technique, sont des candidats prioritaires à l'interconnexion. Lorsque le système décide d'une interconnexion et qu'il propose une file pour la réaliser, les charges sont cherchées sur la file, en vue de monter les consignes de puissance de ces groupes.

Lors de la mise sous tension de la file, lorsqu'une charge prévue pour un groupe est rencontrée, elle est connectée pour ce groupe (c-à-d que le groupe modifie sa consigne de puissance pour prendre cette charge). Si au cours de la mise sous tension de la file, un problème de tension haute apparaît, et qu'une charge est recherchée pour résoudre ce problème, la charge non encore connectée, prévue pour le minimum technique d'un groupe, est écartée de la recherche. La priorité est ainsi donnée à la montée au minimum technique des tranches, tout en permettant une extension lors de la réalisation de la file d'interconnexion.

### 4) Renforcement des liaisons

D'une manière générale le renforcement des liaisons consiste à mettre sous tension des lignes à 400 KV entre deux noeuds sous tension d'un même sous-réseau. Ceci a pour but de rendre le réseau plus robuste avant de continuer d'autres interconnexions. Dans cette

stratégie chaque fois qu'une interconnexion est réalisée on cherche à réaliser aussi tous les renforcements possibles.

#### 5) Résolution des problèmes de tension

En cas de problème de tension, le système dispose de critères permettant de choisir un moyen pour résoudre le problème. Ces critères se résument à la connexion d'inductances de compensation lorsqu'elles existent, la connexion de charge et la modification des consignes de tension des groupes (pour le problème de tension haute).

### **II.5 UNE AUTRE STRATÉGIE POSSIBLE: LES OSSATURES**

Des nouvelles réflexions sur les doctrines et les stratégies de reconstitution sont en cours à EDF [MON], [EDF-1]. Nous donnons ici un bref aperçu pour illustrer la diversité des stratégies possibles.

Comme nous l'avons présenté dans le paragraphe précédant, la doctrine actuelle de reprise de service présente des inconvénients. Une voie d'amélioration consiste à rechercher un déplacement de la frontière entre les domaines faisant respectivement l'objet d'indications opératoires précises et de règles générales. Ces dernières, qui par définition doivent s'appliquer à un éventail de situations le plus large possible ne semblent bien adaptées que pour un réseau en cours de reconstitution et ayant atteint un certain niveau d'étoffement.

C'est pourquoi, EDF a envisagé une définition d'un plan global de reconstitution du réseau basé sur la reconstitution de structures fixes 400KV, définies a priori, appelées "squelettes" ou encore "ossatures". Une telle méthode devrait permettre de concilier les actions nécessaires au renvoi de la tension vers les tranches nucléaires qui le demandent et celles qui peuvent contribuer efficacement à l'étoffement du réseau.

Deux solutions ont été envisagées. Ils s'agit de la reconstitution:

- d'une ossature à l'échelle nationale aboutissant sur tous les sites nucléaires et les grandes zones de consommation, mise sous tension d'un seul tenant,
- de plusieurs ossature "cibles" régionales reconstituées indépendamment puis resynchronisées en vue d'établir une ossature nationale.

A. Une ossature mise sous tension d'un seul tenant.

Il s'agit d'une ossature 400KV complète qui correspond à une arborescence couvrant l'ensemble du territoire national et mise sous tension d'un seul tenant. Dans le cas de réseau français, cette solution soulève de nombreux problèmes électrotechniques et mêmes économiques:

- problèmes de compensation statique nécessitant l'installation d'inductances de compensation dans le réseau.
- problèmes de plan de tension en régime permanent et problèmes de stabilité de tension liés à l'éloignement entre les sources de tension disponible et les auxiliaires à réalimenter,
- existence probable de phénomènes transitoires inadmissibles (surtensions, ferrorésonance...) difficiles à mettre en évidence à l'aide des outils de simulation (taille de réseau à modéliser, sensibilité de ces phénomènes non linéaires aux différents paramètres),
- risques de mauvais fonctionnement des systèmes de protection contre les défauts d'isolement .

Sans renoncer à ce concept, on se propose de l'adapter. Le point important qui mérite d'être souligné concerne la distinction qu'il convient de faire entre l'ossature et la façon dont celle-ci est reconstituée

B. Une cible nationale constituée à partir d'ossature régionales.

La stratégie proposée est basée sur la définition préalable d'ossatures 400KV de taille régionale, comprenant un ensemble de lignes et de postes robustes vis-à-vis des indisponibilités d'ouvrages et comprenant les groupes de production d'une zone géographique pré définie. Ces ossatures régionales doivent être suffisamment nombreuses et bien réparties sur le territoire pour que après extension et connexion entre elles sur des axes privilégiés, une grande partie du réseau 400KV soit reconstituée, de manière à pouvoir réalimenter les grandes zones de consommation.

On peut distinguer pour le réseau français deux zones de consommation importantes (région parisienne et région lyonnaise) ainsi que trois zones à forte densité de production et relativement peu étendues:

- la région Rhône-Alpes (groupes hydrauliques alpins et sites nucléaires de la vallée du Rhône),
- la vallée de la Loire (sites nucléaires),
- la haute et basse Normandie.

Des axes privilégiés pour la reconstitution du réseau après un incident majeur ont été mis en évidence ce qui a permis de définir des ossatures régionales qui lors de leur interconnexion forment un arbre qui couvre une bonne partie du réseau.

Mais ces choix ne sont pas définitifs. Et il faudra mener des études approfondies (simulation, essais sur site,...) pour comparer les différentes solutions. Les résultats de ces études pourront remettre en question une partie plus ou moins importante de ces choix.

## **II.6 Nouvelles hypothèses retenues pour constituer les ossatures.**

Comme exemple d'évolution dans le temps, des hypothèses et contraintes retenues par EDF dans la conception d'une stratégie de reconstitution, nous présentons à continuation un ensemble d'hypothèses ("nouvelles hypothèses") qui ont évolué au fil du temps [MON]:

- 1) La contrainte minimum technique de production des groupes est temporairement relaxée. L'avantage espéré lors de la constitution des ossatures régionales est de s'affranchir de la reprise de la charge, opération délicate sur des réseaux faibles et coûteuse en temps.
- 2) Le contrôle du plan de tension par des reprises de charge est abandonnée. Ce contrôle s'effectuera en priorité par la tension de consigne des groupes (consigne de tous les groupes à 0.95 Un). Ce qui est remis en cause c'est l'efficacité de la reprise de charge et le fait de considérer que celle-ci consomme du temps dans les premiers stades de la reconstitution.
- 3) Les rebouclages ne seront pas systématiques. Ceci pour éviter de générer sur un réseau peu chargé une puissance réactive trop importante.

4) Les remises sous tension des TS et TP/TS des groupes nucléaires déclenchés sont effectuées lorsque la totalité de la structure cible est remise sous tension et si les conditions d'enclenchement des transformateurs sont telles que les surtensions transitoires ne présentent pas de danger. Néanmoins, selon la localisation des groupes flotés, il peut être stratégiquement plus intéressant pour certains sites de l'ossature de faire l'appel à des scénarios de renvoi de tension validés utilisant des ouvrages et des groupes qui n'appartiennent pas à l'ossature. Les opérations correspondantes sont alors menées en parallèle avec celles concernant la constitution de l'ossature régionale.

## **II.7 CONCLUSION**

Dans ce chapitre nous avons présenté un ensemble de stratégies possibles de reconstitution. Ces stratégies sont soit en cours d'étude, soit ont déjà été étudiées. Le but était de montrer d'une part la diversité de stratégies possibles et d'autre part le fait qu'une stratégie peut évoluer dans le temps.

De ce point de vue, un outil pour l'étudier de stratégies de reconstitution doit non seulement permettre la simulation de cas avec une stratégie donnée, mais de faciliter les modifications de celle ci et surtout de faciliter l'implantation de nouvelles stratégies. Ceci constitue un des objectifs de notre travail.



## Chapitre III

systeme a base de  
connaissance et modèle  
blackboard.



**CHAPITRE III**  
**SYSTEME A BASE DE CONNAISSANCES ET MODELE**  
**BLACKBOARD.**

**INTRODUCTION**

Les systèmes experts sont des outils conçus pour atteindre les mêmes performances que les experts dans un domaine spécifique. Ils permettent de formaliser les connaissances acquises pour l'essentiel auprès de ces experts, et fournissent un mécanisme d'exploitation de ces connaissances. Le terme de système expert disparaîtra progressivement au profit du concept plus général de système à base de connaissances que l'on retrouve dans divers champs d'activité de l'intelligence artificielle. Ce concept est fondé sur une séparation entre les connaissances nécessaires pour résoudre un problème et les mécanismes de raisonnement exploitant ces connaissances (cf. Fig.7). Ces derniers mécanismes sont appelés structures de contrôle, interpréteur ou moteur d'inférence.

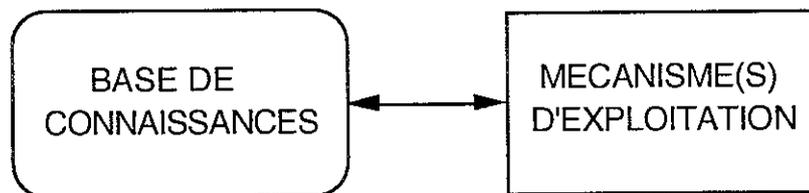


Fig.7

Les systèmes à base de connaissances suscitent un important engouement dans des milieux professionnels divers parce qu'ils permettent l'informatisation de certaines fonctions intellectuelles qualifiées, telles que l'identification ou le diagnostic de situations, la prévision d'événements, la conception d'objets, la planification d'actions.

Dans la suite, nous allons présenter rapidement l'architecture de ces systèmes, et en particulière, le modèle Blackboard, un système à base de connaissances distribué qui a remporté un grand succès dans plusieurs applications. Pour plus de détails se reporter à [HAT] et [ENG].

### III.1 ARCHITECTURE D'UN SYSTÈME À BASE DE CONNAISSANCE.

Un système à base de connaissance comporte essentiellement (cf. Fig.8):

- une base de connaissances,
- un moteur d'inférence,
- une interface avec les utilisateurs.

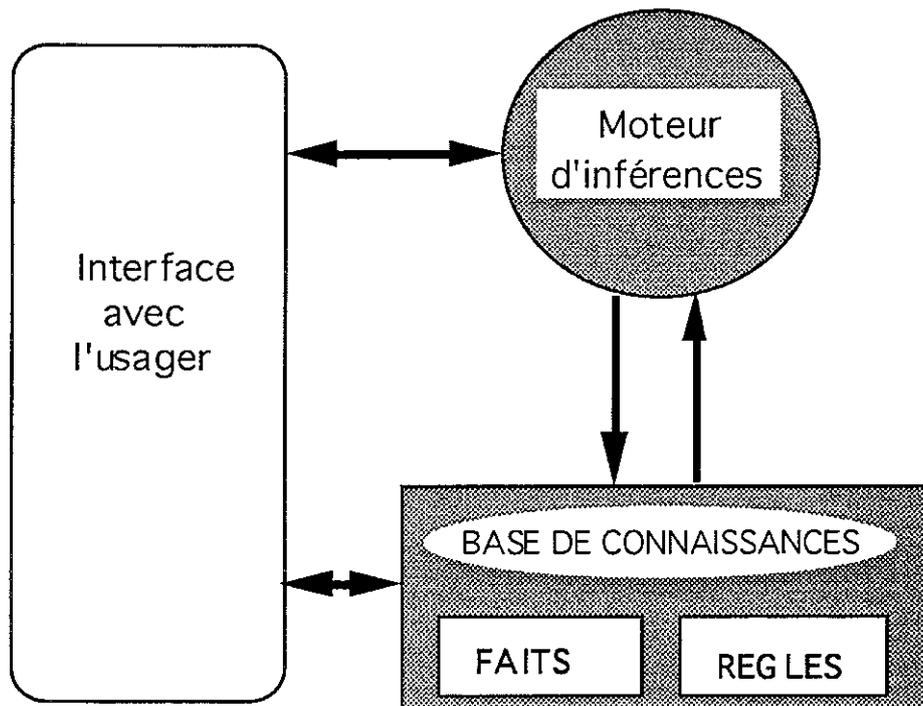


Fig.8 Structure d'un système à base de connaissance

*La base de connaissances:*

Elle a pour objectif d'accueillir la connaissance spécifique d'un domaine d'application. Couramment on distingue dans cette base:

+ des "**faits**". Ces connaissances prennent différentes formes:

- objets du monde (par exemple: une ligne, un groupe générateur, un poste, etc....),
- faits concernant ces objets (par exemple: " réserve primaire d'un sous réseau est de 100 Mw),
- événements (par exemple: "il y a une surtension").

+ des "**règles**": elles représentent le savoir-faire du domaine: Elles indiquent quelles conséquences tirer ou quelles actions accomplir lorsque telle situation est rencontrée (par

exemple: "si la tension d'un poste quelconque est supérieure à 420KV, alors il y a une surtension").

*Le moteur d'inférence:*

C'est un programme qui met en oeuvre des mécanisme généraux de combinaison et d'application des règles sur les faits. Il interprète la "**stratégie**" pour la résolution du problème.

Selon des stratégies variées, souvent très largement indépendantes du domaine d'application, le moteur d'inférences puise parmi les règles, les interprète, les enchaîne jusqu'à satisfaire des conditions d'arrêt. En général, l'application des règles provoque des modifications de la base des connaissances, notamment dans sa partie "faits".

*L'interface:*

Le système assure des fonctions complémentaires de dialogue et d'explication de son propre comportement. Cela facilite la saisie des données du problème, assure une interaction éventuelle avec l'utilisateur en cours de résolution et rend compte de la manière dont la résolution a été conduite.

Dans le système à base de connaissances, la séparation des trois parties "règles", "faits" et "stratégies" est un facteur essentiel pour obtenir la souplesse et l'efficacité. Le modèle Blackboard, un système à base de connaissances de type distribué répond à cette demande.

### **III.2 MODÈLE BLACKBOARD.**

Le problème de reprise de service met en jeu plusieurs types de connaissances, plusieurs experts, chacun de ces experts ne dispose généralement que d'une vue partielle du problème et doit de ce fait, coopérer avec les autres experts en échangeant des informations. Cette coopération se manifeste notamment par un échange d'informations avec les autres experts et peut se traduire par différents modes de communication. Dans la suite nous allons aborder ces problèmes lorsque les experts interagissent à travers une mémoire partagée. Cette coopération dite de type "blackboard", s'est révélée fructueuse dans de nombreuses applications d'IA.

Hearsay-II, un système de reconnaissance et compréhension de la parole a donné naissance au modèle Blackboard et a inspiré de nombreuses implantation de ce modèle.

Une mise en oeuvre de ce modèle à partir de SMECI a été réalisée au laboratoire [CHO]. Ce travail est issu d'une première réalisation d'un blackboard pour l'aide à la conception de contacteur en électrotechnique [GEN].

### III.2.1 Principe du fonctionnement du blackboard.

Dans ce type de système expert, la base de connaissance est composée de plusieurs sources de connaissances (SdC ou experts) qui sont réunis pour résoudre le problème.

Les SdC ne peuvent s'échanger des informations que par l'intermédiaire d'une zone de données commune, appelée le blackboard (cf. fig.9, extrait du rapport [CHO]). La résolution du problème se fait par applications successives de certaines de ces SdC sur les données initiales ou sur des résultats partiels.

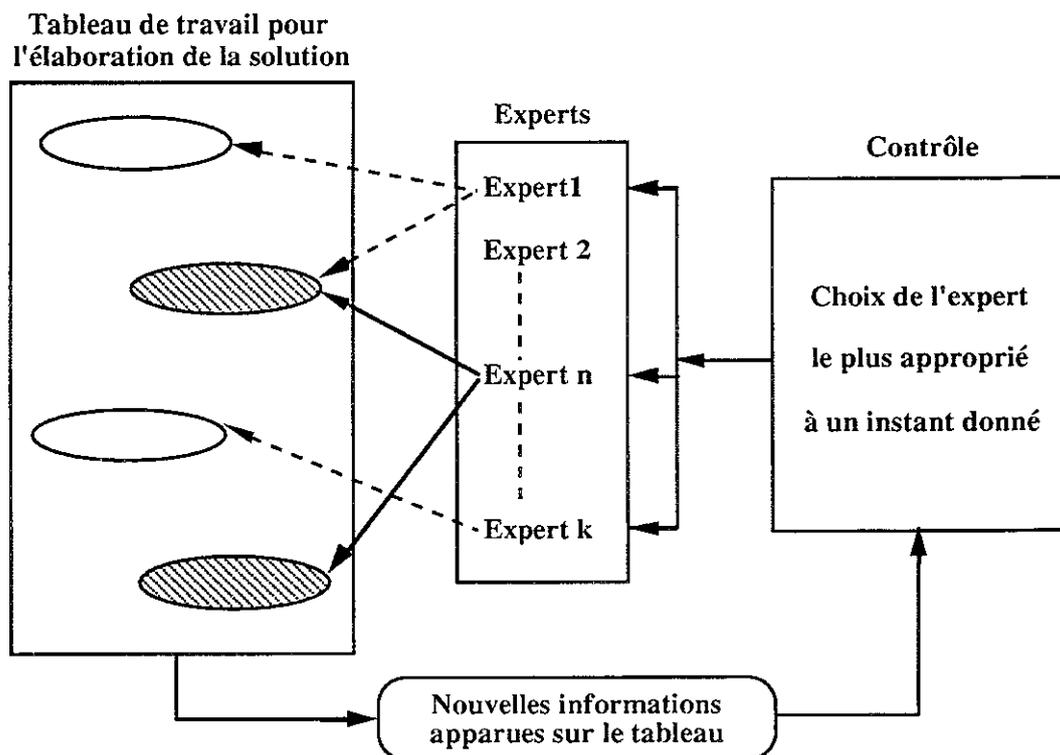


Fig.9 Principe du fonctionnement du blackboard

Les SdC ont pour format: partie condition et partie action. La partie condition décrit les situations dans lesquelles la SdC peut contribuer à l'avancement de la résolution du problème. Généralement, cette partie requiert une configuration particulière des

hypothèses (éléments) dans le blackboard. La partie action spécifie la contribution de la SdC lorsque cette dernière est activée. Généralement, elle se résume à des créations de nouvelles hypothèses, des modifications et / ou des suppressions d'hypothèses déjà existantes dans le blackboard. La partie action peut être exprimée sous forme procédurale (programme) ou déclarative (module à base de connaissances). Seules les SdC dont la partie condition est satisfaite peuvent être activées à un instant donné. Lors de son activation, une SdC prévient le mécanisme de contrôle des actions qu'elle a effectuées dans le blackboard, sous la forme d'événements.

A chaque étape du processus de résolution du problème, plusieurs actions peuvent être possibles et ainsi entrent en conflit. Le problème essentiel du contrôle pour la conduite des activités d'un système peut donc être formulé comme suit: à chaque étape du processus de résolution du problème, quelle action le système doit-il exécuter? Pour faire cette sélection, le contrôle choisit quelles parties de la connaissance sont utilisées, quelles régions de données sont traitées et quelles méthodes et stratégies il peut appliquer.

Donc, les problèmes primordiaux dans le fonctionnement du Blackboard sont la détection des SdC applicables et le choix de SdC à appliquer. En général, on distingue trois phases cycliques dans le fonctionnement du Blackboard (Fig.10 ):

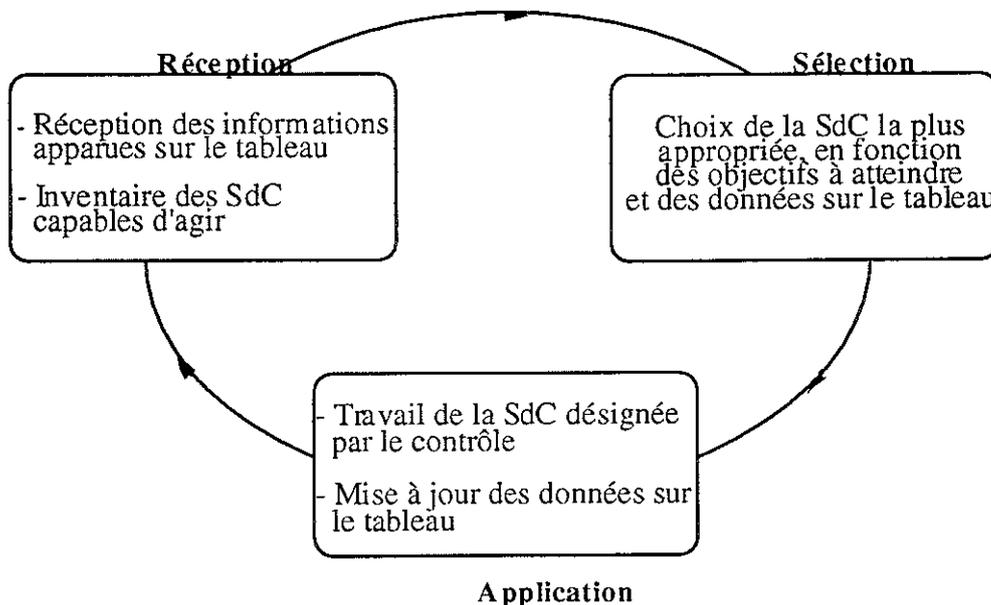


Fig.10 Trois cycles de fonctionnement du blackboard

- **Réception** :

Aux vues des informations survenues sur le Blackboard, chaque SdC est examiné afin de déterminer si il est capable d'agir dans le contexte actuel .

**- Sélection :**

Le contrôle sélectionne l'expert le plus approprié à cet instant.

**- Application :**

L'expert choisi va appliquer sa connaissance et faire évoluer l'ensemble des informations présentes sur le tableau. Il est le seul à travailler à cet instant. Lorsqu'il a terminé, le contrôle reprend le pouvoir et recommence une nouvelle phase de réception des événements.

Comme il est facile de s'en rendre compte, le processus d'élaboration d'une solution est *dirigé par les faits*, ce qui signifie qu'il évolue en fonction des informations qui apparaissent pendant la résolution.

L'efficacité de ce type d'architecture dépend beaucoup de la méthode utilisée dans la phase de sélection de l'expert à appliquer.

La sélection de SdC à appliquer à chaque cycle, dépend évidemment du domaine d'application concerné, et il en existe sans doute autant qu'il existe d'implantations d'architectures blackboard. Certains mécanismes de contrôle importants sont présentés dans [HAT].

Face à un problème complexe comme celui de la reprise de service, le mécanisme de contrôle doit pouvoir adopter plusieurs niveaux de raisonnement, séparer les stratégies locales des stratégies globales, différencier plusieurs unités de connaissances selon la nature de leurs contributions à la résolution du problème.

Un mécanisme de contrôle procédural a été choisi pour notre système. Il gère la tâche de contrôle par l'intermédiaire d'un programme complexe qui est composé d'un ordonnanceur et d'un moniteur du blackboard (voir fig.11).

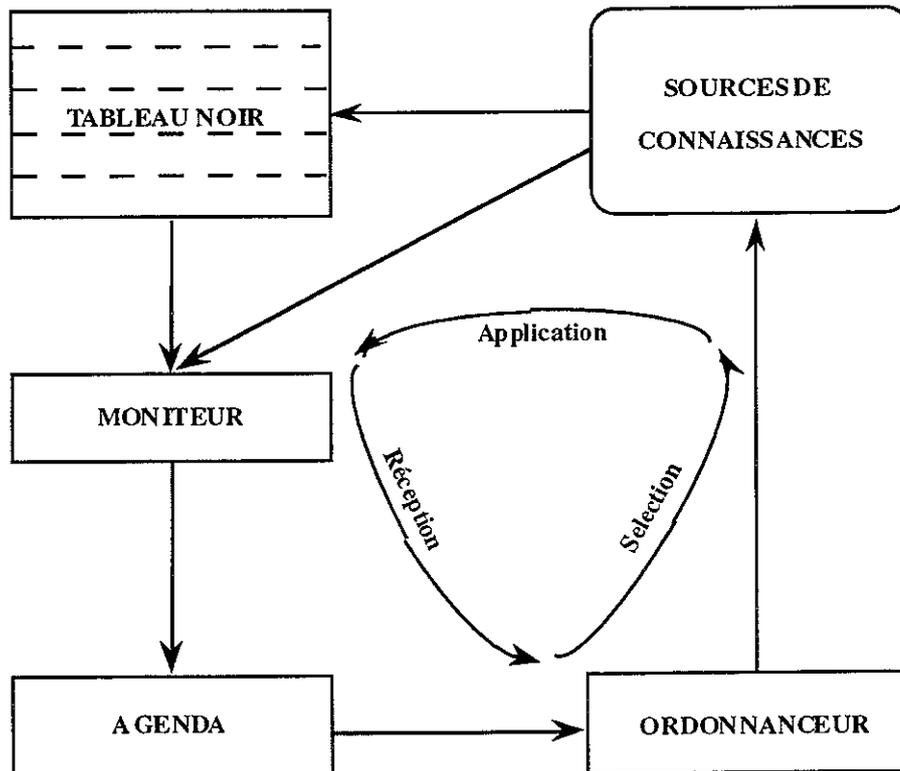


Fig.11 Mécanisme de contrôle

Le moniteur du blackboard est chargé de détecter les parties "condition de déclenchement" des SdC, vérifiées suite aux changements survenus dans le blackboard (événements) et de les placer dans un agenda contenant l'ensemble des activités à exécuter.

L'ordonnanceur, quant à lui, détermine les priorités de ces activités à exécuter en fonction de l'état global du système (blackboard, structure de contrôle...) et choisit l'activité la plus prioritaire. Cette priorité est fonction de la zone de données sur laquelle la SdC travaille, de son type et aussi de l'objet sur lequel la SdC va appliquer son savoir. Ce type de l'objet est pris par l'intermédiaire d'une fonction objectif associée aux SdC.

### III.2.2 Implantation à partir de smeci

Smeci est un générateur du système expert qui dispose d'une représentation "objet" des connaissances. Ce générateur permet une mise en oeuvre aisée du blackboard comme surcouche logicielle du système.

La première réalisation d'un blackboard pour l'aide à la conception de contacteurs en électrotechnique avait été faite par A. Gentilhomme [GEN]. Le problème ici était plutôt de dimensionner les contacteurs, de choisir des bons paramètres des machines électriques.

Pour ce type de problème, l'accent avait été mis sur la cohérence des paramètres à choisir (la remise à cause des paramètres à chaque modification d'un paramètre ...). Par conséquent, un regroupement des sources de connaissances en quatre types avait été choisi, sur lequel on a géré les contributions des différents experts. L'autre critère qui avait servi à mesurer la priorité de chaque intervention est l'objectif calculé pour chaque intervention.

Au laboratoire d'Électrotechnique de Grenoble, E. Chotin a construit une structure de blackboard qui s'appuie sur Smeci, et que nous avons utilisé [CHO].

Dans le cas du problème de reprise de service, nous aurons à traiter plutôt un problème de planification où l'enchaînement des actions joue le rôle le plus important. Le mécanisme de contrôle ici doit permettre une planification des actions selon quelques hiérarchies spécifiques au problème de reprise de service. Ces hiérarchies sont: la décomposition d'un problème en sous-problèmes, un classement des actions en actions stratégiques, actions tactiques et des manoeuvre, et de même que le mécanisme dit "proposition et test". Ainsi, le mécanisme de contrôle ici doit être organisé différemment.

Pour ces problèmes, nous avons donc introduit dans le système différents niveaux d'abstraction.

Dans la suite, nous allons présenter les grandes lignes de cette mise en oeuvre. Pour plus de détails se reporter à [GEN] et [CHO].

#### Les différents niveaux d'abstractions:

Les SdC travaillent chacune sur certaines zones de données du blackboard. Elle le divisent ainsi en plusieurs zones, appelées "niveaux d'abstractions" du blackboard, ou niveaux d'entrée de la SdC.

La classification des SdC en différents niveaux d'entrée peut représenter:

- + une décomposition du processus de résolution d'un problèmes en plusieurs sous-problème. Par exemple: la reconstitution du réseau est composé de la reconstitution dans des petites zones et de l'interconnexion de ces zones.
- + des étapes intermédiaires pendant la résolution du problème: proposition des actions, vérification de ces actions, application.

+ des raisonnements sur plusieurs niveaux de planification: stratégique, tactique, procédural.

L'ordonnanceur du blackboard prend en compte cette classification en donnant à ces niveaux des priorités différentes. Dans notre système, ces priorités sont croissantes en tel des niveaux. Par conséquent, L'enchaînement des interventions des SdC pendant la résolution de problème dépend la hiérarchie de ces niveaux d'entrée sur le blackboard.

Les différentes classes d'experts :

Cette classification est basé sur la nature de la contribution des experts dans la résolution du problème. Trois grandes catégories d'interventions qui conditionnent différemment la poursuite du raisonnement sont proposées.

- *Classe des Hypothèses :*

Les SdC de la classe des hypothèses sont ceux qui vont générer plusieurs états en parallèle à partir de l'état courant (un état correspond à une configuration particulière des données, c'est à dire à une étape dans l'élaboration de la solution). Chacun de ces nouveaux états correspond à un point de vue indépendant dans le raisonnement (voir fig.12, extrait de [GEN])

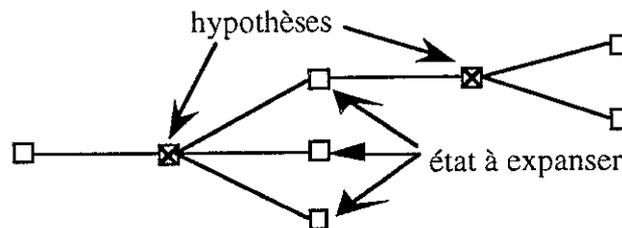


Fig.12 création des états par la SdC type hypothèse

Le choix de l'état dans lequel le contrôle va poursuivre le raisonnement repose sur une fonction d'évaluation d'états.

- *Classe des Calculs :*

Ce sont les SdC qui s'occupent de la préparation de la solution par le calcul d'un ou plusieurs paramètres.

- *Classe des Contraintes :*

Ces SdC sont chargé d'examiner la validité de la solution courante. Lorsqu'un contrainte n'est pas satisfait, le contrôle abandonne la solution courante et revient à une autre branche du raisonnement (voir Fig.13, extrait de [CHO]).

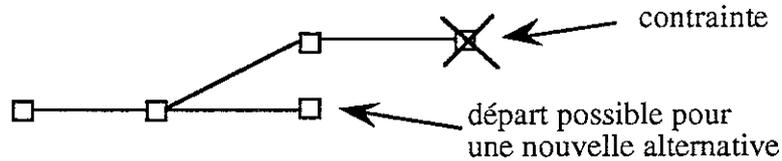


Fig.13 création des états par la SdC type contrainte

*Choix de la meilleure SdC selon le type:*

Parmi les SdC capables d'intervenir, le contrôle doit en choisir une parmi celles des trois classes définies précédemment. La priorité est donnée selon l'ordre suivant: contrainte, calcul, hypothèse.

Cette hiérarchisation des classes de SdC permet de faciliter le travail du contrôle, mais il est tout à fait possible que dans un état donné on ait à choisir une action parmi celles de plusieurs SdC d'une même classe.

Dans ce cas le concepteur peut rajouter la notion d'**objectif** attaché à chaque expert.

#### La fonction objectif :

Cette fonction (associée à chaque SdC) permet de choisir la meilleure SdC parmi les SdC capables d'intervenir, qui ont le même niveau d'entrée et qui sont dans la même classe. La définition de chaque objectif est évidemment étroitement liée à l'application traitée, c'est pour cette raison qu'elle ne peut être effectuée que par le concepteur.

Cette fonction doit retourner une valeur réelle qui peut être constante ou qui peut varier selon le sous-ensemble des données associées à la SdC. Pour cela, il est nécessaire d'introduire la notion d'*action d'une SdC*.

Une action caractérise une SdC et un sous-ensemble de données du problème, sur lequel peut s'appliquer le savoir de cette SdC. Ainsi pour un même SdC il peut exister plusieurs actions lorsque celui-ci peut appliquer son savoir sur plusieurs sous-ensembles distincts de données.

Le problème de sélection de SdC la plus appropriée à chaque cycle, se ramène donc au choix de la meilleure action à réaliser.

Mécanisme du choix de la SdC à appliquer:

Le critère de choix de la SdC à appliquer dans notre système a les priorités suivantes:

- Parmi les SdC applicables, celle qui a le plus haut niveau sur le blackboard est la plus prioritaire à appliquer.

\* Ensuite, parmi les SdC de même niveau, la SdC qui a le type le plus prioritaire sera choisi.

\* Enfin, parmi les SdC de même type et de même niveau, celle qui sera appliquée, c'est celle dont la valeur de la fonction objectif est la plus grande.



## Chapitre IV

# Implantation des stratégies de reprise de service sur un blackboard



## CHAPITRE IV

### IMPLANTATION DES STRATÉGIES DE REPRISE DE SERVICES SUR UN BLACKBOARD

#### INTRODUCTION

Dans le chapitre III, nous avons défini trois catégories principales de connaissances: les faits, les règles et les stratégies (Dans la suite, nous utilisons aussi les termes: connaissances *factuelles*, *déductives* et *stratégique* qui sont utilisés dans [GEN])

Du point de vue de l'évolution du système, la connaissance factuelle est assez stable, alors que les deux derniers types de connaissances sont plus volatiles. Les composants du réseau qui sont les données propres au réseau sont un ensemble d'informations statiques. Associées à ces informations statiques pour chaque composant, il y a aussi des informations qui sont des vues du réseau à un instant donné, des liaisons entre les composants à un certain moment. Une base de connaissance orientée objets est une méthode efficace et naturelle pour la représentation de ce type de connaissance.

Les règles heuristiques (connaissance déductives) sont représentées sous forme de règles de production. Conformément à l'architecture Blackboard, nous avons regroupé la connaissance dans plusieurs Sources de connaissances (SdC). Chaque SdC résout un problème particulier. Ce regroupement est basé sur trois aspects: une décomposition d'un problème en sous-problèmes; un classement des actions en actions stratégique, tactiques et des manoeuvres; un mécanisme de propositions et tests. Cette décomposition permettra d'obtenir les briques de base pour l'implantation d'une stratégie de reprise de service.

Le dernier type de connaissance, la stratégie est représenté par un mécanisme de contrôle procédural et par la façon de définir les différents niveaux d'intervention d'une SdC dans la résolution du problème. Ce mécanisme permet de détecter les SdC capables d'agir et de calculer la priorité des SdC selon la nature de leur contribution et leur objectif dans la résolution du problème.

Dans ce chapitre, nous allons présenter en détail les différents modes de présentation de ces trois types de connaissances.

#### **IV.1 REPRÉSENTATION DES CONNAISSANCES FACTUELLES: MODÈLE OBJETS.**

Le foisonnement d'informations attachés à la conduite d' un réseau, le réseau lui-même avec sa structure complexe, la diversité des éléments qui le composent, et le stade actuel des connaissances au sujet de la reconstitution, nous ont fait chercher un modèle de représentation informatique du réseau qui soit performant quant à la structuration des informations et à son évolutivité.

Les données propres au réseau forment un ensemble d'informations statiques représentant l'espace de travail. C'est l'ensemble des données permettant de caractériser les différents ouvrages existants (sites de production, postes THT, lignes, transformateurs, disjoncteurs,... ) et ceci indépendamment de leur état de disponibilité (par exemple la puissance maximale d'un groupe, les impédances longitudinale et transversale d'une ligne,...) Ces données pourraient être représentées par une base de données classiques du type relationnel, ou réseau.

Associés à ces informations statiques, on doit distinguer des états particuliers du réseau, qui sont des vues du réseau à un instant donné. C'est, par exemple, un état de connexité électrique. Ces états résultent du fait que le réseau est composé d'éléments différents qui possèdent chacun une fonction et un comportement propre. Le comportement global du réseau est le résultat direct de l'interaction des comportements particuliers de chaque élément. La difficulté réside dans la représentation du lien existant entre les données statiques et ses comportements. Ce lien est difficilement représentable avec une approche classique base de données. Ce lien est un ensemble de données de type procédural.

Une méthode très puissante pour la représentation des composants du réseau et ses comportements est le modèle objets qui a une application très répandue dans les réseaux électriques [DIL-93].

##### IV.1.1 Rappel sur les modèle objets

Le concept fondamental de la programmation orientée objet est celui de *classe*. Une classe est la représentation générique d'un objet physique complexe ou d'un concept faisant

intervenir des paramètres descriptifs de cet objet ou concept: ses propriétés. A chaque classe sont associées des données déclaratives au champ et des données procédurales ou *méthodes*. Les classes peuvent être organisées hiérarchiquement en fonction du niveau de détail de la description de l'objet, ou de ses propriétés particulières. Cette hiérarchie permet la transmission des propriétés par un mécanisme d'héritage. Une classe définit donc un concept générique pour un ensemble d'objets similaires qui représentent chaque réalisation particulière (ou dite instance) de l'ensemble des données déclaratives de la classe. Les méthodes vont permettre de modéliser un comportement informatique des instances de la classe, c'est-à-dire une réponse de l'objet aux sollicitations extérieures.

Cette notion de classe et d'attachement procédural, permet de décomposer un comportement complexe en comportements plus élémentaires, contenus dans les méthodes attachées à une classe et de transcrire le comportement complexe par un réseau de communication, d'une part entre les objets et d'autre part vis à vis de l'extérieur. Ce concept permet aussi de regrouper au sein d'une même entité (la classe) toutes les connaissances que l'on a d'un objet ou d'un concept physique particulier. L'enchaînement des méthodes par envoi de messages permet non seulement de transcrire l'enchaînement des connaissances mais aussi de faciliter la réalisation des logiciels.

Dans la suite nous allons présenter une décomposition hiérarchique du réseau en classe et les comportements associés à ces classe objets.

#### IV.1.2 Décomposition du réseau

Une manière naturelle de représenter un réseau consiste à décomposer le réseau suivant ses principaux composants. Toutefois, certains concepts attachés à des éléments différents peuvent offrir des comportements similaires comme par exemple, du point de vue de la connexité, une ligne et un transformateur relie deux noeuds électriques même s'ils ont des fonctions différentes. On voit donc la nécessité de créer un concept regroupant ces éléments qui relie deux noeuds électriques: le concept d'arrêt.

Les données relatives à la conduite d'un réseau peuvent se séparer en deux types:

- les données descriptives statique relatives à ce qui existe et à la topologie du réseau et
- les données dynamiques relatives à l'état du réseau et à l'élaboration de la solution.

Les données statiques:

On distingue deux aspects des composants de réseau: la géographie du réseau et les éléments de coupure dans un poste.

Du première aspect, on distingue trois classe (voir fig.14):

- les **postes** qui se spécialisent en **sites de production** (qui sont eux-mêmes connectés à des groupes de productions) et en **noeuds** (les charges)
- les **arrêtes** qui sont constitués de lignes, et de transformateurs,
- les **injections** qui produisent ou consomment de la puissance dans un poste du réseau.

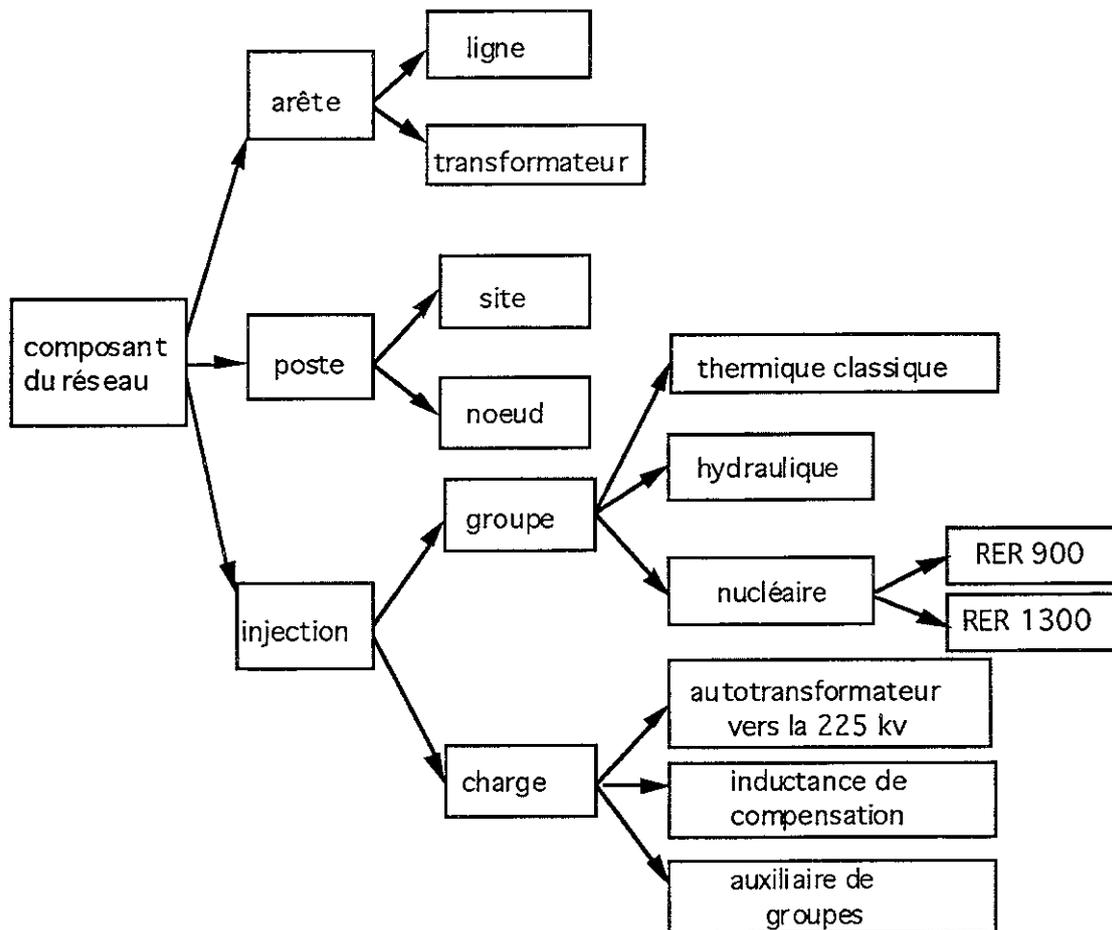


Fig.14 Décomposition du réseau électrique

Le deuxième aspect, les composants dans un poste se divisent en :

- sous-arrêtes: les organes de coupure, et
- noeuds: les jeux de barre.

*Données dynamiques:*

En dehors des classes qui représentent les composants du réseau, il y a aussi des classes représentant des objets intermédiaires qui sont nécessaires pour la résolution du problème. Ces objets sont créés ou modifiés au cours du raisonnement.

Une telle classe est celle du sous-réseau. En fait, elle représente le concept de composants reliés électriquement et ainsi la notion de "sous-tension".

Normalement pour savoir si un composant est sous-tension ou non, il faut parcourir le réseau d'un composant à l'autre suivant l'état de fermeture ou d'ouverture des organes de coupure jusqu'à la rencontre d'un composant sous-tension. Un tel processus est trop lourd et très coûteux en temps. Grâce à la classe sous-réseau, il suffit de vérifier l'existence de ce composant dans la liste des objets appartenant à un sous-réseau. Les autres objets tels que les chemins reliant deux noeuds, ou les surtension apparaîtront au cours de la résolution en suivant changements d'état du réseau.

#### IV.1.3 Comportements du réseau: les méthodes

L'utilisation de l'héritage permet de définir un comportement donnée pour une classe générale et d'affiner ensuite le comportement pour ses sous-classes.

Par exemple, tous les types de groupe ont la notion de réserve primaire exceptionnelle, qui se calcule différemment pour les groupes hydrauliques et les groupes thermiques. Une méthode de calcul de la réserve primaire sera attachée à la classe "groupe". Les particularités de calcul pour les groupes hydrauliques seront définies dans une méthode attachée à la classe "groupe-hydraulique". Lors du calcul de la réserve primaire d'un sous-réseau, le même message pourra ainsi être envoyé à tous les groupes indépendamment de leurs types, le choix de la bonne méthode sera automatique et ainsi les réponses seront différentes.

La plupart des contraintes électrotechniques seront représentées sous la forme de méthodes, permettant ainsi de choisir pour chaque classe terminale, le degré de finesse recherchée.

Dans la suite, nous présentons certains comportements principaux implantés dans notre système. Ce sont:

- La réserve primaire des groupes,
- La modélisation du comportement des charges que sont les réseaux de niveau de tension inférieure reliés au 400KV,
- La répartition de charge dans un sous-réseau et les sensibilités.

Réserve primaire: [DAR-91]

La réserve primaire d'un groupe est la différence entre la position du limiteur et la consigne de puissance à 50 Hz affichée (voir fig.15). Lors d'une prise de charge P, le groupe désigné pilote de la fréquence va monter sa consigne de puissance, et dans la mesure du possible la position de son limiteur, de P. La position du limiteur ne peut dépasser la puissance maximale disponible (PMD)

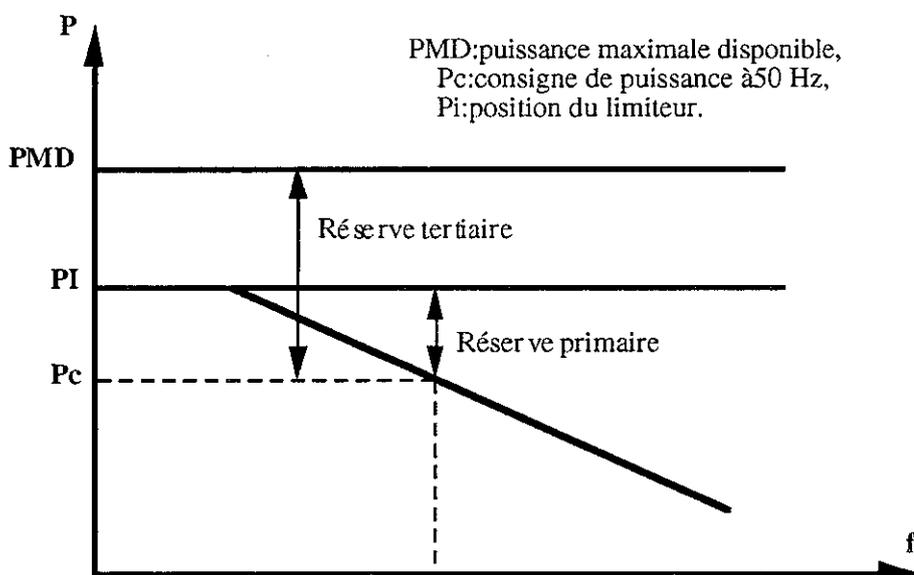


Fig.15

Modèle des charges: [DAR-91]

Les charges du réseau sont vues par les postes à travers les autotransformateurs 400/225 KV. Ces charges peuvent se trouver éloignées et à des niveaux de tension encore plus bas. Ceci implique que connecter quelque part une charge de P MW (et par exemple 0 MVAR) est vue par le poste 400 KV concerné comme une charge de P MW et de Q MVAR. Cette puissance réactive est produite ou consommée par les éléments (l'autotransformateur, les lignes, les transformateurs, ... ) qui se trouvent entre cette charge réelle et le poste 400 KV. La quantité de puissance réactive Q vue, dans ce cas,

par le poste 400 KV lorsque la charge réelle P sera connectée dépend de ces éléments (voir fig.16 )

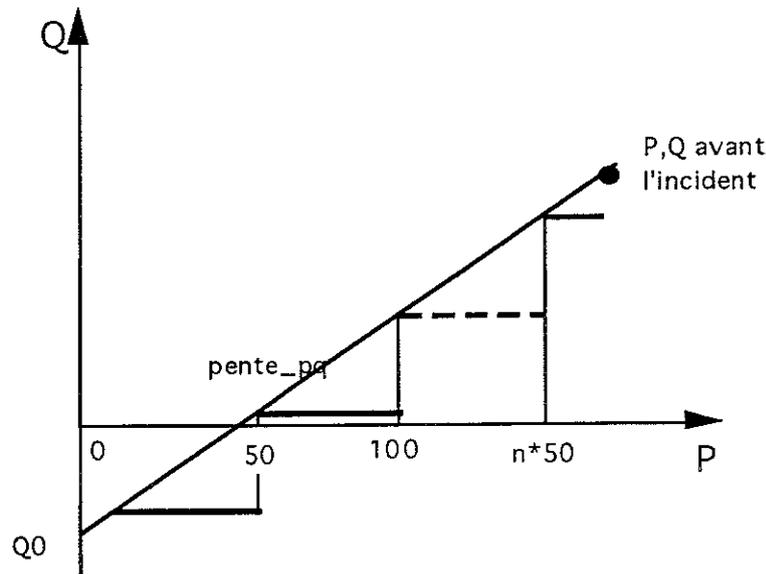


Fig.16 Modélisation de la charge vue des noeuds THT

L'incertitude sur la quantité de puissance soutirée du réseau 400 KV par un autotransformateur est grande. Dans la mesure du possible, les réseaux de niveaux inférieurs sont organisés pour configurer des poches de charges correspondant à 50 MW au plus. Il se peut que lors du retour de la tension, la valeur de la charge trouvée corresponde à une puissance moindre, variant lentement et de façon peu prévisible. La prise en compte de cette incertitude se fait sur la production en imposant des seuils de réserve primaire en fonction de la charge alimentée, pour faire face à ces variations.

Dans une première approche, on modélise la charge par une droite partant de  $P=0$  et  $Q=-50$  MVAR correspondant à la mise sous tension de 100 km de ligne du niveau de tension inférieur (225 KV) et allant jusqu'aux puissances actives et réactives consommées avant l'incident.

Connecter une charge P au poste j implique pour le système expert de connaître le surplus Q de puissance réactive qui sera en même temps consommée ou produite par cette charge vue du poste j. Dans la réalité, ceci correspond à l'ensemble des manoeuvres qu'il faudra effectuer pour la connexion réelle de la charge P.

*Répartition de charge.*

Le calcul de répartition de charge a pour but d'estimer l'état du réseau (tension, courant ... des composants du réseau).

Le modèle "objet" du réseau électrique dans notre système considère la répartition de charge comme un comportement du réseau face à les changements dans sa configuration ou état. Par exemple, à chaque mise sous tension (ou hors tension) d'une ligne, un message est envoyé vers le réseau ou se trouve ce changement. Ce message exécute le calcul de répartition de charge de ce réseau, et tous les paramètres du réseau (tension d'un poste, courant d'une ligne etc...) sont remis à jour.

Le calcul de répartition de charge, c'est à dire la résolution des équations d'admittances nodales ( $YE=I$ ) est réalisé par la méthode "découplé rapide" où on résout les équations:

$$B' \Delta = \Delta P$$

$$B'' \Delta V = \Delta Q/V$$

$\Delta P$  et  $\Delta Q$  représentent respectivement les écarts d'injection actives et réactives.  $\Delta$  et  $\Delta V$  sont les corrections relatives aux variables d'états phase et tension,  $B'$  et  $B''$  sont des matrices symétriques, fonctions de la topologie du réseau.

L'exécution très fréquente de ce type de calcul pendant le raisonnement nous a conduit à utiliser la technique de matrices et vecteurs creux [TIN], [NGO], [NEK] qui permet d'accélérer le calcul de répartition de charge.

Le calcul local [CHA], [NGO] qui permet de réactualiser rapidement une partie des paramètres (influencé par un changement local comme la mise sous tension d'une ligne...) est aussi utilisé.

## **IV.2 Représentation de connaissances déductives**

Les connaissances déductives, les heuristiques, les savoir-faire sont réparties dans plusieurs SdC comme nous l'avons vu dans la partie précédente. La formalisation de ces SdC se base sur un mode de représentation, règles de production, qui a fait ses preuves en intelligence artificielle.

Chaque SdC s'occupe de résoudre un problème spécifique pendant le processus de la résolution du problème. Dans un système où on désire de pouvoir implanter des stratégies différentes, cette décomposition doit d'une part être détaillée pour pouvoir répondre au besoin de différentes stratégies, c'est à dire pour permettre une bonne

réutilisation pour d'autres stratégies. D'autre part, une décomposition trop détaillée s'oppose à l'efficacité du système vis à vis du temps d'exécution. Une répartition appropriée des connaissances dans plusieurs SdC rend le système en même temps flexible et efficace.

Dans cette partie, nous allons présenter la structure générale d'une SdC et la décomposition des connaissances en plusieurs SdC.

#### IV.2.1 Règle et source de connaissance

Revenons tout d'abord sur l'élément essentiel de tout système expert : les règles.

##### 1) Les règles

Une règle de production est un quantum de connaissance, déclaratif et autonome. La syntaxe utilisée pour les règles est quasiment celle du langage naturel. Elle est de la forme:

*Si conditions alors conclusion*

La partie conditions est constituée d'une formule logique qui doit être vérifiée pour que la partie conclusion soit exécutée.

La partie conclusion peut correspondre à l'ajout ou au retrait d'un fait ou d'une hypothèse, au déclenchement d'une action.

Les règles sont regroupées en bases de règles. Ce sont des objets qui permettent de préciser localement l'inférence qui sera réalisée sur les règles. On peut ainsi décrire l'ordre dans lequel ces dernières s'appliqueront, que faire lorsqu'une règle peut instancier de nombreux objets, etc...

Nous pouvons préciser comment vont s'enchaîner les différents modules de connaissance (les bases de règles) en définissant les tâches associées. L'enchaînement des tâches se fait à travers un agenda. Les tâches permettent donc la description d'une partie de la stratégie de résolution.

##### 2) Source de connaissances

L'implantation de SdC en Smeci est faite en lui associant une tâche. Par rapport au concept de tâche, pour mettre en place les SdC dans un modèle Blackboard, il suffit de pouvoir décrire une condition de déclenchement, ainsi que les concepts: niveau d'entrée, type, et objectif. Les SdC sont donc des objets au sens SMECI contenant les champs suivants:

\* Niveau d'entrée qui est calculé par le système en fonction du niveau d'abstraction auquel la SdC appartient. Cette valeur sert de degré de priorité pendant le raisonnement.

\*La condition de déclenchement qui comporte deux parties; l'une définissant les conditions requises sur le tableau, l'autre les événements sur lesquels la SdC peut réagir.

\*L'objectif qui contient le nom d'une fonction permettant le calcul de l'objectif. Cette fonction sera utilisée pour déterminer l'importance de la source en fonction des objets instanciés dans la condition de déclenchement. Elle devra rendre une valeur réelle: plus cette valeur est grande, plus la proposition d'action est importante.

Ce n'est que la définition de l'objectif qui est stockée par les SdC. L'évaluation de cette fonction sera faite en fonction des objets instanciés dans la condition de déclenchement de la source.

#### IV.2.2 Décomposition de connaissances pour la reprise de service

Compte tenu des connaissances utilisées dans les trois stratégies présentées dans le chapitre II, nous avons défini dans un premier temps 19 SdC. Pour la reprise de service, la répartition des connaissances dans ces 19 SdC s'est fait par une décomposition hiérarchique selon les trois aspects suivants:

\* Décomposition d'un problème global en sous-problèmes :

Division du réseau en plusieurs zones d'action où les actions sont menées en parallèle. Les connaissances sur ce sujet sont regroupées en 4 SdC : *Initialisation* (Démarrage du système); *Zones-initialisation*, *Z-cherche* (cherche le chemin qui relie deux zones); *Z-propos* (proposition d'interconnexion de deux zones).

Division du processus de reprise de service en deux étapes: construction d'une ossature (ou l'interconnexion des parties sous tension dans le cas de la stratégie par zones) et renforcement du sous-réseau résultant. Ce sont les SdC: *Interconnexion* (ou bien *renvoi-de-tension*) et *renforcement*.

\* Classement des actions en actions stratégiques, tactiques et manoeuvres

C'est un mode de pensée naturelle: fixer d'abord un but général (choisir deux parties à relier), chercher le moyen pour y arriver (chercher le chemin à interconnecter) et réaliser ce moyen (des manoeuvres). Nous pouvons citer les SdC suivantes: *propos d'interconnexion* ( ou bien *propos-de-renvoi-de-tension*); *propos-de-renforcement*; *rherche-chemin-d'interconnexion* (ou bien *cherche-chemin-de-renvoi-de-tension*), *rherche-renforcement* et en fin les *manoeuvres*.

\* mécanismes de propositions et tests (cf. fig.17)

Une proposition d'actions doit être validée par le test avant de la mettre en oeuvre. Dans le cas où elle ne répond pas aux contraintes, les actions correctrice doit être proposées. Dans notre système, ce processus est réalisé par les SdC : *propos d'interconnexion* ( ou bien *propos-de-renvoi-de-tension*); *propos-de-renforcement*; *verification-de-tension* et *R-surtension* (résolution de surtension)

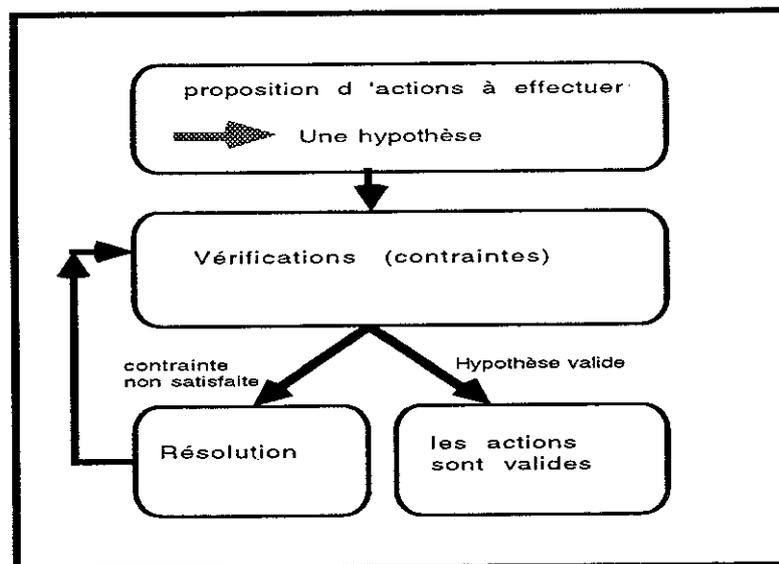


Fig.17 Mécanismes de propositions et tests

Nous allons maintenant présenter en détail ces 19 SdC:

1) *Initialisation*: démarrage du système

C'est la première SdC à activer. Elle a pour but de diviser le réseau en zones. Dans notre cas, ces zones sont prédéfinies et se composent de certains composants du premier niveau de détail: postes, lignes et injections.

2) *Zone-initialisation*: initialisation dans chaque zone.

Elle prépare toutes les données nécessaires pour la reprise de service dans chaque zone. Elle cherche les parties connectées (électriquement) et encore en service du réseau par l'envoi du message "sous-tension" d'un composant à l'autre . Elle peut calculer ainsi la répartition de charges et former les objets "sous-réseau" qui sont les parties sous-tension du réseau. Ces parties peuvent être les résultats d'une scénario FIDEO. Un seul groupe de type TS1 est considéré aussi comme un sous-réseau.

3) *Z-cherche*: recherche des chemins qui relient les zones

Une fois que les zones sont reconstituées, un chemin est recherché pour l'interconnexion entre ces zones. Cette recherche est effectuée selon le critère du chemin le plus court. Ces chemins peuvent être aussi pré définis.

4) *Z-propos*: proposition d'interconnexion de deux zones

Elle est chargée de choisir parmi les zones reconstituées les deux zones à relier. Dans le cas du réseau Français, ces choix sont pré définis car ils ne sont pas nombreux.

5) *Cherche-chemin-d'interconnexion*: recherche de chemin d'interconnexion

Cette SdC est utilisée dans le cas de la stratégie avec zones.

Pour chaque sous-réseau (une zone sous tension), recherche de son sous-réseau le plus près (impédance série minimale) et du chemin correspondant, composé de postes et d'arêtes. Ces triplets (sous-réseau départ, arrivée et chemin) constitueront des interconnexions possibles par le chemin le plus court.

6) *Cherche-chemin-de-renvoi-de-tension*: recherche du chemin de renvoi de tension

Cette SdC est utilisée dans le cas de la stratégie avec ossature.

Elle a la même fonction que *Cherche-chemin-d'interconnexion*, les seules différences sont les suivantes:

- le chemin est recherché sur cette ossature.
- le chemin est recherché entre deux sous-réseaux aussi bien que entre un sous-réseau et un poste sur cette ossature.

7) *Cherche-renforcement* : Recherche de chemin de renforcement

Cette SdC cherche tous les renforcements possibles dans un sous-réseau.

8) *Propos-d'interconnexion*: proposition d'interconnexion de deux sous-réseaux

Cette SdC est utilisée dans le cas de la stratégie avec zones.

Elle construit des objets "Propose-Interconnexion" correspondant à chacune des interconnexions possibles. Ce sont des hypothèses indépendantes. Le choix d'une parmi ces propositions se fait par la fonction d'évaluation (voir IV.3)

9) *Propose-de-renvoi-de-tension*

Cette SdC est utilisée dans le cas de la stratégie avec ossature.

Elle a la même fonction que *Propos-d'interconnexion*.

9) *I-contrainte*: vérification des contraintes pour la proposition d'interconnexion courante.

Cette SdC vérifie les contraintes suivants:

- le nombre maximum de sous-réseaux à conduire ( trois sous-réseaux),
- la longueur maximum du chemin d'interconnexion ( cinq postes).

Si une parmi ces deux contraintes n'est pas satisfaite, la proposition sera abandonnée.

10) *Cherche-auxiliaires*: Recherche des auxiliaires du groupe déclenché.

Si un ou les deux sous-réseaux (ou bien le chemin) de la proposition d'interconnexion contient des groupes déclenchés, la SdC a pour but de chercher les auxiliaires de ces groupes pour les réalimenter pendant l'interconnexion.

11) *Cherche-charges*: recherche des charges à reprendre

Si la proposition d'interconnexion contient un ou les deux sous-réseaux à charger rapidement, la SdC cherche de la charge dans le chemin d'interconnexion (et éventuellement dans les sous-réseaux). La charge trouvée est assignée (réservée) pour le ou les groupes qui en ont besoin.

12) *Interconnexion*

Elle propose des manoeuvres à réaliser pour relier les deux sous-réseaux.

13) *Renvoi-de-tension*

Elle propose des manoeuvres à réaliser pour renvoyer la tension selon un chemin

14) *propos-de-renforcement*

Elle construit des objets "Propose-Renforcement" correspondant à chacun des renforcements possibles. Ce sont des hypothèses indépendantes. Le choix d'une parmi ces proposition se fait par la fonction d'évaluation (voir IV.3)

15) *R-contraintes :*

Cette SdC vérifie les contraintes sur la longueur maximum du chemin de renforcement (cinq postes). Si cette contrainte n'est pas satisfaite, la proposition sera abandonnée.

16) *Renforcement*

Elle propose des manoeuvres à réaliser pour renforcer le réseau selon un chemin.

17) *manoeuvres.*

Elle met sous tension un composant du réseau (et par conséquence, le calcul de répartition de charge est effectué)

18) *vérification de tension*

Elle a pour but de vérifier s'il y aura une surtension.

19) *R-surtension*

Elle résout les surtensions par

- la connexion d'inductance,
- la connexion de charge,
- la modification d'une consigne de tension des groupes connectés à un noeud.

### **IV.3 Représentation des connaissances stratégiques**

La connaissance stratégique se traduit par la manière d'enchaîner les actions pour la reprise de service du réseau.

Dans notre système, la représentation de ces connaissances réside dans la manière par laquelle on définit des niveaux d'abstraction, les types de SdC, les objectifs et la fonction d'évaluation des propositions produites par les SdC de type hypothèse. Dans la suite, l'implantation de trois stratégies décrites dans le chapitre II sera présentée.

#### **IV.3.1 Stratégie avec zones**

La fig.18 montre l'organigramme de résolution du problème avec la stratégie avec zones présentée dans le chapitre II.

Le processus commence par la recherche des chemins les plus courts (la distance électrique la plus courte) qui relie deux parties en service séparées du réseau. Parmi ces chemins, on en choisit un comme une proposition d'interconnexion selon certains critères que nous allons présenter plus tard. Cette proposition doit répondre à quelques contraintes. Si cette vérification est positive, on passe ensuite à la recherche des charges dans le chemin et les deux sous-réseaux associés. Celles-ci servent à la montée en charge des groupes qui produisent moins du minimum technique. L'interconnexion se fait ligne par ligne. A chaque mise sous tension d'une ligne, une vérification de surtension sera réalisée. Si il y a une surtension, on essaie de trouver un moyen correctif. A la fin de l'interconnexion, on reçoit un nouveau sous-réseau qui sera renforcé par des liaisons supplémentaires. Dans ce réseau, on cherche des chemins à renforcer et parmi eux un renforcement sera proposé. Ce renforcement doit toujours satisfaire des contraintes. Le renforcement du réseau est réalisé par la mise sous tension ligne par ligne. Le même problème de tension (comme pendant l'interconnexion) peut alors être rencontré et sera résolu de la même façon que précédemment. Le renforcement termine un cycle de base du processus de reconstitution du réseau.

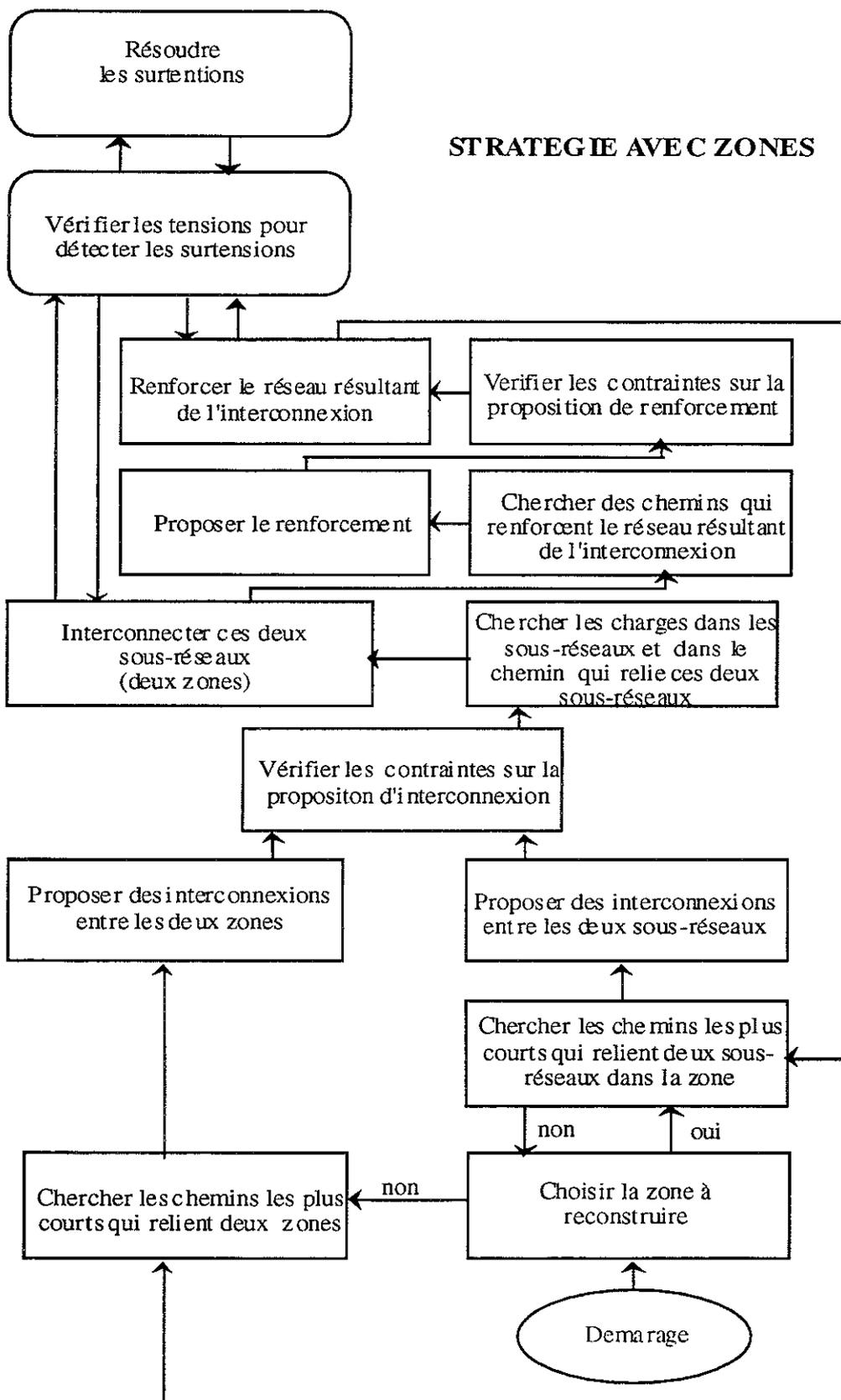


Fig.18 Organigramme de résolution du problème: la stratégie avec zones

L'étude de l'organigramme nous conduit à utiliser 17 SdC présentées au §IV.2 qui sont réparties dans plusieurs niveaux d'abstraction (voir Fig.22).

### 1) Niveaux d'abstraction du blackboard

Un classement des objets sur lesquels les SdC travaillent nous permet de définir plusieurs niveaux d'abstraction du blackboard.

Selon la Fig.18 qui présente la stratégie par zone, on commence par le démarrage du système qui est réalisé par la SdC Initialisation. Les actions suivantes doivent travailler sur une zone quelconque. Par conséquent, nous créons un niveau "Zones" sur lequel la SdC Zone-initialisation travaille (deuxième niveau sur la Fig.22). Ce niveau contient des zones empilées par la SdC Initialisation. Parmi ces zones, la SdC Zone-initialisation va choisir une comme la zone à reconstruire et elle détecte les parties sous tension de la zone: les sous-réseaux. Ces sous-réseaux font objets de troisième niveau du blackboard. Dans ce cas, la SdC *cherche-chemins-d'interconnexion* et la SdC *Propose d'interconnexion* choisit deux sous réseaux à interconnecter et proposent cette interconnexion comme objet pour le quatrième niveau.

Les quatre SdC *I-contraintes*, *Cherche-auxiliaire*, *Cherche-charges* et *Interconnexion* travaillent sur cet objet.

Dans le cas où la SdC ne trouve plus une zone à reconstruire, c'est à dire toutes les zones sont déjà reconstruit (le cas "non" sur l'organigramme Fig.18), nous devons passer à l'interconnexion entre les zones. Pour cela, nous choisissons les zones de travail comme les objets du premier niveau sur lequel deux SdCZ-*cherche* et *Z-propose* travaillent.

L'objet proposé par la SdC *Z-propose* appartient aussi au quatrième niveau et le même processus se produit dans ce niveau.

A la fin de l'interconnexion, un nouveau réseau est créé C'est lui qui est l'objet à manipuler pour deux SdC *Cherche-renforcement* et *propose-de-renforcement*. Ainsi le cinquième niveau, est lié à ces deux SdC.

Le sixième niveau est l'objet *proposition-de-renforcement*. Deux SdC travaillent sur ce niveau: *R-contraintes* et le *Renforcement*.

Deux SdC *Interconnexion* et *Renforcement* réalisent sa tâche par la mise sous tension séquentielle ligne par ligne. Cela est réalisé par la SdC *Manoeuvres* qui appartient au septième niveau.

Chacune de ces actions (manoeuvres) demande une vérification des tensions pour détecter la surtension. Cela est fait par la SdC *Verification-de-tension*.

Le dernier niveau est celui de Surtension à lequel on associe l'objet *surtension* créé par la SdC *Verification-de-tensions*. C'est le cas quand il y a une surtension détectée par cette SdC quelque part dans le réseau. La SdC R-surtension associée à ce niveau travaille sur cet objet.

Ce classement nous permet de donner une priorité plus haute à une SdC associée à un niveau plus haut (c-à-d il faut activer cette SdC à priori).

Prenons un exemple :

Pendant le travail de la SdC *Interconnexion*, après une mise sous tension d'une ligne, le calcul de répartition est réalisé et les tensions aux postes sont mises à jour. À ce moment, on a des changements survenus sur deux niveaux: *tensions du poste* et *proposition d'interconnexion*. La SdC *Verification-de-tensions* est activée même s'il y a une modification sur le niveau *proposition d'interconnexion*, car la SdC *Verification-de-tensions* est associée à un niveau plus haut que celui de la SdC *interconnexion*.

Cet ordonnancement de niveaux d'abstractions nous permet de enchaîner des actions dans le raisonnement d'une manière naturelle selon l'évolution du processus de résolution du problème. Et pourtant cela n'est pas suffisant pour synchroniser les SdC, car à chaque niveau d'abstraction sont associés plusieurs SdC. Un classement plus fin est donc nécessaire.

Nous avons regroupé les SdC selon un autre critère: la nature de leur contribution dans la résolution du problème.

## 2) Type des Source de connaissances.

Nous avons classé les SdC dans les trois types suivants:

a) Les SdC de type Hypothèse: elles comprennent les SdC suivantes: propose-d'interconnexion; propose-de-renforcement. Ces deux SdC produisent des points de vue indépendants dans le raisonnement (c-à-d les hypothèses). La SdC Propose-d'interconnexion, par exemple, propose différentes propositions possibles pour interconnecter deux sous-réseaux séparés. Le raisonnement doit se poursuivre avec une

de ces propositions. Dans le cas où on ne réussit pas à raisonner sur cette proposition, on reviendra à une autre proposition.

Le choix de la proposition à poursuivre se fait par une fonction d'évaluation qui calcule la priorité de ces propositions. Cette fonction est présentée par la suite.

b) Les SdC de type calcul: elles comprennent les SdC suivantes: Recherche-chemin-d'interconnexion; Recherche-charges; Interconnexion; Recherche-renforcement; Renforcement, R-surtension. Ce sont des SdC qui calculent des paramètres servant à la résolution du problème. Par exemple, SdC Recherche-charges cherche des charges et leur volume dans le réseau.

c) Les SdC de type contrainte : elles comprennent les SdC : I-contraintes et R-contraintes. Ce sont des SdC qui permettent de dire si on se trouve dans une voie sans issue, car certaines conditions restrictives ne pourront être respectées. Par exemple, la SdC I-contraintes vérifie si le chemin à interconnecter est trop long. Si c'est le cas, il arrête le raisonnement en cours et revient à une autre proposition.

### **3) Objectifs des Sources de connaissance**

Les SdC qui sont dans un même niveau d'abstraction et qui ont même type, ont chacun un objectif qui permet de classer entre eux. Par exemple, la SdC Chercher-charges a une valeur objectif supérieure à celle de Interconnexion. Cela lui permet de se déclencher avant que la SdC Interconnexion. Dans le tableau de synthèse, la SdC ayant un objectif supérieur est placée à droite de celle qui a un objectif inférieur.

### **4) Choix d'un point de vue par évaluation**

Les deux SdC de type hypothèse Z-propose, propose-d'interconnexion et propose-de-renforcement donnent plusieurs propositions à choisir. Le choix de ces propositions s'appuie sur une fonction d'évaluation. Cette fonction nous permet de réaliser la partie de la stratégie qui concerne l'interconnexion et le renforcement du réseau.

#### Fonction d'évaluation servant à l'interconnexion de deux zones

Les priorités pour l'interconnexion entre deux zones sont prédéfinies. Il suffit de donner à chaque proposition une valeur correspondante à sa priorité.

### Fonction d'évaluation servant à l'interconnexion de deux sous-réseaux dans une zone

Cette fonction calcule la priorité de chaque proposition selon plusieurs critères.

Pour choisir deux sous réseaux à interconnecter, on distingue les critères propres à chaque sous-réseau (qui dépendent de l'état du réseau) et des critères extérieurs.

On propose d'abord toutes les interconnexions possibles, en prenant en compte: le critère de distance électrique, les critères de priorité imposés par la charge rapide des groupes nucléaires, et par la réserve primaire.

#### *Critères propres*

On utilise deux notions liées au réseau *manque-charge* et *en-danger* comme des critères servant à l'interconnexion.

Un sous-réseau se trouve dans l'état en-danger si sa réserve primaire ne lui permet pas de faire face :

- Aux fluctuations de la charge (elle doit être supérieure à un certain pourcentage paramétrable de la charge totale alimentée dans le sous-réseau ),
- A la perte d'un groupe (elle doit être supérieure à la consigne de puissance du groupe qui fournit le plus de puissance dans le sous-réseau. Cela ne peut s'appliquer que lorsqu'il y a plus d'un groupe dans le sous-réseau).

Un sous-réseau se trouve dans l'état manque-charge s'il y existe au moins un groupe à charger rapidement.

Si le sous-réseau est de type manque-charge, une interconnexion sur site est d'abord envisagée, puis une autre interconnexion (au moins une ligne à mettre sous tension). Si le sous-réseau n'est pas de type manque-charge, ni en danger du point de vue réserve primaire, les interconnexions sur site sont envisagées lorsque toutes les autres interconnexions sont réalisées.

#### *Critères extérieurs*

Le critère le plus important pour le choix de sous-réseaux à interconnecter est la distance électrique (impédance série du chemin). A partir du moment où il ne s'agit pas de couplage de groupes sur un même site, lorsqu'un sous-réseau est à interconnecter de façon urgente, on lui choisit le sous-réseau le plus proche suivant la distance électrique.

Ces critères nous permettent de définir une procédure pour calculer la priorité de chaque proposition d'interconnexion comme suit:

Fonction d'évaluation servant au renforcement

D'une manière générale, le renforcement des liaisons consiste à mettre sous tension des lignes à 400 KV entre deux noeuds sous tension d'un même sous-réseau.

On distingue alors la mise en parallèle de ligne (ou de liaison) qui consiste, lorsque cela est possible à mettre sous tension des lignes entre deux noeuds sous tension d'un même sous-réseau qui étaient déjà reliés par une ligne (voir Fig. 19)

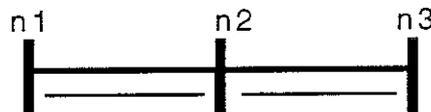


Fig. 19 Renforcement: mise en parallèle

et le remaillage ou rebouclage, qui consiste à mettre sous tension une file reliant deux noeuds d'un même sous-réseau . On peut trouver deux cas :

- une file qui comprend au moins un noeud hors tension si les deux noeuds étaient déjà reliés par une ligne (voir Fig.20)

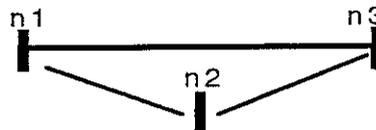


Fig.20 Renforcement: rebouclage par plusieurs lignes

- une file qui peut se réduire à la mise sous tension d'une seule ligne si les deux noeuds étaient reliés par plus d'une ligne en série (voir Fig.21)

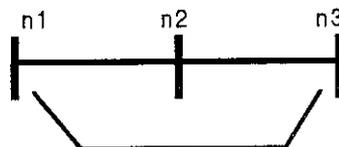


Fig.21 Renforcement: rebouclage par une ligne

*Le choix de renforcement*

Après une interconnexion, on considère les renforcements possibles dans le sous-réseau résultant, avec les priorités suivantes :

1. mise en parallèle de liaisons vers les TS2 : en cas de perte d'une ligne les auxiliaires d'un groupe à TS2 doivent rester alimentés;
2. mise en parallèle de liaisons vers les groupes connectés : la perte d'une ligne ne doit pas entraîner la formation de réseaux séparés ;
3. les rebouclages ou remaillages possibles par impédance décroissante.

## 5) Tableau de synthèse de la connaissance stratégique

Fig.23 présente le tableau de synthèse des connaissances stratégiques implantées dans notre système.

Dans ce tableau, les niveaux d'abstraction du blackboard sont ordonnés selon une priorité décroissante de haut en bas et les différents types de SdC sont rangés selon une priorité croissante de gauche à droite. Les SdC qui ont le même type et le même niveau d'abstraction sont rangées de droite à gauche selon une priorité décroissante (cette priorité est définie par leur objectif).

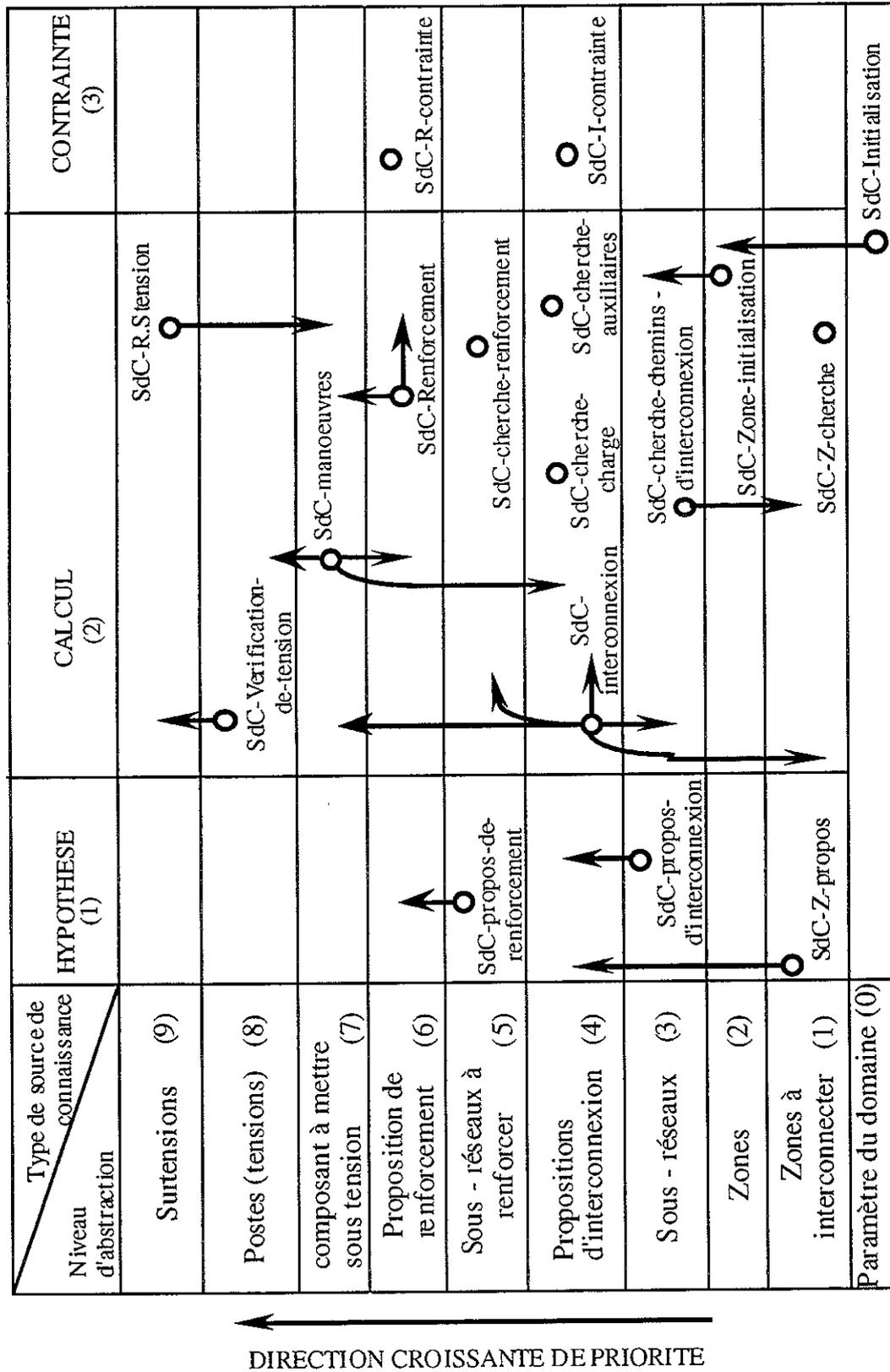
Chaque SdC est associée à un cercle qui positionne son niveau d'entrée, c'est-à-dire le niveau d'abstraction où elle obtiendra les données. Les flèches associées à ce cercle indiquent les niveaux où la SdC rend ses résultats (niveau de sortie).

## 6) Un cycle de base de raisonnement du système

Voici le cycle principal de raisonnement du système : lors du démarrage du système, la source de connaissance SdC-Initialisation déclenche et choisit des zones de travail où l'on va réaliser la reprise du service. Cela commence le cycle du système :

1) La SdC-Zone-initialisation forme les sous-réseaux qui sont les parties liées électriquement par l'envoi du message "sous-tension". Cela lance aussi le calcul de répartition de charge et met à jour les tensions des postes.

2) *Reception* : Les SdC-verification-de-tension, SdC-cherche et SdC-I-propos deviennent activables (à cause de changements dans leur niveau d'entrée). Elles sont mises dans une liste d'attente.



Strategie par zones: Tableau de synthèse de la connaissance

Fig.22

3) *Sélection* : Le contrôle est passé à l'étape de sélection : il n'y a que trois candidats SdC-verification-de-tension, SdC-cherche et SdC-I-propos. SdC-verification-de-tension est sélectionnée car elle est au plus haut niveau.

4) *application*:: l'exécution de SdC-verification-de-tension peut éventuellement créer les Surtensions qui rend la SdC-R.surtension activable.

5) *Reception* : ajoutation éventuelle de la SdC-R.surtension dans la liste d'attend.

6) *Sélection* : SdC-cherche-chemin est sélectionnée parce que parmi les SdC au même niveau elle a le type Calcul. (le cas d'existence de surtension, on parlera plus tard).

7) *application*: SdC-cherche-chemin cherche les chemins qui servent à l'interconnexion de deux sous-réseaux.

8) *Reception* : rien ne se produit.

9) *Sélection et application*: SdC-I-propos, à son tour, est déclenchée et crée des propositions d'interconnexion. Cela fait apparaître des événements sur le niveau Proposition d'interconnexion.

10) *Réception* : les SdC-I-contrainte, SdC-cherche-charge, SdC-interconnexion sont reçues et mises dans la liste d'attend.

11) *Sélection* : SdC-I-contrainte.

12) *application*: SdC-I-contrainte. Le système peut être arrêté ici et poursuivre une autre proposition. On suppose ici tout se passe bien (tous les contraintes sont satisfaisantes).

13) *Réception* : rien ne se produit.

14) *Sélection et application*: SdC-cherche-charge cherche les charge à utiliser pendant l'interconnexion.

15) *Réception* : rien ne se produit.

16) *Sélection et application*: SdC-interconnexion choisit un manoeuvre (un composant à mettre sous tension).

16) *Réception* : SdC-manoeuvre est reçue.

17) *Sélection* : SdC-manoeuvre.

18) *application*: SdC-manoeuvre met sous tension le composant en question et envoie le calcul de repartition de charge. Cela modifie la tension aux postes. Ce composant est supprimée du chemin d'interconnexion en cours et donc à ce niveau apparaît des événements qui vont activer la SdC-interconnexion (pour continuer l'interconnexion avec le reste du chemin). À la fin de l'interconnexion, un nouveau réseau serait créé et il sera renforcé dans les phases suivantes. Cela modifie aussi le niveau Sous-réseaux.

19) *Réception* : SdC-verification-de-tensions.

20) *Sélection* : SdC-verification-de-tensions.

21) *application*:: SdC-verification-de-tensions: si les surtensions apparaissent, il y aura des événements sur le niveau Surtensions.

\*) Le cas où il y a des surtensions

22-\*) *Réception* : SdC-R.Stension est reçue.

23-\*) *Sélection* : SdC-R.Stension.

24-\*) *application*: SdC-R.Stension crée des manoeuvres pour résoudre les surtensions---> pas (16).

\*\*) Le cas où il n'y a pas de surtension

---> le cas l'interconnexion est soit finie soit non.

A) Le cas l'interconnexion n'est pas encore finie

22-\*\*-A) *Réception* : SdC-Interconnexion --->16).

B) Le cas l'interconnexion est finie

22-\*\*-B) *Réception* : SdC-R-cherche et SdC-R-propos sont reçus.

23-\*\*-B) *Sélection* : SdC-R-cherche.

24-\*\*-B) *application*: SdC-R-cherche.

25-\*\*-B) *Sélection et application*: SdC-R-propos provoque éventuellement des événements au niveau Proposition de renforcement.

s'il n'y a pas de renforcement ---> (6).

26-\*\*-B) *Réception* : SdC-R-contrainte et SdC-Renforcement sont reçus.

27-\*\*-B) *Sélection et application*: SdC-R-contrainte.

28-\*\*-B) *Sélection et application*: SdC-Renforcement choisit un manoeuvre à effectuer ---> (16).

#### IV.3.2 Reconstruction des ossatures régionales

Il s'agit de la stratégie de reconstitution des ossatures régionales présentée dans le chapitre II.

Par rapport à la stratégie par zones, la seule différence est la recherche des chemins d'interconnexion. Ici, on essaie de renvoyer la tension vers le poste qui se trouve sur l'ossature à partir d'un sous-réseau (zone sous tension). Les auxiliaires des groupes déclenchés sont recherchés pour les alimenter pendant le renvoi de tension.

L'organigramme correspondant à cette stratégie est présentés à la fig.23 avec en traits gras les modifications par rapport à l'organigramme fig.18.

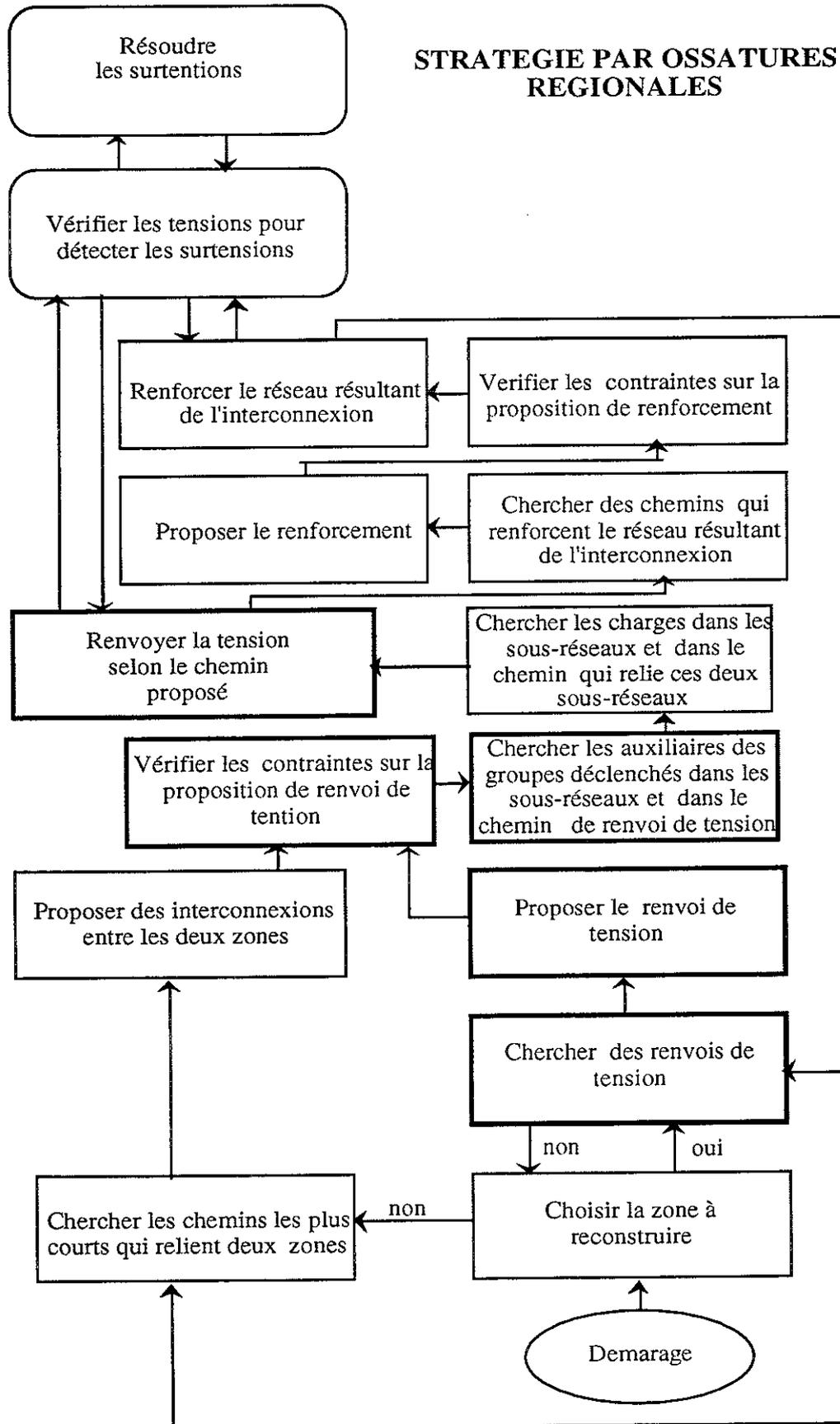
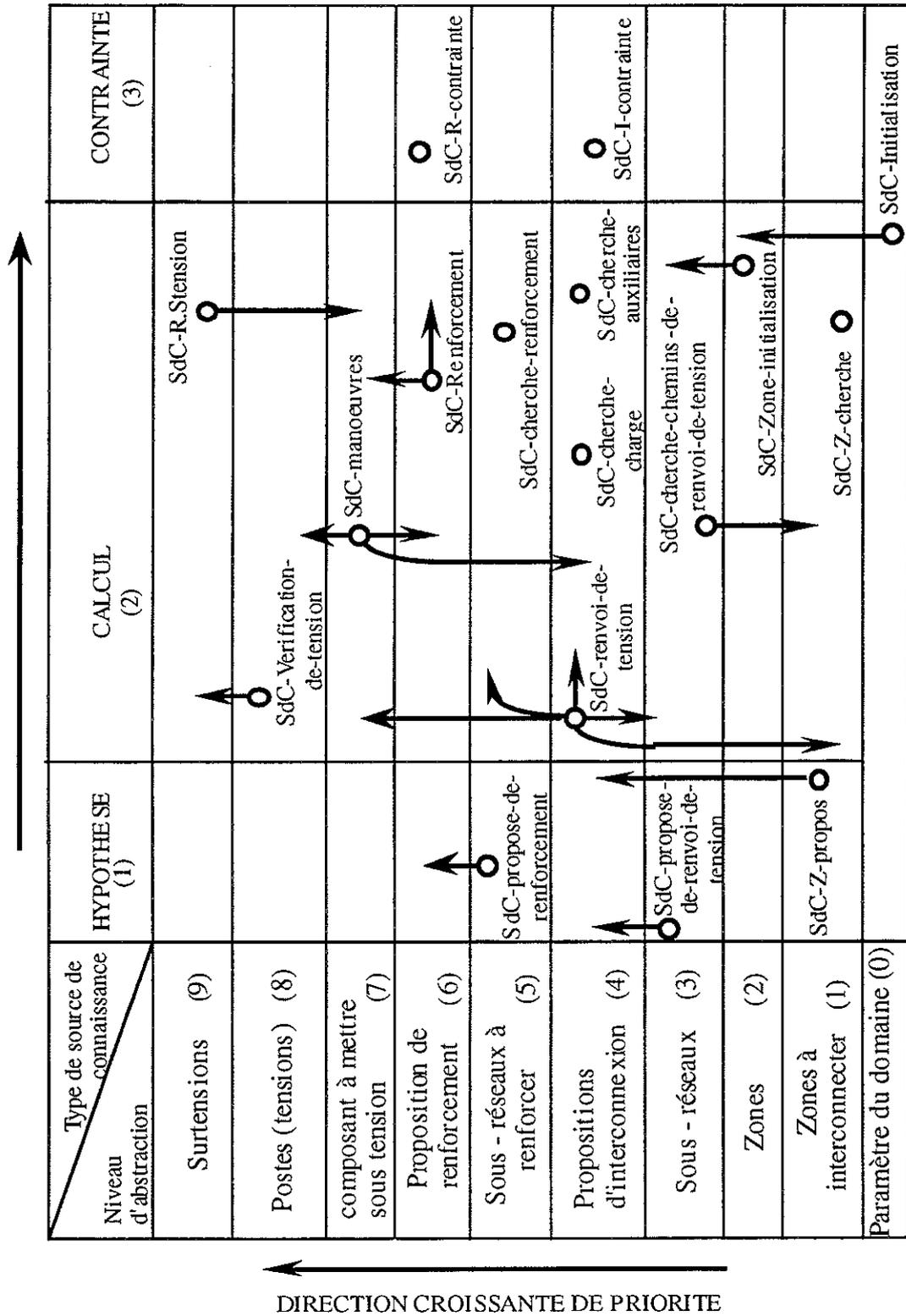


Fig.23 Organigramme: reconstitution des ossature régionales

Le tableau de synthèse de la connaissances implantées sur un blackboard est présenté dans la Fig. 24.



Stratégie par ossatures régionales: Tableau de synthèse de la connaissance

Fig.24

IV.3.3 Reconstruction des ossatures régionales avec nouvelles hypothèses

L'organigramme de cette stratégie est présenté sur la fig.26

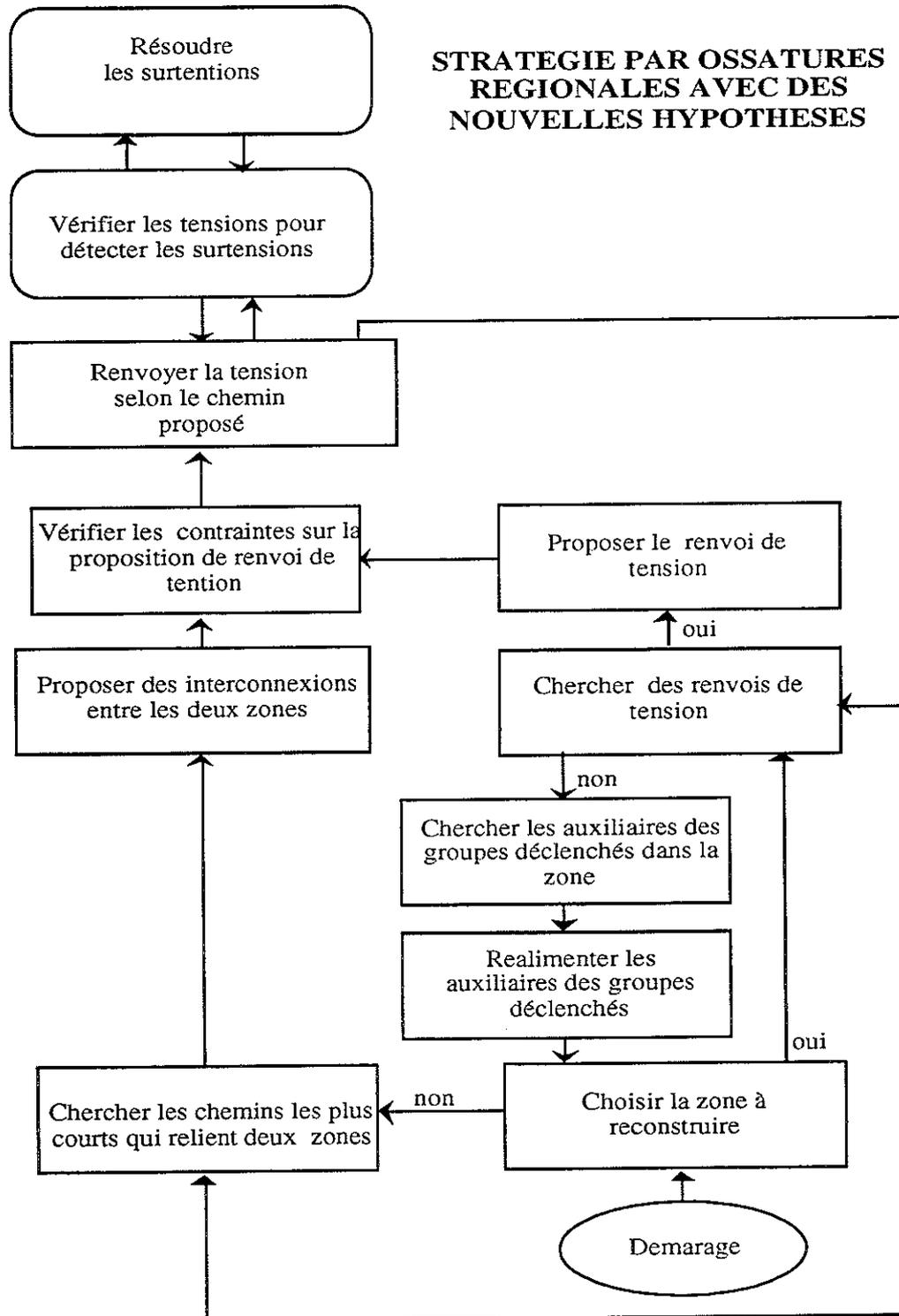
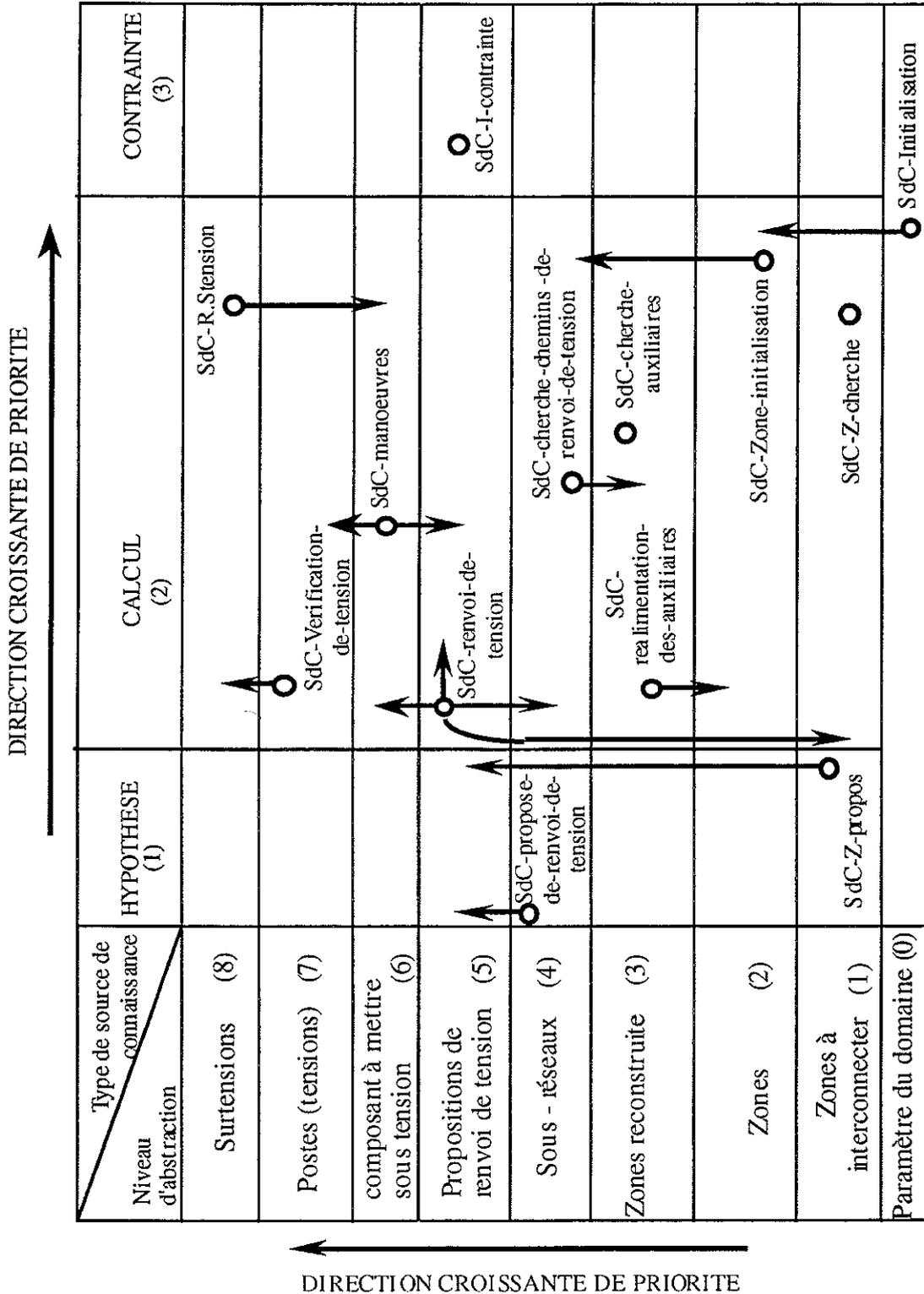


Fig.26 Organigramme: Reconstruction des ossatures régionales avec nouvelles hypothèses

Les actions de renforcement sont supprimées. La réalimentation des auxiliaires sont retardé jusqu'à la fin de la reconstruction de chaque zone.

Le tableau de synthèse de la connaissances implantées sur le blackboard est le suivant



Strategie par ossatures régionales avec des nouvelles hypotheses: Tableau de synthèse de la connaissance

Fig.27

#### **IV.4 CONCLUSION**

Les méthodes de représentation des connaissances sont bien adaptées au modèle blackboard. La bonne séparation entre les trois types de connaissances: faits, règles et stratégies assurent la souplesse et l'évolutivité du système.

A travers trois stratégies implantées, le système a montré ses capacités et la facilité dans l'implantation ou dans la modification d'une stratégie. La classification des SdC selon des niveaux d'entrée permet une bonne structuration d'une stratégie de reprise de service.

Dans un premier temps, 19 SdC ont été construites et servent de "briques de base" pour implanter une nouvelle stratégie. Dans l'avenir, l'utilisation du système pour la simulation de la stratégie de reprise de service enrichira ces SdC.



## Chapitre V

Interventions de l'opérateur  
dans la résolution et interface  
utilisateur.



## CHAPITRE V

### INTERVENTIONS DE L'OPÉRATEUR DANS LA RÉOLUTION ET INTERFACE UTILISATEUR.

#### INTRODUCTION.

L'objectif d'avoir un système qui puisse servir d'une part comme un outil de simulation et d'entraînement des opérateurs et à plus long terme comme aide à la reprise de service, impose l'obligation de disposer un moyen d'intervention de l'opérateur. Ceci doit permettre de réviser la solution proposée par le système, c'est à dire de permettre à l'opérateur de proposer des actions pendant la résolution du problème.

La gestion des interventions de l'opérateur est une tâche compliquée. D'une part, le système doit permettre ces interventions à tous moments et d'autre part elles ne doivent pas perturber le fonctionnement du système et assurer la cohérence des raisonnements.

Le modèle blackboard facilite cette tâche grâce à sa possibilité de gérer indépendamment les sources de connaissances. L'intervention de l'opérateur a été implanté dans le blackboard comme une source de connaissances supplémentaire. Cette SdC permet l'intervention à plusieurs niveaux de détail et à tout moment de la résolution du problème.

Le prototype est développé pour les utilisateurs qui ne sont pas forcément des informaticiens. La communication entre l'utilisateur et le système se fera à travers une interface qui facilite ce travail. Les utilisateurs du système sont divisés en deux types: l'utilisateur de gestion et celui de simulation.

L'interface pour l'utilisateur de gestion a pour but de déterminer :

- \* le réseau qui sera utilisé dans la simulation : les composants, leur connexité, leur disponibilité (connaissances factuelles),
- \* Les savoir-faire qui se regroupent dans plusieurs sources de connaissances (SdC),
- \* Les paramètres de la stratégie : les niveaux d'entrée, la répartition des SdC dans ces niveaux....

Pour l'utilisateur de simulation, l'interface doit lui permettre de :

- \* visualiser le déroulement de la résolution du problème,
- \* intervenir dans la résolution du problème dans le cas de besoin.

Dans notre système, l'interface utilisateur tire parti de toutes les possibilités offertes par les chevauchement d'image partielles, les menus imbriqués et par le maniement d'une souris. Cela permet la création d'un style d'interaction avec l'utilisateur qui est à la fois souple, intuitif et efficace.

L'intervention de l'utilisateur sur la résolution du problème se fait à travers cette interface en utilisant la souris.

#### **V.1 INTERVENTION DE L'OPÉRATEUR.**

Dans la suite, nous présentons l'aspect implantation de cette action dans le modèle blackboard.

L'opérateur joue ici le rôle d'un expert (une source de connaissances). A l'instant où il veut intervenir dans la résolution du problème, il prévient le mécanisme de contrôle en émettant un signal de demande d'intervention. Le mécanisme de contrôle doit être capable de tenir compte de cette demande et donne le contrôle à l'opérateur.

Pour cela, nous avons créé au Blackboard un niveau "intervention" et avons associé à ce niveau la SdC "Opérateur" (voir fig.28).

D'une part, pour que l'intervention se produise au moment voulu, il faut lui associer un niveau plus haut que celui des autres SdC. D'autre part, toutes les actions d'interventions doivent être vérifiées, donc ce niveau doit être placé au dessous des SdC de vérification.

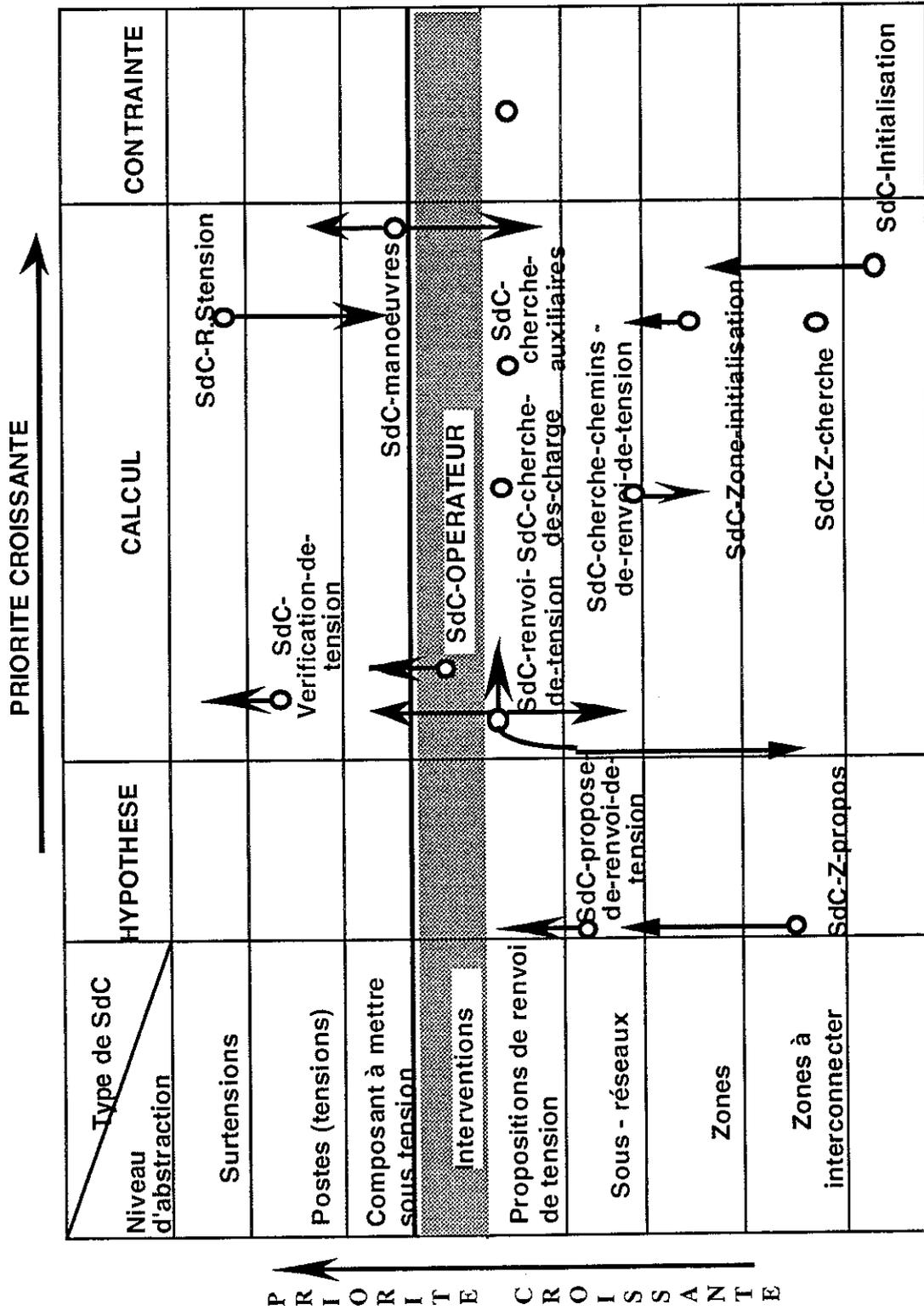


Fig.28

L'intervention de l'opérateur pendant le déroulement du système se fait en choisissant le bouton "intervention" du tableau de bord (voir fig. 29).

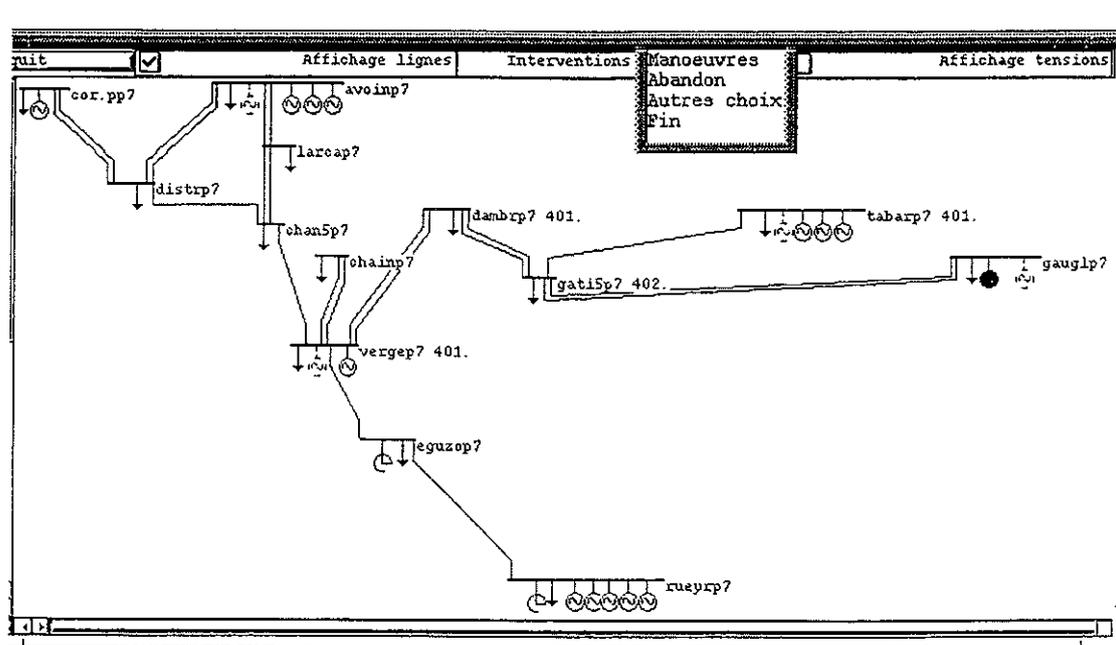


Fig.29

Plusieurs niveaux d'action: stratégique, tactique ou de manoeuvre sont envisagés. En fait, quand on choisit le bouton "intervention", un menu apparaît ce qui permet de choisir parmi les actions suivantes:

- *abandon* : action stratégique qui permet d'abandonner la proposition courante et le système la remplacera par une autre. Le raisonnement continue avec la nouvelle proposition. Les propositions soient des proposition d'interconnexion soient des propositions de renforcement) créés par la SdC de type hypothèse.

- *Autres propositions* : action stratégique qui permet de choisir parmi toutes les propositions une souhaitable et poursuit la résolution avec cette proposition. Une boîte de dialogue présentant une liste des propositions permet d'en sélectionner une (voir fig.30)

- *manoeuvres* : action de manoeuvre qui permet d'exécuter une certaine manoeuvre, par exemple, une mise sous tension ( ou hors tension) d'une ligne, une prise de charge, une modification de la consigne de tension d'un groupe etc..... A travers ces manoeuvres, nous pouvons réaliser des actions tactiques qui par exemple relie deux zones sous tension par un chemin proposé par l'utilisateur.

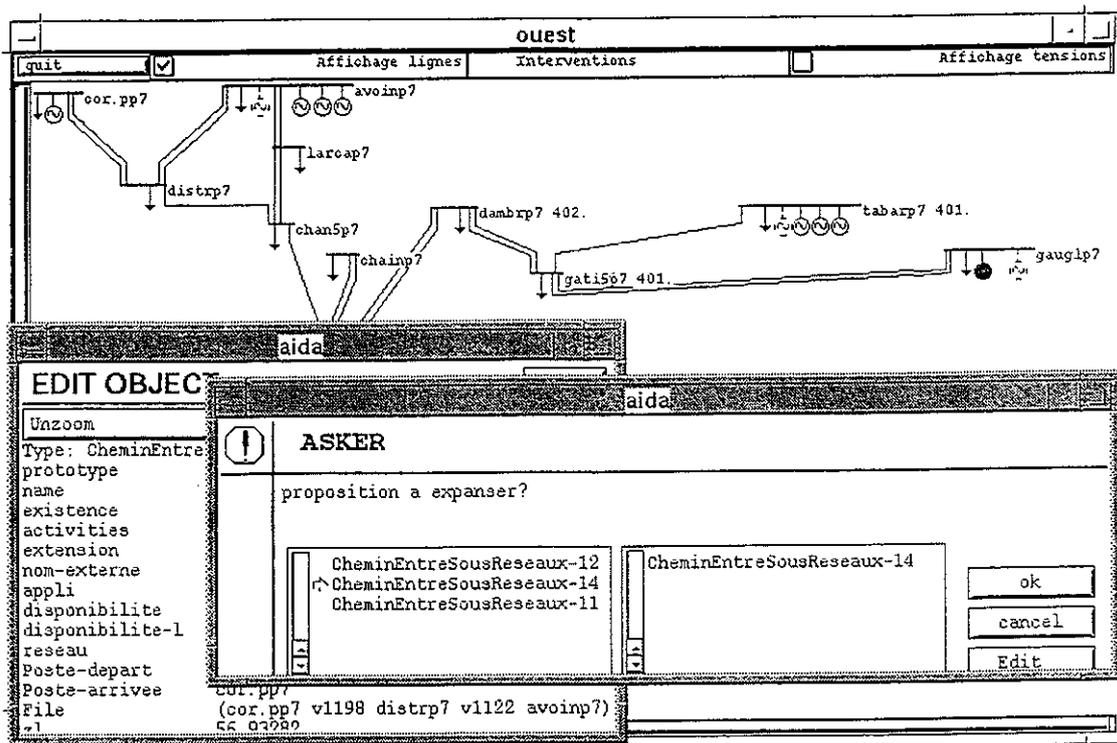


Fig.30

L'utilisateur peut terminer son intervention en choisissant option "Fin". Le contrôle revient alors de nouveau au système.

## V.2 INTERFACE GRAPHIQUE.

Dans un système à base de connaissances, une approche naturelle pour développer l'interface est d'utiliser une présentation des images par objets. Nous avons créé cette interface en utilisant dans notre système l'environnement AIDA. Chaque image présentée par cet outil, est un composant du réseau. A cette image, on peut associer plusieurs comportements qui permettent de manipuler directement et facilement l'objet correspondant.

Toutes les communications utilisateur-système passent à travers un tableau de bord contenu dans une fenêtre (voir fig.31).

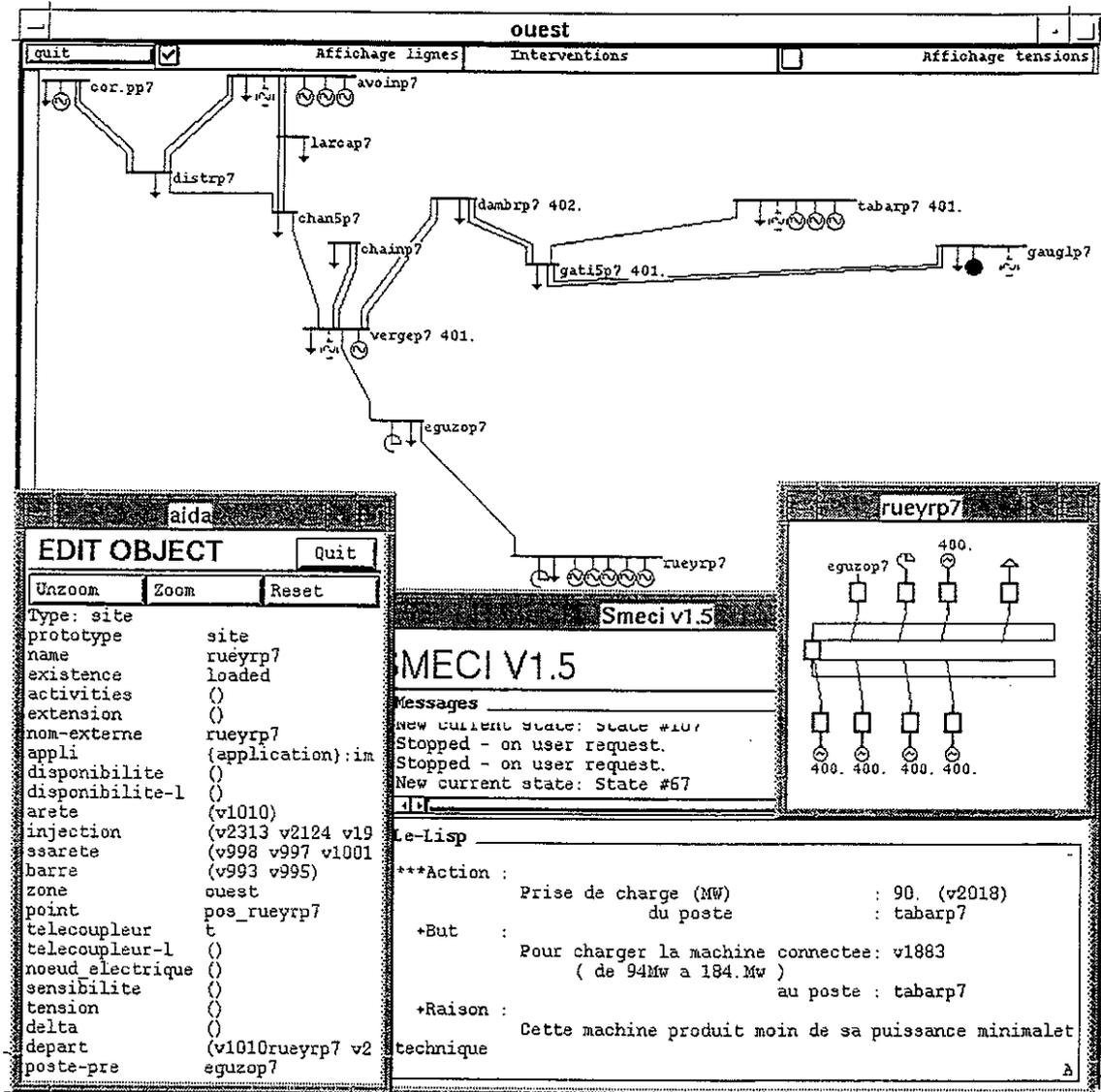


Fig.31

Une partie importante de cette fenêtre présente le réseau : les postes, ses composants associés, leur connexités par les lignes. Elle possède aussi des bancs de défilement permettant de se déplacer dans le réseau affiché au cas où celui-ci est plus grand que la fenêtre d'affichage. Plusieurs modes d'affichage permettent de différencier l'état de ces composants :

\* leur disponibilité :

trait simple : disponible,

trait pointillé : non disponible.

\* sous tension ou hors tension :

couleur rouge : sous tension,

couleur noire : hors tension.

Le système de multi-fenêtrage permet d'afficher plusieurs parties du réseau. Nous pouvons visualiser le niveau de détail des postes.

Toute image du réseau donne accès à l'éditeur d'objets, ce qui permet de déterminer ou de modifier leur paramètres.

Plusieurs boutons qui se trouvent au bord de la fenêtre permettent d'accéder aux multiples fonctionnalités du système : choix de zones de travail, initialisation du système, traitement de fichiers (sauvegarde, chargement d'une zone ...), choix du mode d'affichage (affichage des tensions ou non, affichage des lignes hors tension ou non ...), et passage du contrôle à l'opérateur (intervention de l'opérateur).

Un éditeur particulier de schéma de réseau a été développé pour permettre une création et une modification aisées de ces schémas. Ainsi, le réseau peut être affiché en mode d'édition où toutes les images sont déplaçables. On peut les déplacer à un bon endroit pour obtenir le dessin désiré, tout en garantissant la cohérence avec le modèle du réseau. (la connexité entre les composants).

L'utilisateur peut visualiser le déroulement de la résolution du problème sur ce dessin du réseau. Une autre fenêtre affiche les textes expliquant le raisonnement du système (cf. Fig.35)

### **V.3 CONCLUSION**

L'approche consistant à considérer l'opérateur comme une source de connaissance supplémentaire a permis de résoudre de façon propre et élégante le problème posé par l'intervention de l'opérateur dans la résolution d'une reconstitution. L'interface graphique permet entre autres la mise en oeuvre de cette intervention, la préparation des cas pour la simulation, la visualisation de la résolution,...



## Chapitre VI

# Résultats des simulations sur le réseau français



## **CHAPITRE VI**

### **RESULTATS DES SIMULATIONS SUR LE RESEAU FRANÇAIS**

#### **INTRODUCTION**

Dans ce chapitre, les résultats obtenus par la simulation sur notre prototype sont présentés. Les résultats ont justifié le choix de la scénario de reconstitution du réseau retenue par EDF à l'heure actuel [EDF-1].

Ce choix s'appuie sur une comparaison de différentes stratégies présentées dans le chapitre II selon le critère de temps de reconstitution. Les temps des manoeuvres élémentaires établis dans la note [EDF-2] ont été utilisés.

La répartition de temps pour différents types de manoeuvres a justifié les modifications retenues dans la troisième stratégie et prouvé l'efficacité de cette stratégie.

Le gain important sur le temps de reconstitution a été obtenu en utilisant la stratégie avec critère de temps qui permet de profiter la possibilité de mener des actions en parallèle pendant la reprise de service.

#### **VI.1 MÉTHODOLOGIE DE CALCUL DE TEMPS ET SCÉNARIOS JOUÉS POUR LA SIMULATION.**

Dans cette partie, nous allons reprendre certains cas de simulation réalisés à EDF [EDF-2].

Les opérations de reprise de services se traduisent par un nombre d'actions types:

- 1) des manoeuvres de disjoncteurs de lignes, de selfs, de transformateurs etc...,
- 2) des couplages de groupes thermiques ilotés ou groupes hydrauliques,
- 3) des réalimentation des auxiliaires des tranches nucléaires déclenchées,
- 4) des recouplages de réseaux séparés,
- 5) des recouplages d'ossature synchrones par le biais de télécoupleurs,

6) des reprises de charge.

Cette analyse des actions a conduit à identifier un certain nombre d'opérations élémentaires pour chacune des quelles un délai d'exécution a été établi [EDF-2] (voir annexe A)

Pour la simulation, à titre d'exemple, nous avons choisi deux ossature régionales importantes de la France : ossature Loire et Sud-Est.

La reprise de service du réseau dépend fortement du taux d'îlotage des tranches nucléaires. Les scénarios joués concerneront deux hypothèses quant à ce taux:

- 1) un taux "faible" qui est le cas le plus optimiste, soit 20%;
- 2) un taux "favorable" de 70%.

Pour chaque taux, Il est proposé une répartition géographique "la plus probable" des groupes îlotés. Elle est effectuée de la manière suivante. Sur les groupes couplés avant l'incident, on applique le coefficient de réussite d'îlotage. Par ailleurs, la répartition sur le parc disponible tient compte du nombre de tranches sur site: la probabilité d'occurrence qu'une tranche au moins ait réussi à s'îloter est plus importante sur un site à quatre tranches que sur un site à deux, en tenant compte évidemment des groupes disponibles sur chacun d'eux.

Les deux hypothèses de réussite d'îlotage donnent les configuration de départ suivantes pour les ossatures Loire et Sud-Est :

taux de 20%

- 1) ossature Loire: 2,2 groupes, soit 2 groupes sur 11 tranches disponibles avant incident.
- 2) ossature Sud-Est: 1,8 groupes, soit 2 groupes sur 9 tranches disponibles avant incident.

taux de 70%

- 1) ossature Loire: 7,4 groupes, soit 8 groupes sur 11 tranches disponibles avant incident.
- 2) ossature Sud-Est: 6,3 groupes, soit 6 groupes sur 9 tranches disponibles avant incident.

## VI.2 SIMULATION DE LA STRATÉGIE PAR ZONES

Dans cette partie, nous allons simuler la reconstitution du réseau selon la stratégie par zones (première stratégie présentée dans le chapitre II). L'insuffisance des données sur les FIDEO ne nous permet de réaliser que la simulation pour un cas: taux de groupes îlotés de l'ordre de 70% où nous supposons un scénario " tranche à tranche" pour la réalimentation des auxiliaires des groupes déclenchés.

Un tel taux se traduit pour :

- l'ossature Loire : 8 groupes îlotés sur 11 tranches disponibles avant incident. La répartition suivante peut être proposée:

- \* 3 groupe de Chinon sur les 4 disponible,
- \* 1 groupe de St Laurent sur les 2 disponible,
- \* 3 groupe de Dampierre sur les 4 disponible,
- \* 1 groupe de Belleville sur le seul disponible.

- l'ossature Sud-Est : 6 groupes îlotés sur 9 tranches disponibles avant incident. La répartition suivante peut être proposée:

- \* 1 groupe de St Alban sur les 2 disponible,
- \* 2 groupes de Bugey sur les 2 disponible,
- \* 2 groupes de Tricastin sur les 3 disponible,
- \* 1 groupe de Cruas sur les 2 disponible.

Le processus de reconstitution de l'ossature Loire est présenté dans le tableau 3 de l'annexe B. Elle est constituée après 370 minutes.

Établissement de l'ossature Sud-Est est présenté dans le tableau 4 de l'annexe B. Au bout d'un délai de 120 minutes après le démarrage, l'ossature Sud-Est est constituée et en mesure de se recoupler avec l'ossature Loire.

Les opérations de rebouclage par le massif Central sont les suivantes:

NATURE DE L'OPÉRATION	Temps de réalisation de la manoeuvre	Cumul des temps
1) mise sous U de St Vulbas-Charpenay	2'	2'
2) mise sous U de Charpenay -Bayet	2'	4'
1') mise sous U de Gauglin-Bayet	2'	6'
3) couplage de deux ossatures	5'	11'
4) mise en service de la 2 <sup>ème</sup> ligne St Vulbas-Charpenay	4'	15'
5) mise en service de la 2 <sup>ème</sup> ligne Charpenay -Bayet	4'	19'
6) mise sous U de Tricastin-Tavel	2'	21'
7) mise sous U de Tavel-Tamareau	2'	23'
8) mise sous U de Tamareau-Gaudinière	2'	25'
9) mise sous U de Rueyres-Tamareau	4'	29'
10) mise en service de la 2 <sup>ème</sup> ligne Tricastin-Tavel	4'	33'
11) mise en service de la 3 <sup>ème</sup> ligne Tricastin-Tavel	4'	37'

Compte tenu de 37 minutes pour le rebouclage de deux ossatures, le temps pour que la totalité des opérations soient achevées est de 407 minutes.

### VI.3 SIMULATION DE LA STRATÉGIE PAR OSSATURES RÉGIONALES

Dans cette partie, nous allons simuler la reconstitution du réseau selon la stratégie par ossatures régionales (deuxième stratégie présentée dans le chapitre II). Deux cas correspondant à les deux taux d'îlotage sont étudiés.

#### A) Taux de groupes îlotés de l'ordre de 20%

Un tel taux se traduit pour :

\* l'ossature Loire : 2 groupes îlotés sur 11 tranches disponibles avant incident. La répartition suivante peut être proposée:

- \* 1 groupe de Chinon sur les 4 disponible,
- \* aucun groupe de St Laurent sur les 2 disponible,

- \* 1 groupe de Dampierre sur les 4 disponible,
- \* aucun groupe de Belleville sur le seul disponible.

\* l'ossature Sud-Est : 2 groupes iloté sur 9 tranches disponibles avant incident. La répartition suivante peut être proposée:

- \* 1 groupe de St Alban sur les 2 disponible,
- \* aucun groupe de Bugey sur les 2 disponible,
- \* 1 groupe de Tricastin sur les 3 disponible,
- \* aucun groupe de Cruas sur les 2 disponible.

Le processus de reconstitution de l'ossature Loire est présenté dans le tableau 5 de l'annexe B. Au bout de 179 minutes, elle est constituée.

Établissement de l'ossature Sud-Est est présenté dans le tableau 6 de l'annexe B. L'ossature Sud-Est est constituée et en mesure de se recoupler avec l'ossature Loire au bout d'un délai de 206 minutes après le démarrage de la constitution des ossatures.

Les opérations de rebouclage par le massif Central sont présentées dans §VI.3 et consomment 37 minutes.

Après 243', la totalité des opérations sont achevées.

#### **B) Taux de groupes ilotés de l'ordre de 70%**

Un tel taux se traduit pour :

- l'ossature Loire : 8 groupes ilotés sur 11 tranches disponibles avant incident. La répartition suivante peut être proposée:

- \* 3 groupe de Chinon sur les 4 disponible,
- \* 1 groupe de St Laurent sur les 2 disponible,
- \* 3 groupe de Dampierre sur les 4 disponible,
- \* 1 groupe de Belleville sur le seul disponible.

- l'ossature Sud-Est : 6 groupes iloté sur 9 tranches disponibles avant incident. La répartition suivante peut être proposée:

- \* 1 groupe de St Alban sur les 2 disponible,
- \* 2 groupes de Bugey sur les 2 disponible,
- \* 2 groupes de Tricastin sur les 3 disponible,
- \* 1 groupe de Cruas sur les 2 disponible.

Les processus de reconstitution de l'ossature Loire et Sud-Est sont exactement les mêmes que dans la cas de la stratégie par zone (cf VI.2). Ceci est expliqué par le fait que l'ossature définie par EDF se compose des chemin les plus courts. Par conséquent, le temps pour la reprise de service est aussi de l'ordre de 407 minutes.

Une partie importante du temps de reconstitution est consommée par la réalimentation des auxiliaires et la reprise de charges. Une amélioration de ces opérations (ce qui correspond aux nouvelles hypothèses dans la troisième stratégie présentée au chapitre II) pourrait apporter un gain important.

#### **VI.4 SIMULATION DE LA STRATÉGIE PAR OSSATURES RÉGIONALES AVEC LES NOUVELLES HYPOTHÈSES.**

Dans cette partie, nous allons simuler la reconstitution du réseau selon la stratégie par ossatures régionales en tenant compte de nouvelles hypothèses (troisième stratégie présentée dans le chapitre II). Deux cas correspondant à les deux taux d'îlotage sont étudiés.

##### **A) Taux de groupes îlotés de l'ordre de 20%**

Pour ce taux, la même répartition proposée dans VI.1 est retenue.

Le processus de reconstitution de l'ossature Loire est présenté dans le tableau 7 de l'annexe B. Au bout de 62 minutes, l'ossature Loire est constituée. La réalimentation des auxiliaire peut alors être entreprise sur les neufs autres groupes déclenchés de l'ossature et cela prend 52 minutes (voir EDF-2). Donc, après 114 minutes, l'ossature Loire est prête à recoupler avec l'ossature Sud-Est.

Établissement de l'ossature Sud-Est est présenté dans le tableau 8 de l'annexe B. Après 24 minutes, l'ossature Sud-Est est construit.

La réalimentation des auxiliaires de 7 groupes déclenchés de l'ossature demande 41 minutes. Au total, la constitution de l'ossature Sud-Est consomme 65 minutes.

Compte tenue du temps pour le recouplage et rebouclage de deux ossature (environ 37 minutes, voir VI.3), la constitution de ces deux ossatures consomme 151 minutes.

## **B) Taux de groupes flotés de l'ordre de 70%**

Les actions de reconstitution de l'ossature Loire sont présentées dans le tableau 9 de l'annexe B et consomment 75 minutes.

Le temps pour réalimenter les auxiliaires de trois groupes déclenchés de l'ossature Loire est de l'ordre de 26 minutes (voir DEF-2). Donc, toutes les opérations sont achevées pendant 101 minutes. Le temps demandé pour la constitution de l'ossature Sud-Est (y comprise le temps pour réalimenter des auxiliaires) est moins important, de l'ordre de 60 minutes. Compte tenue du temps pour le recouplage et le rebouclage de deux ossature (37 minutes), le temps total sera de l'ordre de 138 minutes.

### **VI.5 SIMULATION DE LA STRATÉGIE PAR OSSATURES RÉGIONALES AVEC LE CRITÈRE DE TEMPS**

Au chapitre VI.4, nous avons obtenu un gain important du temps de reconstitution du réseau par l'affinement des jeu d'hypothèses dans la stratégie de constitution des ossatures régionales. Dans cette partie, nous allons mettre en évidence un autre gain apporté par exploitation du critère temps qui permet de réaliser des manoeuvres en parallèle.

Prenons l'exemple de constitution de l'ossature Loire dans le cas de taux d'ilotage de l'ordre de 70% (voir VI.4).

En exploitant le critère de temps, des actions pour la constitution de cette ossature (présentées dans tableau 10) sont menées en parallèle dans les trois parties séparées du réseaux (cf. fig.32 ). Le gain apporté est de 15 minutes, donc le temps total pour la constitution de deux ossatures, leur recouplage et leur rebouclage est de l'ordre de 123 minutes.

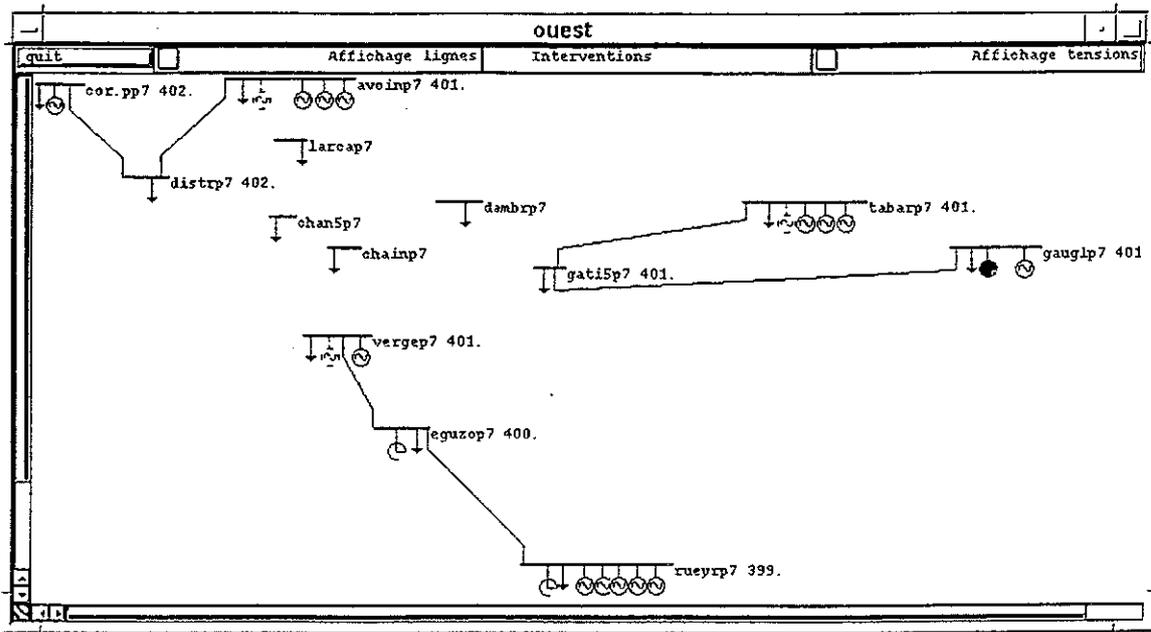


Fig.32 reprise de service en utilisant le critère de temps

## VI.6 CONCLUSION

Les simulations avec les trois stratégies ont donné les résultats présentés dans le tableau récapitulatif suivant :

La stratégie	Temps de reprise de service pour le taux de groupes îlotés de 20%			Temps de reprise de service pour le taux de groupes îlotés de 70%		
	Loire	Sud-Est	Total	Loire	Sud-Est	Total
I				370'	120'	407'
II	179'	206'	243'	370'	120'	407'
III	114'	65'	151'	101'	60'	138'
IIIT	106'	65'	142'	86'	51'	123'

où on a les stratégies:

- stratégie I : stratégie par zones,
- stratégie II : par ossatures régionales

stratégie III : par ossatures régionales avec nouvelles hypothèses

stratégie IIIT : par ossatures régionales avec nouvelles hypothèses et critère de temps.

Les simulations correspondent à la stratégie I (par zones) dans le cas d'un taux de réussite d'ilotage de 20% n'ont pas été réalisées par manque d'information sur les FIDEO.

La dernière stratégie (par ossature régionale, avec les nouvelles hypothèses et en utilisant le critère temps de construction dans le raisonnement) présente la meilleure solution du point de vue de temps total de reprise de service.

Les stratégies I et II (par zones, par ossature régionales) présentent les mêmes temps de reprise. Ceci est dû au fait que l'ossature choisie correspond exactement aux chemins les plus courts, qui est à la base de la stratégie par zones.



# Conclusion générale



## **CONCLUSION GENERALE**

Les études réalisées dans le cadre de cette Thèse ont commencé par une analyse du problème de reprise de service et par la détermination des objectifs d'un système d'aide à la reprise de service. Elles nous ont conduit à élaborer un prototype de système expert de type blackboard.

Ce choix repose sur plusieurs qualités du modèle blackboard: la facilité de maintenance, l'évolutivité, la modularité, la réutilisabilité, et la facilité pour considérer les interventions de l'opérateur.

L'implantation de trois stratégies de reprise de service, en utilisant ce prototype a prouvé les avantages de celui-ci: 19 sources de connaissance (SdC) ont été construites de façon indépendante. L'implantation d'une stratégie nouvelle consiste simplement en une distribution de certaines SdC, choisies parmi ces 19 SdC, dans les niveaux appropriés du blackboard sans modifier les SdC elles-mêmes, ni les objets.

La simulation selon ces trois stratégies a donné les résultats escomptés. Elle a permis d'une part de justifier la doctrine retenue par EDF à l'heure actuelle en matière de reprise de service, ainsi que les arguments donnés pour cette doctrine, et d'autre part de montrer l'avantage de notre critère temps dans la construction des ossatures.

Le mode intervention de l'utilisateur peut servir à guider le raisonnement du système, à l'entraînement des opérateurs mais aussi à la recherche et l'étude de nouvelles stratégies.

L'interface graphique a grandement contribué à faciliter la communication entre l'utilisateur et le système.

Le prototype a montré la faisabilité de son utilisation dans la simulation des processus de reprise de service de laquelle on peut dégager de nouvelles connaissances pour la reprise de service. Il peut servir aussi comme un bon outil d'entraînement des opérateur, et ceci grâce au mode "intervention" de l'utilisateur dans un processus de reprise de service.

Cependant, il existe encore plusieurs aspects à étudier. Les axes d'évolution suivantes devraient être envisagées:

- l'explication du raisonnement : c'est un aspect important d'un système expert. L'utilisation du modèle blackboard devrait faciliter beaucoup ce travail.

- l'implantation déclarative d'une stratégie : développement d'un langage qui permet de décrire d'une manière déclarative, c'est à dire avec une description quasi-naturelle (comme un langage naturel), la stratégie.

- l'enrichissement des SdC, c'est à dire les expertises concernant la reprise de service. Actuellement, l'expertise implantée dans le système n'est que partielle car elle est construite justement pour servir à l'implantation de trois stratégies. Plusieurs phénomènes tels que les surtensions de manoeuvre... doivent être prise en compte.

- finalement, l'intégration dans un centre de conduite pour l'utilisation du système en temps réel.

# Annexes



ANNEXE A

DELAI DES OPERATIONS ELEMENTAIRES.

Opération "élémentaire"	Temps d'exécution de l'opération
Mise sous tension d'une ligne	2 minutes
Mise en service d'une ligne avec seulement un des postes extrémité sous tension	2 minutes
Mise en service d'une ligne avec les deux postes extrémité sous tension	4 minutes
Mise sous tension d'une ligne frontière entre 2 ossatures régionales différentes	2 minutes
Fermeture d'une self	2 minutes
Fermeture d'un disjoncteur par télécoupleur	5 minutes
Fermeture du disjoncteur d'un groupe thermique	4 minutes
Mise sous tension de TS et TP/TS de groupes thermiques	2 minutes
Réalimentation des auxiliaires de tranches nucléaires	20 minutes (REP 900) 13 minutes (REP 1300)
Reprise de consommation (par échelons de 30 Mw)	10 minutes
Couplage d'un groupe hydraulique (démarrage compris)	7 minutes



ANNEXE B

TABLEAUX DES RESULTATS DE LA SIMULATION

Tableau 3: établissement de l'ossature Loire, stratégie par zones, taux d'ilotage 70%

NATURE DE L'OPERATION	Temps de réalisation de la manoeuvre	Cumul des temps
1) mise sous U du poste Tabarderie	4'	4'
2) reprise 47 Mw de l'auxiliaire (tranche à tranche au Dampiere)	20'	24'
3) reprise 90 Mw de charge au poste Tabarderie, puissance du groupe de Dampiere passe de 94 Mw à 184 Mw.	30'	54'
4) mise sous U de la ligne Tabarderie-Gâtinais	2'	56'
1a) mise sous U du poste Gauglin	4'	4'
3a) mise en service de Gâtinais-Gauglin	2'	6'
4a) reprise 81 Mw de charge au poste Gâtinais, puissance du groupe de Belleville passe de 55 Mw à 136 Mw	30'	36'
5a) reprise 74 Mw de charge au poste Gauglin, puissance du groupe de Belleville passe de 136 Mw à 210 Mw	30'	66'
6 a) recouplage de l'ensemble "Dampiere" avec "Belleville"	5'	71'
6a) reprise 60Mw de charge au poste Dampiere, puissance du groupe de Belleville passe de 210Mw à 270Mw	20'	91'
7a) mise en service de la 2 <sup>ème</sup> ligne Gâtinais-Gauglin	4'	95'
8 a) couplage de 2 <sup>ème</sup> group de Dampiere	4'	99'

9a) reprise 67 Mw de charge au poste Tabarderie, puissance de 2 <sup>ème</sup> groupe de Dampiere passe de 47 Mw à 114 Mw	40'	139'
1 <sup>e</sup> ) mise sous U du poste de Verger	4'	4'
2 <sup>e</sup> ) reprise 41 Mw de l'auxiliaire (tranche à tranche au St. Laurent)	20'	24'
3 <sup>e</sup> ) mise en service Verger-Dambron	2'	26'
4 <sup>e</sup> ) reprise 40 Mw de charge au poste Dambron, puissance du groupe de St. Laurent passe de 82 Mw à 122 Mw.	20'	46'
10a) mise en service de Gâtinais-Dambron	2'	141'
11a) reprise 90Mw de charge au poste Dambron, puissance de 2 <sup>ème</sup> groupe de Dampiere passe de 114 Mw à 204Mw	30'	171'
12a) mise sous U de la 2 <sup>ème</sup> ligne Dambron-Gâtinais	4'	175'
13a) mise en service de la 2 <sup>ème</sup> ligne Verger-Dambron	4'	179'
1b) mise sous U du poste Avoine	4'	4'
2b) reprise 49 Mw de l'auxiliaire (tranche à tranche) au Chinon.	20'	24'
3b) reprise 90 Mw de charge au poste Avoine, puissance du groupe de Chinon passe de 98 Mw à 188 Mw	30'	54'
4b) mise sous U Avoine-Larçay	2'	56'
5b) mise sous U Larçay-Chanceaux	2'	58'
14a) mise sous U Verger-Chanceaux	2'	181'
15a) reprise 60 Mw de charge au poste Chanceaux, puissance du groupe de Dampiere passe de 122 Mw à 182 Mw	20'	201'
16a) couplage de l'ensemble "Dampiere+St.Laurent+Bellville" avec "Chinon"	5'	206'
17a) mise sous U de la 2 <sup>ème</sup> ligne Larçay-Chanceaux	4'	210'

18a) mise sous U 2 <sup>ème</sup> ligne Avoine-Larçay	4'	214'
19a) couplage de 2 <sup>ème</sup> groupe de Chinon	4'	218'
20a) reprise 84 Mw de charge au poste Avoine, puissance de 2 <sup>ème</sup> groupe de Chinon passe de 49 Mw à 133 Mw	30'	248'
21a) reprise 60 Mw de charge au poste Larçay, puissance de 2 <sup>ème</sup> groupe de Chinon passe de 133 Mw à 193 Mw	20'	268'
22a) couplage de 3 <sup>ème</sup> groupe de Chinon	4'	272'
23a) reprise 105 Mw de charge au poste Chanceaux, puissance de 3 <sup>ème</sup> groupe de Chinon passe de 49 Mw à 154 Mw	40'	312'
24a) reprise 30 Mw de charge au poste Larçay, puissance de 3 <sup>ème</sup> groupe de Chinon passe de 154 Mw à 184 Mw	10'	322'
1c) mise sous U du poste Cordemais	4'	4'
2c) mise en service Cordemais-Distre	2'	6'
25a) mise en service Avoine-Distre	2'	324'
26a) couplage de l'ensemble "Cordemais" avec "Dampiere+ St.Laurent + Chinon+Bellville"	5'	329'
27a) mise en service de la 2 <sup>ème</sup> ligne Avoine-Distre	4'	333'
28a) mise en service de la 2 <sup>ème</sup> ligne Distre-Cordemais	4'	337'
1d) mise sous U du poste Rueyres (y comprise le lancement du groupe hydraulique )	7'	7'
2d) connexion de l'inductance au poste Eguzon. (valeur de l'inductance 100 MVar)	2'	9'
3d) mise sous U Rueyres-Eguzon	2'	11'

4d) connexion de l'inductance au poste Rueyres. (valeur de l'inductance 64 MVar)	2'	13'
5d) mise sous U Eguzon-Verger	2'	15'
29a) recouplage de l'ensemble "Cordemais + Dampiere + St. Laurent + Chinon" avec "Rueyres".	5'	342'
30a) couplage de 2 <sup>ème</sup> groupe v1970 de Rueyres	7'	349'
31a) recouplage de 3 <sup>ème</sup> groupe v1971 de Rueyres.	7'	356'
32a) recouplage de 4 <sup>ème</sup> groupe v1972 de Rueyres.	7'	363'
33a) recouplage de 5 <sup>ème</sup> groupe v1973 de Rueyres.	7'	370'

Tableau 4: établissement de l'ossature Sud-Est, stratégie par zones, taux d'ilotage 70%

NATURE DE L'OPERATION	Temps de réalisation de la manoeuvre	Cumul des temps
1) mise sous U du poste de Coulange	4'	4'
2) reprise 41 Mw des auxiliaires du groupe déclenché de Cruas par le groupe iloté de Cruas.	20'	24'
3) mise en service de ligne Coulange-Tricastin	2'	26'
1a) mise sous U du poste de Tricastin	4'	4'
2a) reprise 40 Mw des auxiliaires du groupe déclenché de Tricastin par le groupe iloté de Tricastin	20'	24'
4) recouplage des zones "Cruas" et "Tricastin"	5'	31'
5) mise en service de la 2 <sup>ème</sup> ligne Coulange-Tricastin	4'	35'
6) mise en service de la 3 <sup>ème</sup> ligne Coulange-Tricastin	4'	39'
1b) mise sous U du poste de Pivoz-Cordier	4'	4'
2b) reprise 48 Mw des auxiliaires du groupe déclenché de St Alban par le groupe iloté de St Alban.	13'	17'
3b) mise en service de la ligne Pivoz-Cordier- Chaffard	2'	19'
4b) reprise 90 Mw de charge au poste chaffard. Puissance du groupe de St. Alban passe de 96.Mw a 186.Mw.	30'	49'
5b) mise en service de la ligne Chaffard-Saint-Vulbas.	2'	51'
6b) mise sous U du poste de Saint-Vulbas.	4'	55'

7 <sup>b</sup> ) recouplage des zones "Saint-Alban" et "Bugey"	5'	60'
8 <sup>b</sup> ) mise en service de la 2 <sup>ème</sup> ligne Chaffard-Saint-Vulbas.	4'	64'
9 <sup>b</sup> ) mise en service de la 3 <sup>ème</sup> ligne Chaffard-Saint-Vulbas.	4'	68'
10 <sup>b</sup> ) mise en service de la 2 <sup>ème</sup> ligne Pivoz Cordier-Chaffard.	4'	72'
11 <sup>b</sup> ) mise en service de Creys-Saint-Vulbas.	2'	74'
12 <sup>b</sup> ) reprise 14 Mw de charge au poste Creys. Puissance du groupe de Bugey passe de 0.Mw a 14.Mw.	10'	84'
13 <sup>b</sup> ) mise sous U de Grande-Ile-Creys	2'	86'
1 <sup>c</sup> ) lancer des deux groupes de Cheylas	5'	5'
2 <sup>c</sup> ) mise sous U du poste de Grande-Ile	4'	9'
14 <sup>b</sup> ) recouplage des zones "Saint-Alban" et "Cheylas".	5'	91'
15 <sup>b</sup> ) mise en service de la 2 <sup>ème</sup> ligne Creys-Saint-Vulbas.	4'	95'
16 <sup>b</sup> ) mise en service de la 2 <sup>ème</sup> ligne Grande-Ile-Creys	4'	99'
17 <sup>b</sup> ) mise en service de la ligne Pivoz-Cordier-Coulange	2'	101'
18 <sup>b</sup> ) recouplage des zones "Saint-Alban" et "Tricastin+ Cruas"	5'	106'
19 <sup>b</sup> ) mise en service de la 2 <sup>ème</sup> ligne Coulange-Pivoz Cordier	4'	110'
20 <sup>b</sup> ) recouplage de 2 <sup>ème</sup> groupe de Bugey	4'	114'
21 <sup>b</sup> ) recouplage de 2 <sup>ème</sup> groupe de Tricastin	4'	118'
22 <sup>b</sup> ) mise en service de la ligne Chaffard-Mions	2'	120'

Tableau 5 établissement de l'ossature Loire, stratégie par ossature régionale, taux d'ilotage de 20%

NATURE DE L'OPERATION	Temps de réalisation de la manoeuvre	Cumul des temps
1) mise sous U du poste d'Avoine	4'	4'
2) reprise 147 Mw des auxiliaires de 3 groupes declenchés de Chinon par le groupe iloté de Chinon v1801 au poste Avoine	60'	64'
3) mise sous U de la ligne Avoine-Distre	2'	66'
4) mise sous U de la ligne Distre-Cordemais	2'	68'
1a) mise sous U du poste de Cordemais	4'	4'
5) recouplage des morceaux d'ossature "Cordemais" et "Chinon"	5'	73'
6) mise sous U de la 2 <sup>ème</sup> ligne Avoine-Distre	4'	77'
7) mise sous U de la 2 <sup>ème</sup> ligne Distre-Cordemais	4'	81'
1b) reprise 141 Mw des auxiliaires de 3 groupes declenchés de Dampiere par le groupe iloté de Dampiere au poste Tabarderie	60'	60'
2b) mise sous U de Tabarderie-Gâtinais	2'	62'
3b) mise en service de Gâtinais-Dambron	2'	64'
4b) mise en service Dambron-Verger	2'	66'
8) mise sous U Larçay-Avoine	2'	83'
9) mise sous U Chanceaux-Larçay	2'	85'
10) mise sous U Chanceaux-Verger	2'	87'

5 <sup>b</sup> ) reprise 82 Mw des auxiliaires de 2 groupes déclenchés de St Laurent par le groupe de Dampierre v1885 au poste Tabarderie.	40'	106'
6 <sup>b</sup> ) recouplage de l'ensemble "Cordemais + Chinon" avec l'ensemble "Dampierre + Saint-Laurent".	5'	111'
7 <sup>b</sup> ) mise sous U de la 2 <sup>ème</sup> ligne Chanceaux-Larçay.	4'	115'
8 <sup>b</sup> ) mise sous U de la 2 <sup>ème</sup> ligne Gâtinais-Dambron.	4'	119'
9 <sup>b</sup> ) mise sous U de la 2 <sup>ème</sup> ligne Dambron-Verger.	4'	123'
10 <sup>b</sup> ) mise sous U de la 2 <sup>ème</sup> ligne Larçay-Avoine.	4'	127'
1 <sup>c</sup> ) Couplage du groupe hydraulique au poste Rueyres.	7'	7'
2 <sup>c</sup> ) Fermeture d'une self 100 Mvar au poste Eguzon.	2'	9'
3 <sup>c</sup> ) mise sous U Rueyres-Eguzon.	2'	11'
4 <sup>c</sup> ) Fermeture d'une self 64 Mvar au poste Rueyres.	2'	13'
5 <sup>c</sup> ) mise sous U Eguzon-Verger	2'	15'
11 <sup>b</sup> ) recouplage de l'ensemble "Cordemais + Chinon + Dampierre + Saint-Laurent" avec l'ensemble "Rueyres".	5'	132'
12 <sup>b</sup> ) Couplage du groupe hydraulique au poste Rueyres.	7'	139'
13 <sup>b</sup> ) Couplage du groupe hydraulique au poste Rueyres	7'	146'
14 <sup>b</sup> ) Couplage du groupe hydraulique au poste Rueyres	7'	153'
15 <sup>b</sup> ) Couplage du groupe hydraulique au poste Rueyres	7'	160'
16 <sup>b</sup> ) mise en service de Gâtinais-Gauglin	2'	162'

*Annexe B: tableaux des résultats de la simulation*

---

17 <sup>b</sup> ) reprise 55 Mw des auxiliaires du groupe déclenché de Bellville par le groupe de Dampiere au poste Tabarderie	13'	175'
18 <sup>b</sup> ) mise sous U de la 2 <sup>ème</sup> ligne Gâtinais-Gauglin	4'	179'

Tableau 6: établissement de l'ossature Sud-Est, stratégie par ossatures régionales, taux d'îlotage 20%.

NATURE DE L'OPERATION	Temps de réalisation de la manoeuvre	Cumul des temps
1) mise sous U du poste de Pivoz-Cordier	4'	4'
2) reprise 48 Mw des auxiliaires du groupe declenché de St Alban par le groupe îloté de St Alban.	13'	17'
3) mise en service de la ligne Pivoz-Cordier-Coulange	2'	19'
1a) mise sous U du poste de Tricastin	4'	4'
2a) reprise 80 Mw des auxiliaires de 2 groupes declenchés de Tricastin par le groupe îloté de Tricastin	40'	44'
3a) mise sous U de Coulange-Tricastin	2'	46'
4a) reprise 82 Mw des auxiliaires de 2 groupes declenchés de Cruas par le groupe îloté de Tricastin.	40'	86
5a) recouplage des zones "Saint-Alban" et "Tricastin".	5'	91
6a) mise en service de la 2 <sup>ème</sup> ligne Coulange-Tricastin.	4'	95
7a) mise en service de la 3 <sup>ème</sup> ligne Coulange-Tricastin.	4'	99
8a) mise en service de la 2 <sup>ème</sup> ligne Coulange-Pivoz Cordier.	4'	103
1 b) lancer des deux groupes de Cheylas.	5'	5'
2b) mise sous U du poste de Grande-Ile.	4'	9'
3b) mise sous U de Grande-Ile-Creys.	2'	11'

*Annexe B: tableaux des résultats de la simulation*

9a) mise en service de la ligne Pivoz-Cordier- Chaffard.	2'	105'
10a) reprise 90 Mw de charge au poste chaffard. Puissance du groupe de St. Alban passe de 96.Mw a 186.Mw.	30'	135'
11a) mise en service de la ligne Chaffard-Saint-Vulbas.	2'	137'
12a) reprise 88 Mw des auxiliaires de 2 groupe declenché de Bugey par le groupe iloté de Pivoz-Cordier.	40'	177'
13a) mise en service de Creys-Saint-Vulbas.	2'	179'
14a) recouplage des zones "Saint-Alban" et "Cheylas".	5'	184'
15a) mise en service de la 2 <sup>ème</sup> ligne Creys-Saint-Vulbas.	4'	188'
16a) mise en service de la 2 <sup>ème</sup> ligne Chaffard-Saint-Vulbas.	4'	192'
17a) mise en service de la 3 <sup>ème</sup> ligne Chaffard-Saint-Vulbas.	4'	196'
18a) mise en service de la 2 <sup>ème</sup> ligne Pivoz Cordier-Chaffard.	4'	200'
19a) mise en service de la 2 <sup>ème</sup> ligne Grande-Ile-Creys	4'	204'
20a) mise en service de la ligne Chaffard-Mions	2'	206'

Tableau 7 établissement de l'ossature Loire, stratégie par ossatures régionales avec des nouvelles hypothèses, taux d'îlotage de 20%.

NATURE DE L'OPERATION	Temps de réalisation de la manoeuvre	Cumul des temps
1) mise sous U du poste Avoine.	4'	4'
2) mise en service Avoine-Distre.	2'	6'
1 <sup>a</sup> ) mise sous U du poste Cordemais.	4'	4'
2 <sup>a</sup> ) mise en service Cordemais-Distre.	2'	6'
3) couplage de l'ensemble "Cordemais" avec "St. Laurent".	5'	11'
1 <sup>b</sup> ) mise sous U du poste Tabarderie.	4'	4''
2 <sup>b</sup> ) mise sous U de la ligne Tabarderie-Gâtinais.	2'	6'
3 <sup>b</sup> ) mise en service de Gâtinais-Dambron.	2'	8'
4) mise sous U Avoine-Larçay.	2'	13'
5) mise sous U Larçay-Chanceaux.	2'	15'
4 <sup>b</sup> ) mise en service Verger-Dambron.	2'	10'
6) mise sous U Verger-Chanceaux.	2'	17'
7) recouplage de l'ensemble "Dampiere" avec "St. Laurent".	5'	22'
1 <sup>d</sup> ) mise sous U du poste Rueyres (y comprise le lancement du groupe hydraulique v1969).	7'	7'
2 <sup>d</sup> ) connexion de l'inductance v2297 au poste Eguzon. (valeur de l'inductance 100 MVar).	2'	9'
3 <sup>d</sup> ) mise sous U Rueyres-Eguzon	2'	11'
4 <sup>d</sup> ) connexion de l'inductance v2313 au poste Rueyres. (valeur de l'inductance 64 MVar).	2'	13'
5 <sup>d</sup> ) mise sous U Eguzon-Verger.	2'	15'

Annexe B: tableaux des résultats de la simulation

---

8) recouplage de l'ensemble "Cordemais + Dampiere + Chinon" avec "Rueyres".	5'	27'
8) couplage de 2 <sup>ème</sup> groupe de Rueyres.	7'	34'
9) recouplage de 3 <sup>ème</sup> groupe v1971 de Rueyres.	7'	41'
10) recouplage de 4 <sup>ème</sup> groupe v1972 de Rueyres.	7'	48'
11) recouplage de 5 <sup>ème</sup> groupe v1973 de Rueyres.	7'	55'
12) mise en service de Gâtinais-Gauglin.	7'	62'

Tableau 8 établissement de l'ossature Sud-Est, stratégie par ossatures régionales avec des nouvelles hypothèses, taux d'ilotage de 20%.

NATURE DE L'OPERATION	Temps de réalisation de la manoeuvre	Cumul des temps
1) mise sous U du poste de Pivoz-Cordier.	4'	4'
2) mise en service de la ligne Pivoz-Cordier-Coulange.	2'	6'
1 <sup>a</sup> ) mise sous U du poste de Tricastin.	4'	4'
2 <sup>a</sup> ) mise en service de ligne Coulange-Tricastin.	2'	6'
3) recouplage des zones "St Alban" et "Tricastin".	5'	11'
1 <sup>c</sup> ) lancer des deux groupes de Cheylas.	5'	5'
2 <sup>c</sup> ) mise sous U du poste de Grande-Ile.	4'	9'
3 <sup>c</sup> ) mise en service de la ligne Grande-Ile - Creys.	4'	13'
4) mise en service de la ligne Pivoz-Cordier- Chaffard.	2'	13'
5) mise en service de la ligne Chaffard-Saint-Vulbas.	2'	15'
6) mise en service de la ligne Creys-Saint-Vulbas.	2'	17'
7) recouplage des zones "Cheylas" et "Tricastin+ St Alban".	5'	22'
8) mise en service de la ligne Chaffard-Mions.	2'	24'

Tableau 9 établissement de l'ossature Ouest, stratégie par ossatures régionales avec des nouvelles hypothèses, taux d'ilotage de 70%.

NATURE DE L'OPERATION	Temps de réalisation de la manoeuvre	Cumul des temps
1) mise sous U du poste Tabarderie.	4'	4'
2) mise sous U de la ligne Tabarderie-Gâtinais.	2'	6'
1 <sup>a</sup> ) mise sous U du poste Gauglin.	4'	4'
2 <sup>a</sup> ) mise sous U de la ligne Gauglin-Gâtinais.	2'	6'
3) recouplage de l'ensemble "Dampiere" avec "Belleville".	5'	11'
1 <sup>e</sup> ) mise sous U du poste Verger.	4'	4'
2 <sup>e</sup> ) mise en service Verger-Dambron.	2'	6'
3 <sup>e</sup> ) mise en service de Gâtinais-Dambron.	2'	8'
4) recouplage de l'ensemble "Dampiere+Belleville" avec "St. Laurent".	5'	16'
1 <sup>b</sup> ) mise sous U du poste Avoine.	4'	4'
2 <sup>b</sup> ) mise sous U Avoine-Larçay.	2'	6'
3 <sup>b</sup> ) mise sous U Larçay-Chanceaux.	2'	8'
5) mise sous U Verger-Chanceaux.	2'	18'
6) couplage de l'ensemble "Dampiere + St. Laurent+Belleville" avec "Chinon".	5'	23'
1 <sup>c</sup> ) mise sous U du poste Cordemais.	4'	4'
2 <sup>c</sup> ) mise en service Cordemais-Distre.	2'	6'
7) mise en service Avoine-Distre.	2'	25'
8) couplage de l'ensemble "Cordemais" avec ""Dampiere + Belleville + St.Laurent + Chinon".	5'	30'
1 <sup>d</sup> ) mise sous U du poste Rueyres (y comprise le lancement du groupe hydraulique).	7'	7'

2 <sup>d</sup> ) connexion de l'inductance au poste Eguzon. (valeur de l'inductance 100 MVar).	2'	9'
3 <sup>d</sup> ) mise sous U Rueyres-Eguzon	2'	11'
4 <sup>d</sup> ) connexion de l'inductance au poste Rueyres. (valeur de l'inductance 64 MVar).	2'	13'
5 <sup>d</sup> ) mise sous U Eguzon-Verger.	2'	15'
9) recouplage de l'ensemble "Cordemais + Dampiere + St. Laurent + Chinon" avec "Rueyres".	5'	35'
10) couplage de 2 <sup>ème</sup> groupe de Rueyres.	7'	42'
11) recouplage de 3 <sup>ème</sup> groupe de Rueyres.	7'	49'
12) recouplage du 4 <sup>ème</sup> groupe de Rueyres.	7'	56'
13) recouplage de 5 <sup>ème</sup> groupe de Rueyres.	7'	63'
14) recouplage de 2 <sup>ème</sup> groupe Chinon.	4'	67'
15) recouplage de 3 <sup>ème</sup> groupe Chinon.	4'	71'
16) recouplage de 2 <sup>ème</sup> groupe Dampierre.	4'	75'

Tableau 10: établissement de l'ossature Ouest, stratégie par ossatures régionales avec des nouvelles hypothèses et le critère de temps, taux d'ilotage de 70%.

NATURE DE L'OPERATION	Temps de réalisation de la manoeuvre	Cumul des temps
1) mise sous U du poste Gauglin	4'	4'
2) mise en service de Gâtinais-Gauglin	2'	6'
1a) mise sous U du poste Tabarderie	4'	4'
2a) mise sous U de la ligne Tabarderie-Gâtinais	2'	6'
3) couplage de l'ensemble "Dampierre" avec " Belleville"	5'	11'
1c) mise sous U du poste Cordemais	4'	4'
2c) mise en service Cordemais-Distre	2'	6'
1b) mise sous U du poste Avoine	4'	4'
2b) mise en service Avoine-Distre	2'	6'
3 b) couplage de l'ensemble "Cordemais" avec " Chinon"	5'	11'
4b) recouplage de 2ème groupe Chinon	4'	15'
4) recouplage de 2ème groupe Dampierre	4'	15'
5b) recouplage de 3ème groupe Chinon	4'	19'
5) recouplage de 3ème groupe Dampierre	4'	19'
1d) mise sous U du poste Rueyres (y comprise le lancement du groupe hydraulique )	7'	7'
2d) connexion de l'inductance au poste Eguzon. (valeur de l'inductance 100 MVar)	2'	9'
3d) mise sous U Rueyres-Eguzon	2'	11'
4d) connexion de l'inductance au poste Rueyres. (valeur de l'inductance 64 MVar)	2'	13'
1e) mise sous U du poste de Verger	4'	4'
2e) mise sous U Eguzon-Verger	2'	6'

5 <sup>d</sup> ) recouplage de l'ensemble "St. Laurent" avec "Rueyres".	5'	18'
6 <sup>d</sup> ) couplage de 2 <sup>ème</sup> groupe v1970 de Rueyres	7'	25'
8 <sup>d</sup> ) recouplage de 3 <sup>ème</sup> groupe v1971 de Rueyres	7'	32'
9 <sup>d</sup> ) recouplage du 4 <sup>ème</sup> groupe v1972 de Rueyres	7'	39'
10 <sup>d</sup> ) recouplage du 5 <sup>ème</sup> groupe v1973 de Rueyres	7'	46'
6 <sup>b</sup> ) mise sous U Avoine-Larçay	2'	21'
7 <sup>b</sup> ) mise sous U Larçay-Chanceaux	2'	23'
11 <sup>d</sup> ) mise sous U Verger-Chanceaux	2'	48'
12 <sup>d</sup> ) couplage de l'ensemble "St. Laurent+Rueyres" avec "Chinon + Cordemais"	5'	53'
13 <sup>d</sup> ) mise en service Verger-Dambron	2'	55'
6) mise en service de Gâtinais-Dambron	2'	21'
14 <sup>d</sup> ) recouplage de l'ensemble "Dampiere+Belleville" avec "St. Laurent+Chinon+Cordemais"	5'	60'

## ANNEXE C

### SYNTHESE DE CERTAINS CONCEPTS CONCERNANT LE MODELE BLACKBOARD.

#### Sources de connaissance (SdC):

Les connaissances pour la résolution du problème sont regroupées en plusieurs *sources de connaissance*. Chaque source de connaissance est autonome et elle est capable de résoudre seule le problème qui lui est affecté. Les sources de connaissance peuvent être conçues indépendamment les unes des autres.

#### Niveau d'entrée d'une SdC:

Chaque SdC n'a accès en lecture qu'à un certain nombre de données. Ces données sont appelées le *niveau d'entrée* de cette SdC.

#### Niveau de sortie d'une SdC:

Chaque SdC n'a accès en écriture qu'à un certain nombre de données. Ces données sont appelées le *niveau de sortie* de cette SdC.

#### Niveau d'abstraction d'un blackboard:

Les données communes accessibles aux différentes SdC (en lecture et en écriture) sont divisées en plusieurs zones appelées *niveaux d'abstraction*. Une zone peut servir de zone de lecture pour certaines SdC et de zone d'écriture pour d'autres.

#### Evénement :

Chaque changement sur une zone de données est appelé un *événement* survenu sur cette zone de données.

#### Type d'une SdC:

Chaque SdC est associée à un type selon la nature de sa contribution dans la résolution du problème. Dans notre système, il y a trois types:

- hypothèse : permet de gerer des points de vue indépendants du raisonnement (ouvre plusieurs lignes de raisonnement).
- calcul : prépare des paramètres pour le raisonnement.
- contrainte : abandonne une ligne de raisonnement.

Le cycle de base de fonctionnement du blackboard est :

*Réception* : Aux vues des évènements survenus sur un niveau d'abstraction, chaque SdC ayant ce niveau comme niveau d'entrée est examinée afin de déterminer si elle est capable d'agir dans le contexte actuel.

*Sélection* : Parmi les SdC capables d'agir, la SdC la plus appropriée est sélectionnée.

*Application* : la SdC choisie va appliquer sa connaissance et faire évoluer l'ensemble des informations présentes sur le tableau.

Exemple :

Type de SdC Niveau d'abstraction	HYPOTHESE	CALCUL	CONTRAINTE
-----	-----	-----	-----
Propositions d'interconnexion	↑		○ SdC-I-contrainte
Sous - réseaux	○ SdC-propos- d'interconnexion	○ SdC-cherche-chemins d'interconnexion	
-----	-----	-----	-----

Nous considérons deux niveaux d'abstraction du blackboard: *Proposition d'interconnexion* et *sous-réseaux* où *Proposition d'interconnexion* est le niveau d'entrée de la SdC I-contrainte et *sous-réseaux* est le niveau d'entrée des SdC *propos-d'interconnexion*, et *cherche-chemins-d'interconnexion*.

Un évènement survenu sur le niveau sous-réseaux rend capables d'agir les deux SdC *propos-d'interconnexion*, et *cherche-chemins-d'interconnexion*. Le système choisit *cherche-chemins-d'interconnexion* car elle est plus prioritaire que la SdC *propos-*

*d'interconnexion. L'exécution de la SdC propos-d'interconnexion provoque un événement sur le niveau Proposition d'interconnexion et rend la SdC Contrainte capable d'agir....*



**ANNEXE D: BIBLIOGRAPHIE**

- [ADI-87] Adibi M., J. N. Borkoski and R. J. Kafka, " Power system restoration - the second task force report", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. PWRS-2, N° 4, November 1987.
- [ADI-87] Adibi M., P. Clelland, L. Fink, H. Happ, R. Kafka, J. Raine, D. Scheurer and F. Trefny, " Power system restoration - a task force report", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. PWRS-2, N° 2, May 1987.
- [ADI-88.1] Adibi M., R. Kafka, "Power system restoration issues", IEEE Transactions on Power Systems, April 1991.
- [ADI-92.1] Adibi M., R. W. Alexander, B. Avramovic, " Overvoltage control during restoration", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 7, N° 4, November 1992.
- [ADI-92.2] Adibi M.; L. H. Fink; J. Giri; D. S. Kirschen; S. M. Shahidehpour; J. Zaborszky "New approaches in power system restoration", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 7, N° 4, Novembre 1992.
- [ADI-88.2] Adibi M.M., D. Barné et al., "System operations challenges", IEEE Trans. Power, on PWRS vol. 3, N° 1, 1988.
- [BAU] Bausins J.L. , "plan de découpage du réseau et de reprise de service à l'aide des automatisme à manque de tension", document EDE, Février 1986.
- [BLE] Blessing L.R. , C. K. Bush, S. J. Yak, "Automated PSR incorporating ES techniques", ESASPS, pp. 133-139, 1989.
- [CHA] S.M. Chan, V. Brandwajn, "partial matrix refactorization", IEEE Trans. Power, on PWRS, vol. 1, N° 1, February, 1986.
- [CHE] Cheimanoff A., C. Corroyer, "L'incident du 19 Décembre 1978", RGE, tome 89, N° 4, Avril 1980
- [CHEN J] Chen J.S.P. et al., "Automated power supply restoration in distribution network", ESAPS, pp. 62-66, 1989.
- [CHEN M] Chen M., M. J. Damborg, and T. M. Athay, "Full integration of an expert system into an energy management system using a dispatcher training simulator", in Proc. 1989 ESAPS, July 1989, pp. 474-479.

- [CHO] Chotin E., "rapport de blackboard", LEG, 1994.
- [DAR-91] Darnault P.H., " Un systeme expert aide à la reconstitution du réseau électrique après un incident généralisé". These 1991, LEG, ENSIEG, INPG.
- [DAR-89] Darnault P.H., J.Fandino, J.bigeon,J.C.Sabonnadière, E.Mondon,..." An systeme expert as a guide for infomation synthesis and decision making in the restoration of power system after a blackout", Proceeding of second symposium on expert system application to Power System, July 1989, Seattle USA.
- [DIL-88] Dillon T.S. , E. Chang "Application of the object-oriented approach to power system problems", IEEE, Spectrum, p. 40-50, Juin 1988.
- [DIL-78] Dillon T.S., E. Chang "Application of the object-oriented approach to power system problems", IEEE, Spectrum, p. 48-53, Mars 1978.
- [DIL-93] Dillon T.S., E. Chang "Application of the object-oriented approach to power system problems", Power System Computation Conference, Avignon 1993.
- [DIL-90] Dillon T.S., M.A.Laughton, "Expert system application in power system", Printice Hall 1990.
- [EDF-1] " Etude de nouvelles approches de la reconstruction du réseau après un incident généralisé - note de synthèse sur travaux complementaires ", 1993.
- [EDF-2] " Note technique sur le calcul des temps de constitution des ossatures régionales.
- [ENG] Engelmores R., Tony Morgan " Blackboard system ". Addition - wesley publishing company 1988.
- [FAN] Fandino, P. H. Darnault, J. Bigéon, J. C. Sabonnadiere, Y. Harmand, B. Heilbronn et E. Mondon, "An expert system as a help for power system restoration after a blackout", ESAPS, 1991.
- [FOL] Foley M." An object based graphical interface for power system" IEEE Tran. on PS Vol 8 No 1 Feb 1993.
- [FIN] Fink L.H., K. Carlsen "Operating under stress and strain", IEEE Spectrum Marche 1978.
- [GEN] Gentilhomme A., " C.O.C.A.S.E. Un systeme expert d'aide à la conception d'appareillages électriques". These 1991, LEG, ENSIEG, INPG.
- [GUT] Gutierrez J. et al., "Policies for restoration of a power system", IEEE Trans. Power Syst., vol. PWRs-2, pp. 436-442, May 1987.

- [HAR] Harmand Y. et al. "Analyse d'un cas d'ecroulement de tension et proposition d'une philosophie de parades fondées sur des horizons temporels différents". CIGRE, p.38-39-02, session 1990.
- [HAT] Haton J.P., Nadjat Bouzid, "Raisonnement en intelligence artificielle ", InterEditions Paris 1991.
- [JOH] Johnson A. et al., "System restoration - Deploying the plan", IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-101, pp. 4263-4271, Nov. 1982.
- [KAF-82] Kafka R.J., M. M. Adibi et al., "Role of interactive and control computers in the development of a system restoration plan", IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-101, pp. 43-50, Jan. 1982.
- [KAF-81] Kafka R.J., M. M. Adibi et al., "System restoration plan development for a metropolitan electric system", IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-100, pp. 3703-3711, Aug. 1981.
- [KEA] Kearsley R., "Restoration in Sweden and experience gained from the blackout of 1983", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. PWR-2, N° 2, May 1987.
- [KEN] Kenneth Nielsen, M. Abidi, D. Barrie, M. E. Cooper, K. W. Heussner, M. E. Robertson, J. L. Scheidt et D. Scheurer, "System operations challenges", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 3, N° 1, February 1988.
- [KIR] Kirschen S., T. L. Volkmann: "Restoring a Power System with an Expert System; IEEE Transactions on Power Systems, vol. 6, N° 2, May, pp. 558, 566, 1991.
- [KOJ-89.1] Kojima Y., S. Warashina et al., "The development of power system restoration method for a bulk power system by applying knowledge engineering techniques", IEEE Trans. Power Syst., vol. PWR-4, pp. 1228-1235, Aug. 1989.
- [KOJ-89.2] Kojima, S. Warashina, S. Nakamura et K. Matsumoto, "Development of a guidance method for power system restoration", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 4, N° 3, October 1989.
- [LIU-90] Liu C.C., R. F. Chu, A. T. Holen, "Generation capability dispatch for bulk power system restoration: A knowledge-based approach", IEEE Trans. on PWS, vol. 8, N° 1, Feb. 1990.
- [LIU-89] Liu C.C., S. Lee, and K. Vu, "Loss minimisation of distribution feeders: optimality and algorithms", IEEE Trans. Power Delivery, vol. PWRD-4, pp. 1281-1289, Apr. 1989.

-----  
[LIU-88] Liu C.C., S.J.Lee, S.S.Venkata, "An expert system operational aid for restoration and loss reduction of distribution systems", IEEE Trans. v.3, N.2, pp.619-626, May 1988.

[MAK] Makram E.B. , K.P. Thornton, H.E. Brown, " Selection of lines to be switched to eliminate overload lines using a z-matrix method ", IEEE Tran. on PS vol. 4, No 2, may 1989, pp 653.

[MAR] Marathe H., C. C. Liu et al., "An on-line operational expert system with data validation capabilities", in Proc. 1989 PICA, May 1989, pp. 56-63.

[MAT-92] Matsumoto et al., "System as aids in power system restoration", in Proc. IEEE, Mars 1992.

[MAT-89] Matsumoto Y. et al., "An expert system for restoration of distribution lines", in Proc. 1989 ESAPS, pp. 57-61, July 1989.

[MED] Medicherla K.P., R. Billiton, M. S. Sachdev, "Generation rescheduling and load shedding to alleviate line overloads-analysis", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-98, N° 6 Nov./Dec.1979.

[MON] Mondon E., Y. Harmand, "intérêt d'une structure cible de type ossature à 400KV pour la reconstitution du système production transport après un incident majeur", rapport de EDF 1989.

[MOR-82] Morin G., M Perrachon, "Remise en service du réseau Hydro-Quebec, suites une pane majeure", IEEE Conférence, Montréal, Oct. 1982.

[MOR-87] Morin G., "Service restoration following a major failure on the Hydro-Quebec power system", IEEE Trans. Power Delivery, vol. PWRD-2, pp. 454-463, Apr. 1987.

[NEK] B.Nekhoul, M.Ngo, R.Feuillet, "Transient current and voltage switching computation", UPEC93.

[NGO] Ngo M., "Méthode des matrices et vecteurs creux : application dans l'étude de la sécurité des grands réseaux électriques", rapport de DEA,1991.

[NOV] Novosel D. et Roger L. King, "Using artificial neural networks for load shedding to alleviate overloaded lines", IEEE, WM 036-4 PWRD, 1993.

[SAK] Sakaguchi T., K.Matsumoto, "Developement of Knowledge Based System for Power System Restoration", IEEE Transaction on Power Apparatus and system, vol PAS-102, No2, Fevrier, 1983

- [SCH] Schulz P. et W. W Price, " Classification and identification of power system emergencies", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, N° 12 December 1984.
- [SHI] Shimakura Y. et al., "A knowledge-based approach to PS operational aid", ESAPS, pp. 270-276, 1991.
- [SIM] Simburger E.J. and F. J. Hubert, "Low voltage bulk power system restoration simulation", IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-100, pp. 4479-4484, Nov. 1981.
- [SLY] Slye F. and Mark O'Malley, "An expert system for the restoration of an Island Power system", UPEC, 1993.
- [STA] Stalder M., D. Niebur, L. Palmieri, A. J. Germond, " A rule-based system for substation monitoring: The switching operations", Paper presented at the Symposium on Expert Systems Application to Power Systems, Stockholm-Helsinki, August 22-26, 1988.
- [TIN] W.F. Tinney, V. Brandwajn, S.M. Chan, "sparse vector methods", IEEE Trans. Power, on PWRS vol. PAS-104, N° 2, February 1985.
- [TOM] Tomsovic K., C. C. Liu et al., "An expert system dispatchers' aids for the isolation of line section faults", IEEE Trans. Power Delivery, vol. PWRD-2, pp. 736-743, July 1987.
- [TRO] Trotignon M. et al., "Plan de defence du réseau THT français contre les incidents généralisés, dispositions actuelles et perspectives d'évolution", CIGRE, pp. 39-306, 1992.
- [VU] Vu, B. Heilbronn, E. Mondon, O. Perdrizet, O. Paillet et H. Fargier, "Un system expert pour la reprise de service après incident localisé", CIGRE, Session 30 Août - 5 Septembre, 1992.
- [WAD] Wada M. et al., "An expert system operational aids for restoration and loss reduction of distribution system", in Proc. 1989 ESAPS, pp. 50-56, July 1989.
- [WIN] Wilson G.L, P. Zarakas, "Anatomy of a blackout", IEEE spectrum February 1978.
- [WU] Wu F.F. and A. Monticelli, "Analytical tools for power system restoration - conceptual design", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. PWRS-2, N° 1, February 1988.

---

[ZAB] Zaborszky, A. Huany, P.J. Clelland, B.A. Fagnon, "Optimal partneship of operator and computer for power system restoration", proc. 11<sup>th</sup> Triennial world conference of IFAC, Tallin, Estonia, USSR, august 1990.

[ZHA] Zhang Z., G. S. Hope and O. P. Malik, "Expert systems in electric power systems- a bibliographical survey", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 4, N°. 4, October 1989.



AUTORISATION DE SOUTENANCE

Vu les dispositions de l'arrêté du 30 Mars 1992 relatifs aux Etudes Doctorales

Vu les Rapports de présentation de :

Monsieur Philippe AURIOL

Monsieur Jean Francis MICHON

Monsieur NGO QUANG Minh

est autorisé à présenter une thèse en soutenance en vue de l'obtention du diplôme de Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, spécialité "GENIE ELECTRIQUE".

Fait à Grenoble, le  
21 NOV. 1994

  
le Directeur de l'École Doctorale  
J.-L. LACROIX



## Résumé

Ce travail a pour but d'élaborer un outil qui permet de faire la simulation de différentes stratégies, et d'aider à la prise de décision pendant la reprise de service du réseau électrique après un incident généralisé.

L'étude est menée sur l'application du modèle blackboard qui permet d'une part d'implanter ou de modifier facilement une stratégie de reprise de service, et d'autre part, de traiter l'intervention de l'opérateur pendant la simulation de cas. Ceci a pu être réalisé grâce à la séparation de la connaissance en trois types, les données, les règles et la stratégie et à la possibilité offerte par le blackboard de coordonner l'activité de plusieurs "experts" (sources de connaissance), construites de façon indépendante. Le fait que l'opérateur soit considéré comme un expert parmi d'autres dans le système, permet l'intervention de celui-ci dans le raisonnement en assurant la cohérence du processus de résolution.

L'interface utilisateur qui fournit une présentation d'information synthétique et ergonomique permet un bon dialogue avec l'opérateur.

A titre d'exemple, trois stratégies ont été implantées pour montrer la facilité d'implantation d'une stratégie. Ceci a justifié aussi la stratégie de reprise de service retenue pour le moment à EDF.

Mots clés : réseau électrique, reprise de service, stratégie de reprise de service, système à base de connaissance, modèle Blackboard, niveau d'abstraction, intervention de l'opérateur,

