

<b>Titre:</b>	Structuration et modélisation des connaissances nécessaires à l'évaluation des interdépendances entre les réseaux de support à la vie
<b>Auteur:</b>	Géraldine Guichardet
<b>Date:</b>	2009
<b>Type:</b>	Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis
<b>Référence:</b>	Guichardet, G. (2009). Structuration et modélisation des connaissances nécessaires à l'évaluation des interdépendances entre les réseaux de support à la vie [Master's thesis, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. <a href="https://publications.polymtl.ca/8480/">https://publications.polymtl.ca/8480/</a>
Citation:	

## Document en libre accès dans PolyPublie

Open Access document in PolyPublie

**URL de PolyPublie:** <https://publications.polymtl.ca/8480/>  
PolyPublie URL:

**Directeurs de recherche:** Benoît Robert  
Advisors:

**Programme:** Génie industriel  
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

STRUCTURATION ET MODÉLISATION DES CONNAISSANCES NÉCESSAIRES  
À L'ÉVALUATION DES INTERDÉPENDANCES ENTRE LES RÉSEAUX DE  
SUPPORT À LA VIE

GÉRALDINE GUICHARDET  
DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL  
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION  
DU DIPLÔME DE MATRÎSE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES  
(GÉNIE INDUSTRIEL)  
AVRIL 2009



Library and Archives  
Canada

Published Heritage  
Branch

395 Wellington Street  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

Bibliothèque et  
Archives Canada

Direction du  
Patrimoine de l'édition

395, rue Wellington  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

*Your file Votre référence*  
ISBN: 978-0-494-57250-4  
*Our file Notre référence*  
ISBN: 978-0-494-57250-4

#### NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

#### AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

■+■  
**Canada**

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

STRUCTURATION ET MODÉLISATION DES CONNAISSANCES NÉCESSAIRES  
À L'ÉVALUATION DES INTERDÉPENDANCES ENTRE LES RÉSEAUX DE  
SUPPORT À LA VIE

présenté par : GUICHARDET Géraldine  
en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées  
a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. AGARD Bruno, Doctorat., président

M. ROBERT Benoît, ing, Ph.D., membre et directeur de recherche

M. CHABOT, Emmanuel, B.A., membre

## RÉSUMÉ

Ces dernières années, la protection des Réseaux de Support à la Vie (RSV), également appelés Infrastructures Essentielles (IE) ou Infrastructures Critiques (IC), est devenue une priorité pour les gouvernements. Les événements récents mettent particulièrement en évidence leurs vulnérabilités. Lorsque ces systèmes sont affectés, les conséquences sont de grande envergure car les RSV, de par leurs missions, répondent aux besoins essentiels de la société (fourniture d'eau, d'électricité, de gaz, des soins de santé, des services bancaires...). De plus, les interrelations qui lient les RSV augmentent les conséquences car elles favorisent la propagation des défaillances entre RSV (effets domino). Lorsqu'un RSV n'a plus la capacité de fournir sa ressource sur un secteur, les réseaux utilisent cette ressource peuvent être affectés. La connaissance des risques de défaillances en cascade ou effets domino et le développement d'outils de gestion constituent donc des enjeux incontournables pour la protection des RSV.

Les travaux de recherche qui sont présentés dans ce mémoire proposent une démarche d'acquisition et de structuration des connaissances nécessaire à l'identification et à la modélisation des effets domino entre les RSV. La démarche nécessite la compréhension du fonctionnement des RSV et l'analyse du raisonnement des experts des RSV concernant la dégradation de leur réseau. La démarche permet de sélectionner les critères pertinents pour la caractérisation de l'état des RSV, considérant la survenue d'effets domino.

La base de connaissances structurée dans ces travaux permet de modéliser, de façon détaillée, la dégradation des RSV et les effets domino entre RSV. Elle traite à la fois des réseaux dépendants (relations unidirectionnelles) et des réseaux interdépendants (relations bidirectionnelles). Elle répond également à des problématiques particulières. Elle permet de considérer les cas de cumul de ressources indisponibles, la dépendance aux réseaux de transports et les modes de gestion des dégradations mis en place par les RSV.

Les travaux traitent des outils qui pourraient être développés à partir de la base de connaissances : système expert, Système d'Alerte Précoce (SAP) et outils de visualisation des dépendances entre les modes de gestion des dégradations des RSV.

Les résultats présentés dans ce mémoire sont en cours de validation grâce à des applications pratiques sur la ville de Montréal. Un système expert et un SAP sont en cours de développement.

Enfin, ces travaux favorisent une approche plus globale et proactive de la gestion des risques. Les RSV intègrent leur environnement dans leur gestion des risques. Grâce à l'anticipation des effets domino, ils peuvent, a priori, adapter ou mettre en place des modes de gestion de la dégradation adéquats. La démarche se déroule au sein d'un espace de coopération où collaborent les RSV, ce qui leur permettre de mettre en place des mécanismes de gestion cohérents et communs.

## ABSTRACT

In recent years, the protection of Critical Infrastructures (CIs) has become a priority for governments. Many recent events highlight the particular vulnerability of these infrastructures towards hazards whether natural, human or technological. Because the mission of CIs is to provide essential resources to the society (such as water, electricity, natural gas, health care, banking, etc.), the consequences of a failure of these systems often generate widespread consequences. In addition, the interdependencies between these systems increase these consequences because they can generate hardly predictable domino effects affecting other CIs. Hence, when a CI cannot provide its resource on a certain geographic space, systems that use this resource may be affected. Increasing the knowledge regarding the risks of failure or domino effects and developing management tools to deal with this problematic are therefore essential issues for the protection of CIs.

The research presented in this document proposes an approach for acquiring and structuring knowledge necessary for the identification and modeling of domino effects between CIs. The approach requires an understanding of the functioning of CIs and the acquisition of sufficient information and knowledge in order to anticipate the effects of the failure of a system on other systems. To do so, the proposed approach is based on the knowledge and the reasoning of the experts of these systems. The approach aims at selecting the relevant criterion in order to characterize the state of a CI based on the state of the other CIs and their capacity to provide their resources.

The knowledge base structured in this work allows to model in detail the domino effects generated after the failure of a CI. It deals with both dependent systems (unidirectional supplier/user relation) and interdependent systems (bidirectional supplier/user relation). It allows considering the case of multiple degraded or

unavailable resources and takes into account the alternate measures put in place by these systems to deal with a resource outage.

This document also presents the tools that can be developed from the knowledge base: expert system, early warning system and tools allowing the prediction of domino effects. The results here presented are being validated through practical applications on the cities of Montreal and Quebec. The expert system and the early warning system are being developed.

Finally, this work promotes a more comprehensive and proactive risk management approach. CIs incorporate their environment into their risk management. With the anticipation of domino effects, they can advance, adapt or develop new ways to better managing this phenomenon. This whole process takes place within a work area where the CIs cooperate towards a single and common objective, which is to reduce the consequences of failures and domino effects on their own system, but also on the other systems and on the population.

## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ .....	iv
ABSTRACT .....	viv
TABLE DES MATIÈRES .....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
LISTE DES FIGURES.....	xiii
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS .....	xv
LISTE DES ANNEXES.....	xv
CHAPITRE 1: INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE 2: CONTEXTE DE RECHERCHE .....	8
2.1    Présentation du CRP et des principes de bases .....	8
2.1.1    Travaux du CRP.....	8
2.1.2    Principe de l'approche par conséquences .....	11
2.1.3    Principe du traitement des interdépendances entre les RSV avec intégration des notions de l'approche par conséquences .....	13
2.2    Résultats des précédent projets de recherche menés par le CRP.....	15
2.2.1    Modélisation des effets domino.....	15
2.2.2    Dépendance des RSV au réseau routier .....	20
CHAPITRE 3: REVUE DE LITTÉRATURE.....	23
3.1    Les RSV : des systèmes essentiels et complexes en interactions les uns avec les autres .....	23
3.1.1    Le fonctionnement complexe des RSV .....	23
3.1.2    Les liens entre les RSV .....	24
3.2    État de dégradation des RSV .....	27
3.2.1    Caractérisation .....	27
3.2.2    Le défi du traitement de l'information.....	30
3.3    La modélisation et les systèmes experts .....	31
3.4    Les systèmes d'alerte précoce .....	33
3.4.1    Applications dans divers domaines.....	34
3.4.2    Composantes d'un système d'alerte précoce .....	37

3.5	Synthèse des éléments de littérature.....	39
CHAPITRE 4: TRAVAIL DE RECHERCHE.....		41
4.1	Problématique.....	42
4.2	Objectifs de recherche .....	43
4.2.1	Objectifs Généraux .....	43
4.2.2	Objectifs spécifiques.....	44
4.2.3	Cadre de travail.....	44
CHAPITRE 5: CARACTÉRISATION DU RAISONNEMENT EXPERT ET MODÉLISATION DES EFFETS DOMINO .....		46
5.1	Étude des interdépendances et étude des dépendances : Élargissement du cadre de recherche .....	46
5.1.1	Principe : Étude des interdépendances .....	46
5.1.2	Principe : Étude des dépendances.....	47
5.2	L'analyse fonctionnelle .....	48
5.2.1	Principe : notion d'ensemble fonctionnel.....	48
5.2.2	Les différents assemblages de l'ensemble fonctionnel.....	52
5.2.3	Caractérisation et identification dans la base de connaissances de l'ensemble fonctionnel.....	55
5.2.3.1	Perte de la mission sur un secteur d'alimentation .....	57
5.2.3.2	Perte du contrôle de la mission .....	59
5.2.3.3	La formation d'une zone de blocage de transports .....	61
5.2.3.4	La perte de fonctions jugées nécessaires ou importantes .....	64
5.3	Raisonnement des experts et caractéristiques à intégrer dans la base de connaissances pour la modélisation de l'état de dégradation .....	66
5.3.1	Obtention des informations auprès des experts .....	67
5.3.2	Caractérisation hors modes de gestion des dégradations.....	68
5.3.2.1	Le contexte d'utilisation.....	68
5.3.2.2	Caractéristiques de la ressource utilisée.....	69
5.3.2.3	Détermination du « T Délai ».....	73
5.3.2.3.1	Principe .....	73
5.3.2.3.2	Principe des classes d'ensemble fonctionnel.....	74

5.3.2.4 Traitement des ensembles fonctionnels considérant plusieurs RU/SALU indisponibles .....	75
5.3.2.4.1 Contexte d'utilisation .....	75
5.3.2.4.2 Caractéristiques de la ressource utilisée .....	76
5.3.2.4.3 Détermination du « <i>T Délai</i> » .....	77
5.3.2.4.4 Exemple d'application .....	77
5.3.2.4.5 Influence sur la modélisation de l'état de dégradation du RSV .....	79
5.3.3 Étude des modes de gestion de la dégradation .....	80
5.3.3.1 Principes .....	81
5.3.3.2 Modes de gestion : caractérisation, entrées dans la base de connaissances et influence sur la modélisation .....	83
5.3.3.3 Traitement des ensembles fonctionnels considérant plusieurs RU/SALU indisponibles .....	98
5.3.3.4 Dépendances entre les modes de gestion de la dégradation .....	99
5.4 Phases d'acquisition des connaissances et intérêts pour la modélisation.....	103
5.5 Validation des résultats .....	106
5.6 Applications et utilisations .....	107
5.6.1 Modélisation de la propagation des effets domino .....	107
5.6.2 Utilisation de la base de connaissances dans un système expert .....	110
5.6.2.1 Réflexion sur l'utilisation de ces travaux dans un Système d'alerte précoce : Exigences et défi .....	110
CHAPITRE 6: DISCUSSION.....	116
CHAPITRE 7: CONCLUSION .....	120
RÉFÉRENCES .....	123
ANNEXES .....	123

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 – Principes 15, 18 et 19 de la déclaration de Rio (Organisation des nations Unies, 1992) .....	9
Tableau 2.2 – Description des états de dégradation des RSV (De la Lande de Calan, 2007).....	19
Tableau 5.1 – Définitions de certaines fonctions (Petit, 2009).....	49
Tableau 5.2 – Matrice d'identification d'un ensemble fonctionnel pour le cas des interdépendances .....	58
Tableau 5.3 – Matrice d'identification d'un ensemble fonctionnel pour le cas des dépendances .....	58
Tableau 5.4 – Matrice d'identification d'un ensemble fonctionnel spécifique au contrôle .....	60
Tableau 5.5 – Matrice d'identification d'un ensemble fonctionnel spécifique au réseau de transports .....	63
Tableau 5.6 – Matrice d'identification d'un ensemble fonctionnel spécifique à une mission importante .....	65
Tableau 5.7 – Tableau récapitulatif des dix modes de gestion identifiés .....	84
Tableau 5.8 – Caractérisation dans la base de connaissances du mode de gestion « <i>Repli sans déplacement</i> ».....	85
Tableau 5.9 – Caractérisation dans la base de connaissances du mode de gestion « <i>Repli avec déplacement</i> » .....	86
Tableau 5.10 – Caractérisation dans la base de connaissances du mode de gestion « <i>Utilisation d'un équipement déjà sur place</i> ».....	88
Tableau 5.11 – Caractérisation dans la base de connaissances du mode de gestion « <i>Utilisation d'un équipement à acheminer</i> » .....	89
Tableau 5.12 – Caractérisation dans la base de connaissances du mode de gestion « <i>Ressource alternative sur place</i> ».....	90

Tableau 5.13 – Caractérisation dans la base de connaissances du mode de gestion « <i>Ressource alternative à acheminer</i> ».....	92
Tableau 5.14 – Caractérisation dans la base de connaissances du mode de gestion « <i>Équipement sur place et RA à acheminer</i> ».....	93
Tableau 5.15 – Caractérisation dans la base de connaissances du mode de gestion « <i>Équipement et RA sur place</i> ».....	94
Tableau 5.16 – Caractérisation dans la base de connaissances du mode de gestion « <i>Équipement et RA à acheminer</i> » .....	95
Tableau 5.17 – Caractérisation dans la base de connaissances du mode de gestion « <i>Équipement à acheminer et RA sur place</i> ».....	96

## LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 – Illustration de la définition du risque utilisée par le CRP (Robert, 2007) ...	12
Figure 2.2 – Illustration de la relation « client/fournisseur » entre les entités de l'espace de coopération. (Robert, Morabito, Quenneville, 2007).....	14
Figure 2.3 – Exemple de liens entre RU/SAL et RF/SAL .....	16
Figure 2.4 – Illustration du rôle du réseau routier dans l'acheminement des ressources essentielles aux RSV (Hémond, 2008) .....	21
Figure 3.1 – Quatre éléments principaux des systèmes d'alerte précoce axés sur la population (UN/ISDR 2006).....	38
Figure 5.1– Illustration de l'analyse fonctionnelle d'un RSV .....	50
Figure 5.2 – Composition d'un ensemble fonctionnel.....	51
Figure 5.3 – Illustration d'assemblage EF avec une ressource utilisée indisponible.....	53
Figure 5.4 –Illustration de l'assemblage d'un EF avec deux ressources utilisées indisponibles .....	55
Figure 5.5 – Exemple d'entrée dans la base de connaissances, d'un EF considérant plusieurs RU/SALU indisponibles.....	78
Figure 5.6 – Illustration de la modélisation, hors mode de gestion, de l'état d'un EF cumulant des RU/SALU indisponibles.....	79
Figure 5.7 – Influence du mode de gestion « <i>Repli</i> » sur la modélisation de l'état d'un RSV.....	86
Figure 5.8 – Influence du mode de gestion « <i>Repli avec déplacement</i> » sur la modélisation de l'état d'un RSV .....	87
Figure 5.9 – Influence du mode de gestion « <i>Équipement sur place</i> » sur la modélisation de l'état d'un RSV .....	88
Figure 5.10 –Influence du mode de gestion « <i>Équipement à acheminer</i> » sur la modélisation de l'état d'un RSV.....	90
Figure 5.11 –Influence du mode de gestion « <i>Ressource alternative sur place</i> »sur la modélisation de l'état d'un RSV.....	91

Figure 5.12 – Influence du mode de gestion « <i>Ressource alternative à acheminer</i> » sur la modélisation de l'état d'un RSV .....	92
Figure 5.13 – Influence du mode de gestion « <i>Équipement sur place et RA à acheminer</i> » sur la modélisation de l'état d'un RSV .....	93
Figure 5.14 – Influence du mode de gestion « <i>Équipement et RA sur place</i> » sur la modélisation de l'état d'un RSV .....	94
Figure 5.15 – Influence du mode de gestion « <i>Équipement et RA à acheminer</i> » sur la modélisation de l'état d'un RSV .....	95
Figure 5.16 – Influence du mode de gestion « <i>Équipement à acheminer et RA sur place</i> » sur la modélisation de l'état d'un RSV .....	96
Figure 5.17 – Modélisation d'un enchaînement de modes de gestion en boucle.....	97
Figure 5.18 – Évaluation des besoins cumulés en eau embouteillée .....	101
Figure 5.19 –Exemple d'outil de visualisation : Analyse des besoins en RA pour un effet domino anticipé .....	102
Figure 5.20 –Exemple d'outil de visualisation : Analyse des besoins en équipement pour un effet domino anticipé .....	103
Figure 5.21 –Récapitulatif des phases de détermination de l'état de dégradation des RSV .....	105
Figure 5.22 – Anticipation et modélisation de l'état d'avancement d'un effet domino	109

## LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AMT : Agence Métropolitaine de Transport

ARO : Analyse des Répercussions Organisationnelle

BHA : *Bali Hotels Association*

BMG : *Badan Meteorology dan Geofisika*

BSWS : *Bangladesh Storm Warning System*

CSA : *Canadian Standard Association*

CI : *Critical Infrastructure(s)*

CIAO : *Critical Infrastructures Assurance Office*

CIWIN: *Critical Infrastructure Warning Information Network*

CRP : Centre Risque & Performance

DEC : Délai d'Étude Considéré

DJMA : Débit Journalier Moyen Annuel

EF : Ensemble Fonctionnel

EWRS : *Early Warning and Response System*

F : Fonction

IC : Infrastructure(s) Critique(s)

IE : Infrastructure(s) Essentielle(s)

INFR(s) : Infrastructures

MG : Mode de Gestion de la dégradation

MRC : Municipalité Régionale de Comté

MTQ : Ministère des Transports du Québec

NA : Non Applicable

NIPC : *National Infrastructures Protection Center*

ONU/SIPC : Organisation des Nations Unies/ Stratégie Internationale de Prévention des Catastrophes

OSCQ : Organisation de Sécurité Civile du Québec

PCIS : *Partnership for Critical Infrastructures Security*

PEPIC : Programme Européen de Protection des Infrastructures Critiques

PTWC : *Pacific Tsunami Warning Center*

RA : Ressource Alternative

RAPEX : *Rapid Alert System for Non-Food Products*

RAS BICHAT : *Rapid Alert System for Biological and Chemical Attacks and Threats*

RFMA : Réseau Ferroviaire, Routier, Maritime et Aérien

RF : Ressource Fournie

RSV : Réseau de Support à la Vie

RU : Ressource Utilisée

SALF : Secteur d’Alimentation pour la Ressource Fournie

SALU : Secteur d’Alimentation pour la Ressource Utilisée

SAP : Système d’Alerte Précoce

SARS : *Severe Acute Respiratory Syndrome*

SPIM : Service de Protection contre les Incendies de la ville de Montréal

UN/ISDR : *United Nations / International Strategy for Disaster Reduction*

UPS : *Uninterrupted Power Supply*

WC/ATWC : *West Coast / Alaska Tsunami Warning Center*

## LISTE DES ANNEXES

ANNEXE	A : QUESTIONNAIRE DE CARACTÉRISATION GLOBALE D'UN RÉSEAU.....	132
ANNEXE	B : QUESTIONNAIRE D'IDENTIFICATION ET DE CARACTÉRISATION DES RESSOURCES EXTERNES UTILISÉES.....	136
ANNEXE	C : ENTREE DANS LA BASE DE CONNAISSANCES ET MODELISATION DES CARACTERISTIQUES HORS MODE DE GESTION DE LA DEGRADATION.....	139
ANNEXE	D : VALIDATION DES RÉSULTATS : EXEMPLE DE BASE DE CONNAISSANCES.....	148

## CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

Les Réseaux de support à la vie (RSV), ou Infrastructures essentielles (IE), sont indispensables au fonctionnement de nos sociétés, tant sur un plan économique, que social. Actuellement, leur protection préoccupe tout particulièrement les gouvernements à travers le monde. Elle soulève de nombreux défis et concerne à la fois les pouvoirs publics et les organisations privées qui en sont propriétaires. De récents événements à travers le monde, ont montré leurs vulnérabilités grandissantes et surtout, l'ampleur des conséquences lorsque ces infrastructures sont affectées. Par exemple, l'épidémie de fièvre aphteuse ayant touchée le Royaume-Uni de février à septembre 2001 a eu d'importantes répercussions sur l'industrie rurale, le tourisme, les transports, les services d'urgences et de santé à travers le pays (Sécurité Publique Canada [SPC], 2006a). Le 14 Août 2003, une panne du réseau électrique a touché l'Ontario (Canada) et huit États américains (New York, Ohio, Pennsylvanie, New Jersey, Vermont, Michigan, Connecticut et Massachusetts), privant de service quelques 50 millions de personnes. Cette panne a également affecté d'autres IE (tous secteurs confondus) à des degrés variables, de même que les organismes d'intervention d'urgence (SPC, 2006b).

Les États-Unis, ont été les premiers à porter attention à cette problématique. Bien avant les tragiques événements les ayant frappés lors de la dernière décennie, comme les attentats terroristes du World Trade Center en 2001 et les attaques à l'anthrax (Heyman, 2002), les catastrophes naturelles comme le cyclone Katrina (Guihou *et al.*, 2006), une démarche nationale avait été entreprise.

En 1996, le Président des États-Unis, Bill Clinton, commandait une étude nationale, intégrant le gouvernement et les organisations privées propriétaires d'IE, qui visait à analyser les vulnérabilités et à évaluer les éléments critiques pour la continuité de l'économie et de la vie sociale. Le rapport d'étude, publié en 1997, mettait particulièrement en évidence la méconnaissance des vulnérabilités, la problématique du

partage d'informations, le manque de préparation et pointait l'absence de système de surveillance et d'alerte globale (*The President's commission on critical infrastructure protection*, 1997). Suite à ce rapport, la directive présidentielle 63 a définie une stratégie et un cadre national visant à protéger les Infrastructures critiques publiques et privées en créant un processus dynamique d'évaluation et d'atténuation des risques. La démarche était supportée par la création de deux structures nationales :

- Le *Critical Infrastructures Assurance Office* (CIAO) qui coordonne les initiatives fédérales ;
- Le *National Infrastructures Protection Center* (NIPC) qui est chargé de la collecte d'informations, de la surveillance et de l'alerte.

L'action dans les secteurs privés s'est traduite par la mise en place du *Partnership for Critical Infrastructures Security* (PCIS), en décembre 1999 (Michel-Kerjan, 2003).

Suite aux attentats du World Trade center, la démarche américaine s'est précisée. Par l'intermédiaire de la directive HSPD 7, le président Georges Walker Bush amorça, en 2003, une action globale, afin de créer un plan national pour protéger les Infrastructures critiques et les ressources clés du pays. La Maison Blanche a alors émis conséutivement deux stratégies :

- Le *National Strategy for the Physical Protection of Critical Infrastructures*, qui définit les objectifs que doivent atteindre les États (Zimmerman, 2004).
- Le *National Strategy to Secure Cyberspace* qui vise à ce que chaque américain sécurise les espaces cybernétiques qui lui appartiennent, qu'il opère, qu'il contrôle ou qu'il utilise (Zimmerman, 2004).

Le Canada conscient de ces enjeux élabore actuellement une stratégie nationale et un plan d'actions visant à rendre les IE plus résilientes. Cette démarche, qui se veut davantage ministérielle, rappelle également la responsabilité qu'ont les propriétaires et exploitants des secteurs publics et privés à protéger leurs réseaux, et à répondre aux exigences de prévention, d'atténuation et de préparation aux risques. Elle souligne l'importance de construire des partenariats de confiance viables, d'utiliser les expertises des divers secteurs et d'élaborer des outils pratiques. Le plan d'actions s'appuie sur une approche de gestion des risques élargie, qui prend en compte le système complexe d'interdépendances qui lie les IE. SPC (2008a) définit ce processus comme : « *un processus continu, anticipatoire et systématique qui permet de comprendre, de gérer, et de faire connaître les menaces, les risques, les vulnérabilités et les interdépendances dans l'ensemble de la collectivité des Infrastructures Essentielles* ».

Le Québec, vient récemment d'adopter une démarche gouvernementale qui vise plus particulièrement à accroître la résilience des systèmes essentiels. Par l'intermédiaire de l'Organisation de Sécurité Civile du Québec (OSCQ), en février 2009, le gouvernement du Québec vient d'approuver un cadre de référence. L'objectif est de mettre en place une méthode qui permet l'analyse des risques pour l'ensemble des aléas pouvant affecter les systèmes essentiels, et qui intègre l'influence des liens entre ces systèmes. La démarche s'appuie sur l'identification des systèmes essentiels, de leurs besoins en ressources et de leurs missions en termes de ressources fournies. Elle propose d'analyser les conséquences de la perte de ressources utilisées pour leur organisation et pour les autres utilisateurs. Afin de réduire les vulnérabilités mises en évidence lors de l'analyse des conséquences, la démarche propose de déterminer les mesures adéquates afin de maintenir une offre acceptable de service, en tout temps. Enfin, elle précise qu'il faut s'assurer que les mesures mises en place soient compatibles et cohérentes. Présentement, cette démarche est en cours d'application par l'ensemble des ministères du Québec, avec une approche par tables sectorielles (Dufour *et al.*, 2009)

Lors du tsunami de 2005 qui a ravagé l'Asie du Sud Est, l'Union Européenne (UE) a identifié des dysfonctionnements dans ses processus de coordination et d'intervention et a pris conscience, de l'enjeu relié aux IE. Des réformes des systèmes d'alertes (ARGUS) et de gestion de crises ont été entreprises. Dans ce cadre, un livre vert a été publié en novembre 2005, par la commission des communautés européennes (Commission des communautés européennes, 2005). Il visait à définir les infrastructures critiques européennes. Dans un même temps, le Conseil Européen de la Justice et des affaires intérieures demandait à la Commission Européenne de proposer un Programme Européen de Protection des Infrastructures Critiques (PEPIC). Ainsi en décembre 2006, dans un acte de communication, la Commission Européenne exposa les principes et les instruments de mise en œuvre du PEPIC. Nous pouvons remarquer particulièrement que l'UE veut implanter un système commun d'identification et de classification des infrastructures critiques et d'évaluation des besoins supplémentaires en protection. Tout comme au Canada, l'emphase est mise sur le développement de partenariats, avec la mise en place de procédures d'échanges d'informations entre les états membres et la création d'un système d'alerte spécifique : le *Critical Infrastructure Warning Information Network (CIWIN)*. L'UE reconnaît l'importance de ces partenariats dans le traitement des cas de dépendances entre les états membres. À ce titre, elle prévoit dans son plan, le recensement des liens de dépendances géographiques et sectoriels entre les infrastructures critiques (Commission des communautés européennes, 2006).

Ces éléments mettent en évidence la tendance actuelle qui vise à mieux protéger les éléments vitaux à notre survie, que sont les IE.

Afin d'assurer la continuité de service des RSV, des mesures de protection sont déjà mises en place. Les RSV prévoient à l'interne des modes de gestion pour répondre aux dégradations. Ces mécanismes ont été mis en place en tant que mesures de réduction des risques, en réponse aux analyses de risques des organisations.

Cependant, aujourd’hui, suite aux grandes catastrophes que nous avons évoquées, nous considérons les RSV comme évoluant dans un environnement et en interrelation les uns avec les autres. L’analyse des risques se complexifie donc, et de nouvelles vulnérabilités apparaissent. Ceci implique l’adaptation des modes de gestion et la mise en place de nouveaux dispositifs. Ces considérations impliquent également la collaboration des RSV pour la connaissance des risques et pour la mise en place des mesures d’atténuation.

Nos travaux de recherche visent à améliorer la protection des RSV sur un territoire donné, considérant les effets domino (défaillances en chaîne des RSV) auxquels ils pourraient être assujettis.

Ils visent particulièrement à déterminer une démarche d’acquisition et de modélisation des connaissances, nécessaires à la prévision et à la visualisation des effets domino entre RSV.

La première partie de ce mémoire présentera le contexte de recherche. Ces travaux s’insèrent dans les projets que mène le *Centre risque & performance* (CRP) de l’École Polytechnique de Montréal. Ils intègrent, par conséquent, les résultats de travaux de recherche précédents. Ainsi, nous analyserons les recherches et recommandations de De La Lande De Calan (2007) concernant la modélisation des interdépendances. Puis, nous étudierons ceux de Hémond (2008) concernant la dépendance des RSV face aux réseaux de transports.

Dans une seconde partie, nous effectuerons une revue de la littérature. Elle traitera de la complexité des RSV et de leurs interrelations. Nous verrons ensuite quels sont les défis à relever afin de caractériser et modéliser leur état de dégradation lorsqu’ils sont soumis à des effets domino. Puis, nous étudierons les systèmes et outils qui pourraient être développés à partir des informations concernant la dégradation des RSV.

La troisième partie de ce mémoire présentera les travaux de recherche. Nous préciserons la problématique issue du contexte de recherche et de la revue de littérature. Par la suite, nous définirons les objectifs généraux et spécifiques, ainsi que le cadre de nos recherches.

Dans la quatrième partie, la démarche développée afin de caractériser l'état de dégradation des RSV sera détaillée. Nous présenterons les deux types d'études qui ont été menés en parallèle : les dépendances et les interdépendances. Nous présenterons notre analyse du fonctionnement des RSV et les notions que nous avons introduites. Puis, nous caractériserons l'état des RSV. Nous utiliserons des critères concernant les ressources que les RSV utilisent, des critères propres au fonctionnement des RSV, des critères issus des modes de gestion qui sont déjà en place. Pour chacun d'entre eux, nous indiquerons quelles sont les informations que les experts des RSV devront fournir, comment les connaissances devront être structurées et quelle sera l'influence de ces critères sur la modélisation de l'état de dégradation.

Nous présenterons enfin, les applications possibles de la base de connaissances qui aura été structurée. Nous montrerons donc des outils qui pourraient être développés à partir de la base de connaissances afin d'améliorer la protection des RSV.

Nous évoquerons la validation sur le court terme de la base de connaissances grâce à des essais de validation qui sont en cours au sein du CRP.

Dans la cinquième partie, avant de conclure, nous discuterons les résultats obtenus. Nous montrerons comment ils ont su répondre aux objectifs généraux et aux défis spécifiques qui étaient à relever. Nous mettrons également en évidence les limites de ces travaux. Ces limites pourront faire l'objet de recherches plus approfondies, afin de pouvoir intégrer de nouveaux enjeux dans la base de connaissances et de raffiner encore davantage la modélisation.

Nos travaux conduisent à la modélisation de l'état de dégradation des RSV et des effets domino. Ils intègrent également des problématiques spécifiques. Ils permettent de mettre en évidence les informations précises concernant l'état de fonctionnement des RSV dans le cas d'effets domino. Cette analyse détaillée permet une gestion proactive des risques. En matière de prévention, elle facilite la mise en place, a priori, de mécanismes de protection des RSV et la coopération des réseaux dans l'implantation de ces mesures. De plus, lors de situation de crise, les outils, développés à partir de la base de connaissances, constitueront des outils d'aide à la décision.

## **CHAPITRE 2 : CONTEXTE DE RECHERCHE**

Ces travaux se sont déroulés dans le cadre de projets de recherche conduits par le CRP. Par conséquent, dans ce chapitre, les activités du centre de recherche seront brièvement présentées et les principes de base appliqués dans ces travaux seront exposés.

Les travaux de ce mémoire s'inscrivent également dans la continuité d'un projet de quatre années mené par le Centre et constituent la base d'un nouveau projet débuté en septembre 2008. Les résultats et recommandations des études précédentes seront donc présentés et analysés.

### **2.1 Présentation du Centre risque & performance et des principes de bases**

#### **2.1.1 Travaux du CRP**

Le CRP s'appuie dans sa démarche sur les principes 15, 18 et 19 du Sommet de la Terre de Rio présentés dans le Tableau 2.1 (Organisation des nations Unies (ONU), 1992).

**Tableau 2.1– Principes 15, 18 et 19 de la déclaration de Rio (Organisation des nations Unies, 1992)**

<b>Principe 15</b>	« Pour protéger l'environnement, des mesures de précaution doivent être largement appliquées par les États selon leurs capacités. En cas de risque de dommages graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir la dégradation de l'environnement. »
<b>Principe 18</b>	« Les États doivent notifier immédiatement aux autres États toute catastrophe naturelle ou toute autre situation d'urgence qui risque d'avoir des effets néfastes soudains sur l'environnement de ces derniers. La communauté internationale doit faire tout son possible pour aider les États sinistrés. »
<b>Principe 19</b>	« Les États doivent prévenir suffisamment à l'avance les États susceptibles d'être affectés et leur communiquer toutes informations pertinentes sur les activités qui peuvent avoir des effets transfrontières sérieusement nocifs sur l'environnement et mener des consultations avec ces États rapidement et de bonne foi. »

Ses travaux se concentrent donc, sur l'anticipation des conséquences néfastes plutôt que sur les causes des défaillances. Ils traitent également de la mise en place d'espaces de collaboration ou coopération et la communication des risques. De plus, le CRP adopte clairement une démarche de prévention qui vise à développer une gestion proactive notamment, par l'intégration des résultats obtenus dans les mécanismes de gestion et de planification des organisations (Robert *et al.*, 2007).

Actuellement, les travaux du Centre concernent spécifiquement le domaine de la protection des RSV et traitent tout particulièrement, des liens qui les unissent et qui peuvent entraîner des défaillances en cascade.

Ces dernières années, il a donc spécifiquement concentré ses efforts sur la caractérisation de ces liens et de leurs effets et l'anticipation des interdépendances entre les RSV. Petit (2009) rappelle que la mission d'un système peut être assimilée à sa raison d'être. Dans le contexte des RSV, il indique que la mission peut être assimilée à la fourniture d'une ressource selon des caractéristiques précises. Ces caractéristiques

peuvent, par exemple, correspondre à un voltage en particulier, si on traite de la fourniture d'électricité, ou à un niveau de qualité, si on traite de l'approvisionnement en eau potable. Petit (2009) précise que si la ressource ou les caractéristiques changent, la mission change. Selon lui, chaque RSV possède la mission principale et des missions secondaires, qui soutiennent la mission principale. Enfin, il fait aussi remarquer que certains RSV ne fournissent pas réellement de ressource. Leur mission consiste à mettre à la disposition d'usagers leur réseau sous les meilleures conditions. Nous pouvons citer le cas des réseaux de transport qui sera explicité par la suite.

Dans ce cadre, le CRP s'est entouré de l'expertise de partenaires publics et privés, responsables de RSV: Bell Canada, Hydro-Québec, Gaz Métro, la Ville de Montréal, la ville de Québec, le Ministère des Transports du Québec, le Ministère de la Sécurité Publique du Québec, Sécurité Publique Canada (SPC).

En collaboration avec ses partenaires, entre 2005 et 2008, il a mené deux projets consécutifs, à Montréal et à Québec, qui visaient à développer et valider une méthodologie d'évaluation des interdépendances entre les RSV.

Le CRP a été financé avec d'autres groupes de recherche par Sécurité Publique et Protection Civile Canada (SPPCC) et le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG), via le programme conjoint de recherche sur les interdépendances entre les infrastructures (PCRII) qui s'est achevé en 2008.

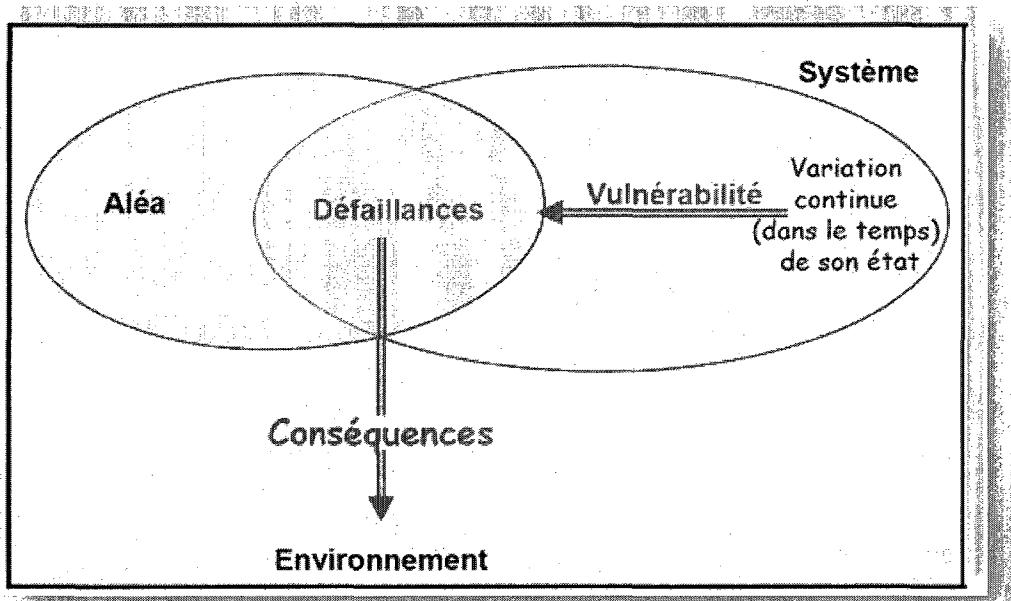
Dans la continuité, il conduit aujourd'hui un nouveau projet de quatre années mené en parallèle à Montréal et Québec qui vise à automatiser la méthodologie et à développer un système expert. Ce système devra intégrer les mécanismes de raisonnement des experts et permettre de modéliser et anticiper les effets domino. Il constituera un outil d'aide à la décision pour les mesures de prévention et de protection prises par les organisations mais aussi, afin d'assurer la continuité opérationnelle des RSV.

Un SAP devrait le compléter afin d'uniformiser les communications et coordonner les actions au sein de l'espace de coopération.

### **2.1.2 Principe de l'approche par conséquences**

Le CRP travaille à partir d'une démarche d'évaluation des risques innovante, dans le sens où elle se concentre sur l'analyse des conséquences pour apprécier un risque.

Elle est dite : « *approche par conséquences* ». Cette approche est fondée sur une définition particulière du risque. Dans ses travaux visant à évaluer la vulnérabilité d'une Municipalité Régionale de Comté (MRC) en utilisant l'approche des risques par conséquences, Pageon (2008) utilise et rappelle la définition du risque énoncée par le CRP et précise les notions qui la composent. Comme l'illustre la Figure 2.1, le risque est donc défini comme la rencontre d'un aléa avec la vulnérabilité d'un système, susceptible d'engendrer des conséquences sur un environnement.



**Figure 2.1 – Illustration de la définition du risque utilisée par le CRP (Robert, 2007)**

Les termes utilisés sont également définis comme suit (Robert, 2007) :

- *La vulnérabilité* est une propriété, évolutive dans le temps, d'un système à subir des défaillances en fonction de son état.
- *La défaillance* se réfère à une altération, dégradation ou cessation de l'aptitude d'un système à accomplir sa ou ses missions requises avec les performances spécifiées.
- *Le système* représente un ensemble cohérent d'éléments (ou de processus) liés par des objectifs, des responsabilités ou des missions communs et fixés.
- *L'aléa* est un événement naturel ou anthropique (interne et externe) susceptible de survenir.

- *Les conséquences* sont les effets sur un environnement (humain, technologique, socio-économique, biophysique, etc.), des défaillances d'un système.
- *L'environnement* est défini comme une zone d'étude constituée d'éléments ou d'enjeux humains, socio-économiques et technologiques.

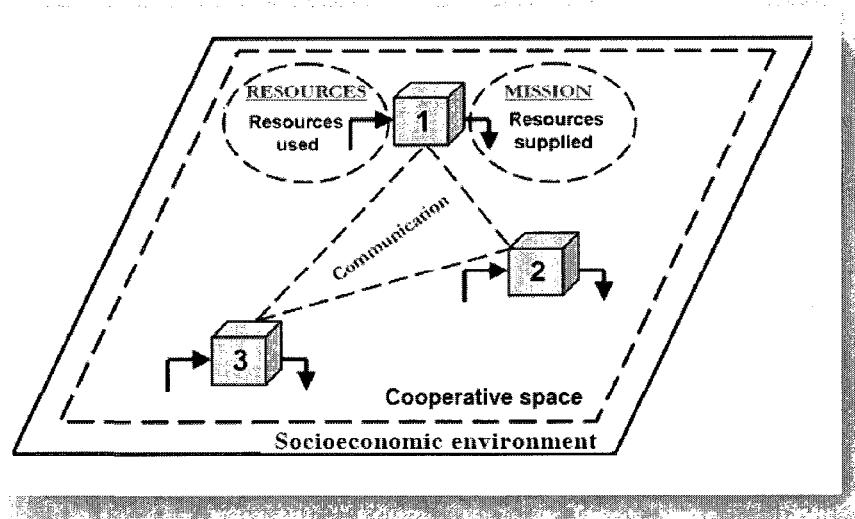
Les aléas font partie intégrante du risque, ce sont les éléments déclencheurs lorsqu'ils rencontrent une vulnérabilité du système. Leur prévision est la plupart du temps basée sur des modèles probabilistes et devient particulièrement complexe lorsque des événements naturels sont traités, face aux nouveaux enjeux, par exemple, de réchauffement climatique. La méthode du CRP propose donc de se concentrer sur une notion plus tangible : les conséquences. Elle considère la dégradation du système quel que soit l'élément déclencheur (aléa) puis, elle anticipe les conséquences néfastes sur le système lui-même et sur l'environnement. L'objectif final étant d'atténuer ces conséquences par des mesures de prévention et/ou de protection.

### **2.1.3 Principe du traitement des interdépendances entre les RSV avec intégration des notions de l'approche par conséquences**

Les RSV en interdépendances forment un espace socio-économique et stratégique de coopération, soit l'environnement. L'espace de coopération est un regroupement de plusieurs RSV qui ont des activités économiques reliées. Ils travaillent ensemble, sur une base volontaire dans un objectif commun, visant à les protéger des effets domino. Dans ce cadre, ils échangent de l'information et coordonnent des actions et des projets.

La démarche vise alors à identifier les défaillances des RSV et à suivre leur propagation dans l'environnement et dans le temps via leurs interrelations. La démarche utilise la relation qui lie les différents RSV, de type « client-fournisseur ». Plus

précisément, un RSV utilise une ou plusieurs ressources (dites ressources utilisées: RU), prises sur un ou plusieurs secteurs d'alimentation (dits secteurs d'alimentation des ressources utilisées: SALU), provenant d'autres RSV. Il les utilise afin de fournir à son tour une ressource (dite ressource fournie : RF), sur un secteur d'alimentation (dits secteurs d'alimentation des ressources fournies : SALF). La Figure 2.2 montre que le bloc 1 (qui représente un RSV de l'espace de coopération) utilise et fournit des ressources. Les RSV de son environnement, les blocs 2 et 3 utilisent et fournissent également des ressources. Les blocs peuvent entrer en communication et être en interaction, si l'un des blocs de l'espace socio-économique utilise la ressource fournie par un autre bloc. Par ce lien, la défaillance du bloc ou RSV peut se propager dans l'environnement et créer un effet domino.



**Figure 2.2 – Illustration de la relation « client/fournisseur » entre les entités de l'espace de coopération. (Robert *et al.* 2007)**

En utilisant l'analyse des risques par conséquences et les liens de type « clients fournisseur » dits aussi interdépendances, la démarche permet d'anticiper dans le temps, la dégradation d'un RSV soumis à la perte de RU et dans un second temps, les

conséquences dans l'environnement en cas de défaillance du RSV, soit la propagation aux autres RSV de l'espace socio-économique de coopération et la présence d'éventuels effets domino.

## 2.2 Résultats des précédent projets de recherche menés par le CRP

Les travaux décrits dans ce mémoire, sont basés entre autres, sur les résultats des recherches menées lors du premier projet du CRP concernant les effets domino entre les RSV. Dans la section suivante, les premières conclusions concernant la modélisation des effets domino puis l'intégration des réseaux de transport seront présentées.

### 2.2.1 Modélisation des effets domino

Dans cette section, les travaux de De la Lande de Calan (2007), visant à modéliser les interdépendances entre les RSV, seront présentés.

Ces travaux indiquent qu'un système de communication entre les RSV sécuritaire, confidentiel et adaptable devait être mis en place. Il présente donc, le principe d'espace de coopération qui a été créé durant le projet, dans lequel les membres du projet ont instauré un partenariat de confiance et grâce auquel ils partagent l'information. Ils collaborent également, afin de réduire les conséquences lorsque l'évaluation des risques a mis en évidence des points critiques entre des IE.

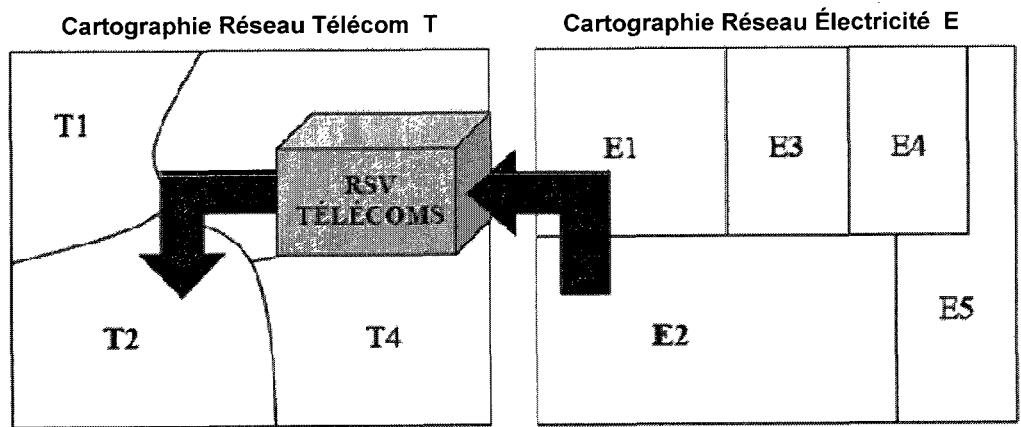
De plus, il montre que la technique de « *cartographie souple* » permet d'assurer la sécurité des données (Robert *et al.*, 2008). Au lieu de géoréférencer précisément un système à l'étude (soit un élément de RSV), la notion spatiale est introduite grâce à l'utilisation de secteurs. Les secteurs dans lesquels, le système utilise ou fournit des ressources essentielles sont indiqués. Ces secteurs sont appelés : secteur d'alimentation (SAL) et sont définis par les réseaux. Un secteur où la ressource est utilisée est dit

« SALU », tandis qu'un secteur ou la ressource est fourni est dit « SALF ». Nous obtenons ainsi une information interprétée qui découle directement du fonctionnement des organisations.

Ainsi, les travaux introduisent la notion de couple ressource et secteur R/SAL, où chaque ressource est associée au secteur sur lequel elle est fournie ou utilisée par un RSV.

Par exemple, sur la

Figure 2.3, nous voyons que le RSV télécom T, utilise la ressource électricité E du secteur de fourniture E2 soit *électricité/E2* du réseau électrique, pour fournir des télécommunications sur son secteur de fourniture de télécom T2 soit *Télécom/T2*.



**Figure 2.3 – Exemple de liens entre RU/SAL et RF/SAL  
(De la Lande de Calan, 2007)**

Ces travaux traitent également de la nécessité de créer une base de données flexible et ordonnée contenant les informations pertinentes pour modéliser les interdépendances. Ils montrent que l'entrée dans une base de données des informations concernant les RU/SALU, les RSV, les RF/SALF permet la

caractérisation des liens entre les RSV via l'échange de ressources. Les travaux indiquent que la mise en évidence des liens entre les RSV, permettrait d'identifier et d'anticiper les éventuels effets domino consécutifs aux défaillances.

Ces travaux indiquent également qu'au-delà des liens, il est nécessaire de caractériser l'état de dégradation des RSV. Il montre que des modèles mathématiques de dégradation sont difficiles à mettre en œuvre en raison de la complexité de ces systèmes et du nombre important de variables à considérer.

Pour caractériser l'état de dégradation, ces travaux proposent un modèle de mesure de l'état de dégradation des RSV à quatre niveaux, de l'état optimal (état 1, vert) à l'état de défaillance (état 4, rouge) et incluant deux niveaux intermédiaires de dégradation. Ces niveaux découlent directement de la caractérisation de la ressource utilisée par le système.

Dans la méthodologie, les ressources utilisées sont caractérisées en 3 classes d'essentialité croissante pour la mission :

- Supportive ;
- Nécessaire ;
- Critique.

Chaque classe réfère à un scénario de dégradation différent si la ressource est indisponible.

Une ressource « *critique* » amène le système dans un état directement défaillant (4 ou rouge) suivant un délai, soit une marge de manœuvre définit au cas par cas.

Alors qu'une ressource « *supportive* » conduit le système dans un état dégradé intermédiaire (2 ou jaune) pour l'ensemble de la durée d'étude.

Une ressource « *nécessaire* » amène le système directement dans un état dégradé intermédiaire (3 ou orange) avec un certain délai, puis en état défaillant rouge après un second délai.

Les critères utilisés pour caractériser la ressource demeurent assez vastes. Le modèle utilise l'impact sur le système de l'indisponibilité de la ressource utilisée (incluant la capacité de maintenir la mission du système par l'utilisation de ressources alternatives à la ressource défaillante), combiné au temps (avec la notion de perte de service dans le court ou moyen terme). Notons que l'intégration du temps se fait également, par la détermination des marges de manœuvre, marquant du modèle passage d'un état à l'autre. Nous obtenons les états du système présentés dans le Tableau 2.2.

**Tableau 2.2 – Description des états de dégradation des RSV (De la Lande de Calan, 2007)**

ÉTAT DU SYSTÈME	CARACTÉRISTIQUES
1-Optimal (Vert)	État de référence. Le réseau fonctionne tout à fait correctement et la RF/SALF étudiée est bien fournie.
2-Dégradé (Jaune)	L'une des ressources utilisées est indisponible. le réseau subit un impact, mais ne risque pas de perdre, dans un futur proche, la RF/SALF étudiée. L'impact a été pallié, et la solution, pour y pallier, est durable. Le maintien du RSV opérationnel est possible.
3-Dégradé (Orange)	L'une des ressources utilisées est indisponible. le réseau subit un impact et risque de perdre, dans un futur proche, la RF/SALF étudiée. L'impact a été pallié, mais la solution, pour y pallier, n'est pas durable. Le RSV risque de ne pas pouvoir maintenir son état opérationnel.
4-Défaillant/Hors service (Rouge)	Le réseau subit un impact et il n'est plus en mesure de fournir la RF/SALF étudiée. Le RSV est arrivé dans un état tel qu'il n'est plus capable de fournir la RF/SALF dans les conditions nécessaires au bon fonctionnement des autres RSV.

Remarquons finalement, que l'influence du contexte de l'utilisation de la ressource, c'est-à-dire la période comme l'été versus l'hiver, est introduite.

Enfin, ces travaux soulignent la nécessité d'intégrer plus spécifiquement dans la caractérisation l'utilisation de ressources alternatives. Plus largement, il indique qu'il apparaît important de se pencher sur la gestion des dégradations mise en place par les

organisations. Ce sont en fait, des processus de continuité opérationnelle qui visent à pallier aux dégradations de leurs systèmes.

Il semble nécessaire également de poursuivre des recherches concernant le cumul de ressources défaillantes, qui n'a pas pu encore être introduit dans la méthodologie et qui est apparu comme un enjeu important pour les partenaires du projet.

Nos travaux visent à approfondir les pistes et notions apportées par De la Lande de Calan (2007), mais aussi à les rendre opérationnelles afin de pouvoir modéliser les effets domino. Nous viserons donc particulièrement à intégrer ces recommandations et à approfondir les travaux concernant le cumul de défaillances et l'influence de la continuité opérationnelle.

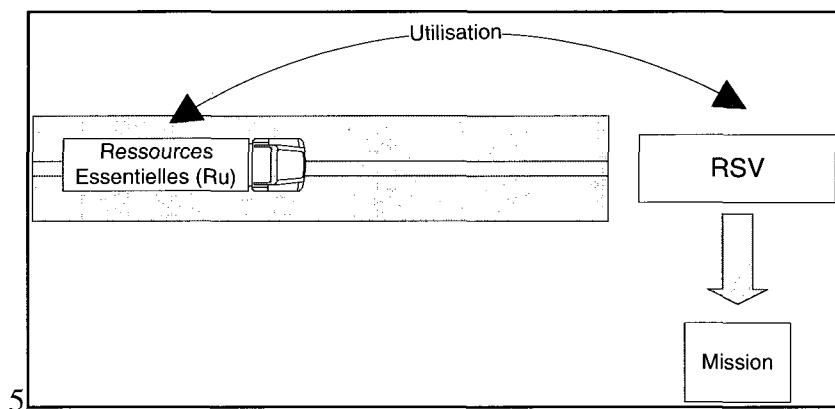
### **2.2.2 Dépendance des RSV au réseau routier**

Le CRP est en partenariat avec le Ministère du transport du Québec dans ses projets. Nous cherchons donc à intégrer les RSV de transport dans la modélisation des effets domino entre RSV.

En raison de leur type de mission, les réseaux de transport répondent à une problématique particulière. Afin de comprendre leur influence sur la modélisation, nous proposons d'analyser les résultats de Hémond (2008). Ces travaux portent sur les dépendances des RSV au réseau routier et seront exposés dans la section suivante.

Dans un premier temps, ces recherches montrent que le réseau routier ne fournit pas une ressource au même titre que les autres partenaires comme l'eau, l'électricité, etc. Elles soulignent qu'en fait ces infrastructures sont mises à la disposition des autres réseaux et que la ressource fournit est différente car elle est statique (ne se transmet pas). Le réseau routier est utilisé soit pour acheminer les ressources (approvisionnement) soit pour diverses opérations comme par exemple, la surveillance ou la maintenance. La

Figure 2.4, issue des travaux de Hémond (2008) illustre bien ce propos. Elle représente le cas de l'approvisionnement. La ressource est transportée via un transporteur routier sur le réseau routier à destination d'un RSV qui va l'utiliser pour réaliser sa mission.



**Figure 2.4 – Illustration du rôle du réseau routier dans l'acheminement des ressources essentielles aux RSV (Hémond, 2008)**

Dans ces travaux, le réseau de transport est davantage traité comme un facteur pouvant agir sur la dégradation des IE. Il n'est pas traité comme un initiateur d'effets domino et ne fait pas l'objet d'une analyse ressources/secteurs.

Les recherches de Hémond (2008) montrent qu'on ne peut pas définir des secteurs d'alimentation pour le réseau de transport à l'image des autres réseaux. Cette spécificité l'a conduit à caractériser les conséquences des défaillances, dans l'espace, selon une nouvelle approche. Sa démarche propose d'identifier des éléments critiques du réseau ou points névralgiques, permettant un trafic routier élevé ou stratégique et de déterminer quelle sera la zone de blocage et d'affectation en cas de défaillance autour de cet élément.

Certains paramètres influencerait la détermination des zones et sont également mis en évidence :

- L'ampleur de la défaillance de l'élément ;
- Le contexte (période de la journée, de l'année, température).

Tel qu'évoqué précédemment, ce n'est pas réellement une ressource qui est fournit et par conséquent, ces recherches proposent d'introduire des *types d'utilisation* du réseau transport. Les diverses utilisations du réseau routier sont analysées et les travaux tendent à montrer qu'un traitement différent devrait être appliqué. Les types de conséquences et de marges de manœuvre seraient différents selon ces utilisations. Deux classes sont définies :

L'utilisation afin d'*assurer un approvisionnement en ressources* courantes ou alternatives (de remplacements). Dans le cas d'une défaillance et pour cette utilisation, les conséquences identifiées se caractériseraient par « *un délai d'approvisionnement* » à définir.

L'utilisation pour *des activités de support*. Ces activités sont définies comme supportant la mission de RSV, par exemple la maintenance ou la surveillance. Les travaux indiquent que les impacts dans le temps sont plus difficiles à définir. Cependant, ils précisent qu'en agissant sur l'accès d'une infrastructure du réseau *un délai d'accessibilité* peut être introduit.

Enfin, Hémond (2008) précise qu'il faudra adapter la section de caractérisation de la méthodologie du Centre afin d'intégrer les dépendances au réseau routier. Ces nouvelles considérations pourraient modifier la modélisation des effets domino, par exemple, par l'introduction d'avertissements. Dans nos travaux, nous allons donc chercher à introduire la défaillance particulière des réseaux de transport, en zones de blocage. Nous chercherons également à définir quand et comment ces zones pourront affecter l'état d'un RSV en agissant sur l'approvisionnement en ressources et l'accès à des infrastructures.

## CHAPITRE 3 : REVUE DE LITTÉRATURE

Le chapitre suivant se décompose en trois parties. Dans un premier temps, nous amènerons des éléments de littérature nous permettant de mieux comprendre ce qu'est un RSV, plus spécifiquement son fonctionnement et ses interactions avec son environnement.

Puis, nous traiterons de la caractérisation de l'état de dégradation des RSV face à leurs interdépendances et dépendances, en explorant les pistes et défis qui sont issus de la littérature.

Enfin, la troisième section introduira les systèmes experts et les SAP afin de montrer dans quelles mesures ils s'inscrivent dans le prolongement de nos travaux et pourraient constituer des outils efficaces pour la problématique des effets domino entre RSV.

### **3.1 Les RSV : des systèmes essentiels et complexes en interactions les uns avec les autres**

#### **3.1.1 Le fonctionnement complexe des RSV**

Les RSV sont assimilés à un ensemble d'infrastructures reparties sur un territoire donné, avec des liens directs ou indirects, qui assurent le bon fonctionnement d'une société par l'apport de services essentiels sur le plan de la santé, de la sécurité, et de l'économie (Robert *et al.*, 2003).

La Commission Américaine pour la protection des IE, dans la version finale de son rapport au Président, décrit les IE comme des industries, des réseaux et systèmes de distribution et institutionnels qui apportent en continu le flux de biens et services essentiels pour maintenir dans un pays la sécurité, l'économie et les soins de santé à la

population (The President's Commission on Critical Infrastructure Protection, 1997, traduction libre)

Sécurité publique Canada définit les IE comme « des installations, réseaux, moyens et biens physiques et ceux de la technologie de l'information qui sont essentiels au bien-être, au bon fonctionnement de notre pays et à la continuité de ses activités » (SPC, 2008b).

Wallace *et al.* (2001) définissent les IE comme un assemblage d'éléments physiques avec des activités associées qui correspondent aux tâches nécessaires pour opérer les éléments physiques. Ils rappellent qu'il est essentiel de comprendre les relations entre les IE pour mettre en place des mécanismes de gestion afin d'assurer la continuité de services en cas d'incident.

Michel-Kerjan (2003), quant à lui, les décrit comme des systèmes complexes d'éléments en interaction, qui deviennent de plus en plus concentrés et connectés. Selon lui, certains des éléments qui les composent sont plus critiques et pourraient, en cas de défaillance, affecter une région ou un pays entier.

### 3.1.2 Les liens entre les RSV

Les définitions précédentes, au-delà de l'importance de la mission des RSV et de leur complexité organisationnelle, soulignent l'importance des interactions qui composent les RSV et auxquelles ils sont soumis dans leur environnement. Ces interactions peuvent accroître la complexité des RSV. Little (2002) indique d'ailleurs, qu'en dépit de toutes les menaces auxquelles sont confrontées les IE, la majorité des défaillances sont dues davantage, à la complexité de ces systèmes et de leurs nœuds.

Cette section amènera donc, des éléments qui permettront de comprendre comment ces liens peuvent agir sur l'état de fonctionnement d'un système, puis comment ces liens peuvent être caractérisés et classifiés.

Robert *et al.* (2003) indiquent que les liens entre les infrastructures agissent sur leur fonctionnement en favorisant la propagation de vulnérabilités : « Cette interrelation permet la répercussion d'une vulnérabilité d'un réseau origine à un réseau de destination par le biais d'infrastructures et/ou d'opérations ».

Pour Little (2002), des interdépendances sont créées lorsque la rupture d'une infrastructure se transmet au delà de celle-ci pour causer des effets importants sur une autre infrastructure qui, à son tour, causera davantage d'impacts à une troisième infrastructure.

Rinaldi *et al.* (2001) rappellent que les IE sont particulièrement interconnectées et dépendantes les unes des autres selon des systèmes complexes. Ils soulignent que le degré avec lequel elles sont associées influence fortement leurs caractéristiques opérationnelles et que la non prise en compte de ces liens est une source de dangers supplémentaires.

Les travaux de Rinaldi (2004) identifient quatre types d'interdépendances :

- Les interdépendances *physiques*, où l'état de l'infrastructure repose sur un l'échange de ressource ;
- Les interdépendances *cybernétiques* où l'état de l'infrastructure repose sur l'échange d'informations électroniques ;
- Les interdépendances *géographiques* où la proximité géographique des infrastructures peut impacter leur état respectif ;
- Les interdépendances *logiques* qui regroupent les autres cas, ce peut être par exemple, des liens réglementaires.

Robert *et al.* (2003) précisent qu'un lien direct (faisant références aux interdépendances physiques) peut être unidirectionnel, il y a un transfert de substance ou de service d'un réseau d'origine vers un réseau destinataire ou bien bidirectionnel, le lien est utilisé dans les deux sens.

Les travaux de Rinaldi *et al.* (2001) introduisent également cette particularité des liens entre les IE. Ils précisent que certaines infrastructures ont des connexions de type unidirectionnel soit des dépendances. L'état de la seconde est alors en corrélation avec l'état de la première. Tandis que la relation d'interdépendance serait une connexion bidirectionnelle, dans laquelle l'état de chaque installation influencerait l'état de l'autre.

Les liens favoriseraient donc la propagation des défaillances car ils augmentent la vulnérabilité des RSV, d'où l'importance de les intégrer à l'analyse des risques. Les liens de type « physique » concernent l'échange de ressources et peuvent être autant unidirectionnels que bidirectionnels.

## 3.2 État de dégradation des RSV

### 3.2.1 Caractérisation

En fonction des aléas qu'il subit et dans le temps, un RSV voit son fonctionnement se dégrader. La section suivante va donc traiter de l'état d'un système en contexte de risques et de sa caractérisation.

Dans ses travaux, Petit (2009) rappelle la prépondérance de la notion d'état d'un système dans la gestion des risques. Selon lui, la caractérisation de l'état du système est au centre de l'analyse des risques, car elle intègre à la fois la vulnérabilité du système face à des aléas (dans notre cas les aléas correspondraient à la perte de ressource utilisée) et la résilience du système, qu'il définit comme sa capacité à revenir à un état optimal lorsqu'il subit des événements pouvant l'affecter.

Plus spécifiquement à propos de notre sujet, Little (2002) indique qu'il est nécessaire d'estimer les impacts des liens d'interdépendances sur le service délivré par les infrastructures. Dans « l'impact », il considère l'état de dégradation et la propagation de la défaillance.

Petit (2009) identifie donc trois états du système :

- L'état de fonctionnement « normal » pour lequel le système a la capacité de remplir sa mission ;
- L'état de fonctionnement « dégradé » pour lequel le système fonctionne avec certaines composantes dégradées sans qu'il y ait un impact sur sa mission ;
- L'état de fonctionnement « défaillant » pour lequel, le système ne remplit plus sa mission ce qui a des conséquences sur son environnement.

Le passage d'un état à l'autre se ferait par l'intermédiaire de seuils fixés en fonction du système à l'étude. Ainsi, il y aurait le seuil de dysfonctionnement entre l'état « normal » et « dégradé » et le seuil de défaillance entre l'état « dégradé » et l'état « défaillant ».

Concernant la notion de seuil de tolérance entre des états, la nouvelle norme canadienne CAN/CSA Z1600 (Canadian Standard Association [CSA], 2008), portant sur la gestion des mesures d'urgence et de la continuité des activités, dans son processus d'Analyse des Répercussions Organisationnelles (ARO), indique que les organisations doivent définir leurs exigences minimales en termes de ressources (en citant comme exemple, le personnel, les infrastructures, les installations, les dossiers) et en termes de temps afin de garantir leurs produits et leurs services.

Rinaldi (2004) indique qu'actuellement, aucun outil de mesure de l'état de dégradation des RSV n'existe. Aucun des modèles actuels ne serait en mesure d'intégrer l'ensemble des éléments à considérer. Selon lui, les outils de mesure devraient également prendre en compte les stratégies et méthodes d'atténuation des organisations et le niveau de criticité des liens entre les infrastructures. Dans les travaux futurs, le développement d'un ensemble de mesures simples, afin de protéger les IE constitue, selon lui, un défi majeur à relever.

Rinaldi *et al.* (2001) indiquent quant à eux, que l'état de fonctionnement d'un RSV varie d'un niveau optimal à un niveau de défaillance (avec perte de service pour tous les utilisateurs y compris les infrastructures utilisatrices). Selon leurs travaux, un RSV peut fonctionner dans un état qui n'est pas optimal, sans répercussion pour les utilisateurs, selon certaines conditions et de façon dynamique. Ces conditions devraient spécifiquement couvrir quatre domaines :

- Les *facteurs reliés au fonctionnement* : ils influent la réaction de l'infrastructure lorsque celle-ci est perturbée. On évoque par exemple, les procédures, les plans de contingence, les systèmes redondants ou la sauvegarde.
- Les *facteurs organisationnels* : on considère ici l'environnement réglementaire et les politiques de l'organisation ;
- Le *facteur temporel* : le comportement d'une infrastructure est dynamique. Le temps permettrait d'apprécier l'interdépendance ;
- Le *facteur spatial* : on considère la composition du système et l'échelle à laquelle le système rayonne (aspect géographique).

Pour Rinaldi (2004), il existe des données clés concernant les opérations, les urgences, les procédures utilisées par les gestionnaires des infrastructures qui influencent son état en temps normal ou en temps de crise.

Pour Little (2002), les mesures de réduction des impacts en place et les processus de continuité opérationnelle influencent l'état de dégradation.

Le processus ARO de la norme canadienne CAN/CSA Z1600 (CSA, 2008) doit, entre autre, permettre de déterminer la propagation des défaillances au fil du temps, au sein d'une organisation. Il précise bien que la compréhension des activités et des processus essentiels d'une organisation est essentiel afin d'assurer la continuité de ces opérations.

La norme canadienne CAN/CSA-Q850-F97 (CSA, 1997) qui divulgue des lignes directrices en matière de gestion des risques, traite des mesures de réduction du risque. Elle indique que, lorsque le risque est jugé inacceptable, des mesures de réduction doivent être considérées afin de réduire l'occurrence du risque (prévention) et

de diminuer ses conséquences (protection). À ce titre, elle donne des orientations sur les exigences en matière de maîtrise des risques (choix des stratégies, mise en œuvre, contrôle) et introduit la continuité des opérations. Elle précise que ces mesures peuvent avoir des répercussions sur les autres organisations en générant des risques supplémentaires.

Les éléments apportés montrent bien que la connaissance de l'état de dégradation des RSV est un élément central et nécessaire pour gérer les risques d'effets domino. Cet état se situe entre un niveau optimal et un niveau défaillant. Il évoluerait selon des critères ou facteurs. Les éléments de littérature apportent certaines pistes de recherche qui pourraient être exploitées. Par exemple, les processus de gestion des risques mis en place semblent avoir une influence sur l'état des RSV. Nous remarquons cependant, qu'aucun élément de mesure précis n'a encore été identifié.

### **3.2.2 Le défi du traitement de l'information**

La complexité des RSV, les diverses connexions et le nombre conséquent de facteurs pouvant influencer leur état de dégradation laissent supposer qu'un grand nombre de données devraient être traitées.

Lewis (2006) souligne que la protection des RSV conduit à traiter une masse importante d'informations et que surtout, dans ce contexte, le choix des informations appropriées est un vrai défi. Dans ce cadre, une bonne compréhension des réseaux apparaît comme un pré-requis pour mettre en place une bonne stratégie.

Wallace *et al.* (2001) indiquent qu'il est important d'avoir des modèles qui permettent de suivre et contrôler les RSV, à une échelle assez vaste (macroscopique). Ils indiquent que l'augmentation croissante du nombre d'infrastructures et de leur complexité nécessite la mise en place de modèles parcimonieux et ciblés.

Seulement, avec une quantité importante d'informations à traiter concernant le fonctionnement des RSV et un nombre assez vaste de critères pouvant intervenir, comment cibler les éléments et choisir la bonne information ? Pour répondre à cette question nous proposons donc de nous pencher sur les systèmes experts.

### 3.3 La modélisation et les systèmes experts

Pour être efficace au milieu de cette masse d'informations, l'utilisation du raisonnement d'experts des RSV pourrait être une bonne approche. Les systèmes experts sont des méthodes de travail qui permettent de tirer profit des connaissances des experts et d'automatiser des raisonnements. La section suivante va donc nous permettre de mieux comprendre ce que sont les systèmes experts et tentera de montrer comment ils pourraient répondre à la continuité des travaux concernant la caractérisation de l'état de dégradation des RSV.

Bonnet *et al.* (1986) rappellent que les travaux sur les systèmes experts ont débuté avec les recherches de Edward Feigenbaum au début des années soixante : « Il s'agissait d'étudier la représentation des mécanismes de raisonnement inductifs et empiriques (...). Le problème étant de construire la meilleure hypothèse donnant une bonne interprétation d'un ensemble de données ».

Fétiarison (2004) définit un système expert comme « un programme qui utilise intensivement la connaissance humaine afin de résoudre des problèmes nécessitant l'expertise humaine ».

Bonnet *et al.* (1986) précisent que tous les problèmes ne nécessitent pas l'application d'une méthodologie de type système expert. Si bien que, lorsque toutes les solutions peuvent être analysées par des ordinateurs dans un temps dit « raisonnable », l'application ne serait pas nécessaire. Cependant, lorsque les paramètres sont trop nombreux et le temps d'analyse des solutions serait trop grand, des méthodes qu'ils

appellent « heuristiques », que seul l’humain peut dicter constituerait des raccourcis pertinents.

Bonnet *et al.* (1986) indiquent que pour implanter un système expert, sept fonctions interviennent :

- La *fonction utilisation* qui vise à définir les besoins d’aide à la décision ;
- La *fonction expertise du domaine* qui vise à détenir et à entretenir les connaissances et modes de raisonnement que l’on cherche à reproduire ;
- La *fonction stratégie* qui vise à mesurer l’intérêt de l’intelligence artificielle pour l’institution qui la met en place ;
- La *fonction direction de projet* qui vise à identifier les applications potentielles, à gérer le projet (ressources à allouer, planification, évaluation et suivi des résultats) et à préparer l’insertion du système expert dans son environnement.
- La *fonction cognitive* qui vise à acquérir la connaissance utile auprès des experts, à la modéliser et à l’implanter sur ordinateur ;
- La *fonction outils* qui vise à procurer au cogniticien les matériels et logiciels nécessaire à sa fonction ;
- La *fonction expertise* qui, en intelligence artificielle, est chargée de fournir des concepts et des méthodes pour faire progresser les fonctions cognitive et outils.

Nos travaux vont s’intégrer principalement dans les fonctions *expertise du domaine* et *cognitive*. Nous travaillerons principalement à la compréhension des modes de raisonnements des experts des RSV concernant la dégradation de l’état de leur réseau et à l’acquisition des informations pertinentes. Selon Bonnet *et al.* (1986), la fonction *expertise du domaine* qui consiste à énoncer les connaissances et les modes de raisonnement est souvent négligée, voir absente des projets de systèmes experts. Ce phénomène conduirait à des systèmes peu performants, résultant davantage en des arbres

de décisions. Pour eux, la connaissance doit être absolument transmise d'un expert du domaine à un cogniticien.

Enfin, Bonnet *et al.* (1986) indiquent qu'un système expert, peut faire comprendre et intégrer l'évolution de la situation en fonction des actions entreprises. Le système doit pouvoir moduler son raisonnement en fonction du temps et de la réponse auquel il est contraint. Ils comparent le système expert à une sorte de fonctionnement en temps quasiment réel. Dans ce cas, il indique qu'il faut un « filtrage intelligent » des informations pertinentes à traiter. Or, les éléments de littérature apportés à la section 3.2.1 montraient, entre autres, que l'état d'un RSV vis-à-vis de ses interdépendances est évolutif dans le temps et dépendant des mesures de réduction entreprises par l'organisation.

Nos travaux devraient donc ouvrir la voie vers un système expert intégrant ces spécificités à conditions qu'un filtrage intelligent des informations pertinentes soit entrepris.

### **3.4 Les systèmes d'alerte précoce**

Les prévisions probabilistes des risques semblent aujourd'hui ne plus suffire à nous protéger contre certains risques ou certaines catastrophes. Ce phénomène ouvre la voix à l'anticipation des risques par la surveillance d'éléments précurseurs et la communication avant l'événement (ou pré-alerte).

Par exemple, Ozer et De Longueville (2005) précisent que les récentes catastrophes comme le tsunami qui a touché les littoraux de l'Océan Indien le 26 décembre 2004 ou la tempête de « Lothar » en Europe, de fin décembre 1999, qui a ravagé une partie considérable de l'espace forestier, alimentent fortement les discussions à l'internationale, concernant la mise en place, de SAP et d'une gestion anticipative des risques.

Les effets domino entre les IE de part leurs caractéristiques, pourraient conduire à ce type de systèmes. Par conséquent, dans cette section, nous présenterons quelques SAP mis en place à travers le monde, puis nous mettrons en évidence les éléments de base de ces systèmes.

### 3.4.1 Applications dans divers domaines

En Europe, afin de gérer les événements sérieux pouvant avoir des conséquences sur plusieurs états membres de la Communauté Européenne, des systèmes d'information et des SAP viennent d'être mis en place (Kjellén, 2007).

Un système d'alerte central nommé « ARGUS » a été créé en 2006. Il a spécifiquement été créé par la Commission Européenne « afin de renforcer ses capacités d'intervenir d'une manière rapide, efficace et coordonnée, face à une crise de nature multisectorielle, quelle qu'en soit la cause, affectant plusieurs secteurs et réclamant une action au niveau communautaire. » (Commission des Communautés Européennes, 2005)

Le but de ce système est de coordonner les crises multisectorielles entre les états membres, c'est donc une plateforme d'échange d'informations avec des responsables dédiés à l'alerte (Kjellén, 2007). Autour d'ARGUS, divers systèmes s'articulent, répondant à des besoins spécifiques. On relève par exemple :

- Le *Early Warning and Response System* (EWRS) a été créé suite aux épidémies de maladie de Creutzfeldt Jacob. Il constitue un réseau de surveillance et d'alerte pour les maladies transmissibles. Il a, par exemple, été utilisé pour l'épidémie de grippe aviaire ou le SARS (Kjellén, 2007).
- Le *Rapid Alert System for Non-Food Products* (RAPEX) permet aux états de communiquer plus rapidement lorsqu'un produit met en péril la santé et

sécurité des consommateurs et doit être retiré du marché (sauf produit pharmaceutique et alimentaire).

- Le *Rapid Alert System for Biological and Chemical Attacks and Threats* (RAS BICHAT) a été créé suite aux événements terroristes des dernières années et aux menaces de guerre bactériologique. Il vise, via un réseau de contacts prédéterminés pour chaque état, à collecter les éléments et preuves et à évaluer la menace très rapidement, avant que celle-ci soit officielle, afin d'en limiter les effets (Kjellén, 2007).

La notion de pré-alerte pour des risques naturels est un concept plus largement développé et, surtout, depuis plus longtemps. Ces systèmes ont souvent été développés à la suite de grandes catastrophes ayant eu des impacts humains et économiques forts.

Davis et Izadkhah (2008), dans leurs travaux concernant les tsunamis, relèvent l'existence de plusieurs systèmes plus ou moins anciens :

- Le centre d'alerte des tsunamis dans le Pacifique, ou *Pacific Tsunami Warning Center* (PTWC), établit en 1949 et basé à Ewa Beach à Hawaii, divulgue les alertes de tsunami pour le bassin pacifique à 26 états participants au dispositif. Il fonctionne de pair avec le centre d'alerte des tsunamis de l'Alaska ou *West Coast / Alaska Tsunami warning Center* (WC/ATWC), basé à Palmer en Alaska qui fut pour sa part, créée en 1965 à la suite d'un tremblement de terre majeur qui atteint l'Alaska.
- Le SAP des tempêtes du Bangladesh, ou *Bangladesh Storm Warning System* (BSWS) a été établit en 1972 à la suite du cyclone « Bhola » de 1970 ayant causé la mort de 280,000 personnes. Il fournit des informations à la télévision et à la radio. Il est accompagné de plans de mesures d'urgences pour la population.

Nous n'avons pas trouvé de données, dans la littérature, concernant des applications de SAP au sein et entre des organisations de type privé.

Cependant, l'*United Nations International Strategy for Disaster Reduction* (UN/ISDR) vient de publier en 2008, un guide relatant des bonnes initiatives, impliquant le secteur privé et intitulé « *Private Sector Activities in Disaster Risk Reduction* ».

Ce document traite de l'implication du secteur privé dans la réduction des catastrophes à travers le monde et de l'importance des partenariats publics et privés. Il présente et analyse divers projets qui ont été menés au Japon, en Inde, en Indonésie, en France, en Amérique du Sud et aux Philippines. Ces projets ont tous fait l'objet de partenariats publics et privés à des échelles hiérarchiques variables (d'un niveau communautaire à étatique). Ce sont des projets de prévention des risques ou de mitigation des impacts d'une catastrophe. Selon les conclusions du rapport, ils ont notamment permis la mise en place de réseaux de communications et ont démontré l'importance et la nécessité du partage d'informations et du suivi de l'évolution de la situation. Par exemple, le projet indonésien impliquait le Ministère de la Culture et du Tourisme de l'Indonésie et les hôtels de la région, via le *Bali Hotels Association* (BHA). Leur collaboration a permis de produire un guide de préparation à l'intention des propriétaires d'hôtels, le *Tsunami Ready Toolkit*. Ce guide traite des mesures de préparation, des procédures d'urgence à mettre en place, des éléments à surveiller (pour l'alerte) et de la formation de leur personnel. En parallèle, un réseau de communications a été créé. Le BHA a été mis directement en contact permanent, via satellite, avec le *Badan Meteorology dan Geofisika* (BMG) de Djakarta, qui est l'organisme officiel indonésien d'alerte aux tsunamis. Le BHA est chargé de reléguer l'information concernant la pré-alerte aux propriétaires d'hôtels en cas de catastrophes. On peut assimiler ce système à un SAP.

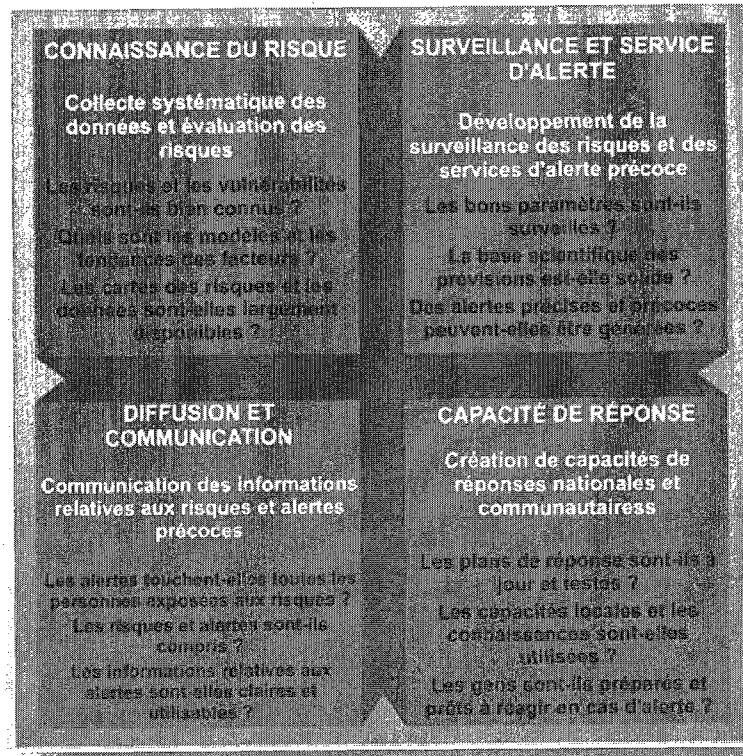
Enfin, des recherches auprès des partenaires des projets du Centre, nous ont permis de voir que ces organisations publiques ou privées utilisent déjà à l'interne des

mécanismes de pré-alerte. L'utilisation de certains éléments de ces systèmes, comme les canaux de communications ou les critères d'établissement des seuils pour les niveaux de pré-alerte, pourrait être envisagée dans de futurs travaux.

### 3.4.2 Composantes d'un Système d'alerte précoce

La troisième conférence internationale sur les SAP (UN/ISDR, 2006) indique que les SAP doivent intégrer 4 composantes. Ces composantes sont récapitulées dans la Figure 3.1. Les aspects suivants sont traités :

- La *connaissance des risques*, qui permet d'établir les priorités du SAP et de mettre en place des moyens de prévention et de préparation. Cette composante doit intégrer le dynamisme et les vulnérabilités du système. Davis & Izadkhah (2008) ajoutent qu'il faut déterminer à priori pour cette composante, les impacts potentiels, leurs temps d'arrivée, et leur distribution dans l'espace.
- Le *service de surveillance et d'alerte* qui grâce à une veille en continu sur les paramètres des risques comme par exemple, les signes précurseurs doit pouvoir émettre des alertes précoces et précises.
- La *diffusion des informations adéquates à l'alerte*, de manière compréhensible, au moment opportun et aux bons destinataires, selon des canaux variables, si possible.
- Une *capacité de réponse aux risques* doit être développée, par tous les partenaires de la chaîne d'information, grâce à la prévention et préparation. Ce peut être par le biais par exemple, de plans de mesures d'urgence ou de plans de continuité des opérations.



**Figure 3.1 – Quatre éléments principaux des systèmes d'alerte précoce axés sur la population (UN/ISDR 2006)**

### 3.5 Synthèse des éléments de littérature

L'état de dégradation d'un système est un élément central de l'anticipation des risques et de leur gestion.

Concernant les RSV et la compréhension de leur fonctionnement, la littérature met en évidence deux éléments importants qui devront être pris en compte pour caractériser leur état:

- Le fonctionnement des RSV est complexe car il est assuré par un ensemble d'éléments physiques dispersés géographiquement, conduits par des activités communes et d'essentialités variables pour l'organisation.
- Les diverses interactions entre les RSV peuvent être unidirectionnelles ou bidirectionnelles. Dans les deux cas, elles ont une influence sur l'état de leur fonctionnement.

Même s'il n'y a pas d'impact sur leur mission, les RSV voient leur état de fonctionnement se dégrader face à des aléas (perte de ressource utilisée dans notre cas). Il n'existe pas actuellement de mesure de l'état de dégradation, mais il est fonction de critères, comme la présence de mesures d'atténuation, le temps et le contexte.

Une masse importante d'informations doit être traitée, ce qui nécessite l'emploi d'une méthode efficace et ciblée. Puisque actuellement, il n'existe pas de solutions informatiques pouvant intégrer l'ensemble des considérations liées au traitement des effets domino entre des RSV, un système expert pourrait être utilisé dans les travaux futurs. Nos travaux sur la caractérisation de l'état de dégradation seraient alors utilisés pour développer la « fonction expertise du système expert », c'est-à-dire comme base de connaissances du système.

Enfin, à l'image des SAP pour des risques naturels et technologiques, les partenaires de l'espace de coopération pourraient constituer un système de pré-alerte pour les risques d'effets domino. Les données concernant l'état de dégradation des RSV seraient utilisées dans la première composante du SAP, soit l'anticipation et la connaissance des risques.

## CHAPITRE 4 : TRAVAIL DE RECHERCHE

La littérature rappelle la nécessité de protéger le système complexe des RSV, en anticipant les effets néfastes liés à leurs interactions. Les travaux précédents ont montré que la méthode entreprise par le Centre *risque & performance* permet de prendre en compte la donnée spatiale, de fonctionner avec un langage commun par le biais de la méthode d'analyse des risques et de créer un espace de coopération sécuritaire pour l'échange d'informations entre les partenaires.

Il reste cependant à approfondir les recherches concernant la connaissance du risque et particulièrement l'anticipation et la modélisation de l'état de dégradation des RSV et des effets domino. Étant donné la complexité des systèmes, de leurs liens et la multiplicité des facteurs pouvant influencer leur dégradation, la détermination d'éléments de mesure est complexe. La compréhension du raisonnement des experts de ces organisations devrait davantage permettre le choix et l'interprétation des informations pertinentes à la caractérisation de cet état.

L'utilisation de cette méthode ouvre la voie à l'établissement d'un outil de type système expert. Il permettrait la récolte et l'interprétation automatique des données afin de modéliser l'état de dégradation des RSV.

L'implantation d'un SAP à plusieurs niveaux, entre les partenaires publics et privés du projet semble cohérente et appropriée à la problématique qui nécessite une gestion proactive des risques. Elle nécessite cependant, une connaissance approfondie du risque et, par conséquent, avant toute chose, l'évaluation de l'état des RSV.

Rappelons qu'actuellement, de réels outils caractérisant ou modélisant cet état de dégradation n'ont pas encore été développés. Leur développement nécessite surtout, une bonne compréhension du fonctionnement des RSV, des liens entre les systèmes et des conséquences associées.

Des mesures précises de l'état de dégradation n'ont également pas encore été identifiées. Néanmoins, certains éléments apparaissent récurrents dans la littérature et doivent être considérés. Le dynamisme du système, l'impact des méthodes de gestion en continuité opérationnelle, les pratiques organisationnelles et l'impact des transports, en sont des exemples.

#### **4.1 Problématique**

À ce stade, la problématique apparaît plus évidente. Il faut définir les critères, facteurs ou éléments de mesure qui permettront de modéliser l'évolution de l'état d'un RSV, soumis à un effet domino, à partir d'une situation de fonctionnement optimale jusqu'à la défaillance ou perte de la mission.

Nous devrons donc nous concentrer sur la caractérisation de l'état des RSV. Pour plus d'efficacité dans nos travaux de recherche, notre démarche s'appuiera sur l'expertise des gestionnaires de RSV. Plus précisément, il s'agira d'analyser le raisonnement des experts pour déterminer l'état de leur système, afin de définir une démarche simple et flexible, permettant d'obtenir l'information nécessaire à la modélisation de l'état des RSV.

Le recueil des données dans une base de connaissances, devra permettre la structuration des informations à sélectionner et à traiter.

Il sera également important de montrer l'influence des informations, ou critères retenus, sur la modélisation de l'état de dégradation.

## 4.2 Objectifs de recherche

### 4.2.1 Objectifs Généraux

L'objectif de ces travaux est d'opérationnaliser les recherches concernant l'anticipation des effets domino entre des RSV en déterminant des éléments pratiques pour caractériser l'évolution de leur mission face aux effets dominos.

Les travaux vont donc se concentrer sur l'analyse du raisonnement de l'expert, lorsqu'il détermine les liens entre son réseau et les autres RSV et l'évolution dans le temps de son état de fonctionnement, sur un secteur donné, face à la perte de ressources. Il s'agira d'identifier les données pratiques, pertinentes et estimables sur lesquelles ils s'appuient.

Ces travaux nécessitent au préalable, de préciser les éléments à caractériser, c'est-à-dire les éléments sur lesquels le raisonnement sera fondé, ou éléments de base, ce qui implique la détermination d'un niveau de raffinement à l'étude.

Les facteurs ou données retenus influenceront l'état de fonctionnement de l'élément de base. Il s'agira de montrer pourquoi et comment ces éléments affectent la modélisation de l'état des RSV.

Ces données seront structurées dans une base de connaissances. Des pistes concernant son exploitation dans des outils de type système expert et SAP pourront être données.

Le cadre d'étude limité jusqu'ici aux interdépendances sera élargit à l'ensemble des RSV de la zone d'étude. Il comprendra donc les organisations interdépendantes et dépendantes. Il s'agira de définir si des différenciations sont nécessaires entre les deux cas et de fixer les adaptations utiles.

La base de connaissances développée devra être validée par une application sur le centre-ville de Montréal.

#### **4.2.2 Objectifs spécifiques**

La base de connaissances doit prendre en compte l'influence des réseaux de transports sur les effets domino. Des recherches seront donc entreprises pour intégrer et adapter les recommandations des travaux de Hémond (2008).

Les modes de gestion de la dégradation qui n'ont pas encore été exploités, doivent faire l'objet d'une étude approfondie.

Les cumuls de ressources utilisées défaillantes doivent pouvoir être traités dans la base de connaissances.

Enfin, les dépendances entre les modes de gestion eux-mêmes devraient être identifiées dans la base de connaissances et traitées.

#### **4.2.3 Cadre de travail**

Notre démarche s'appuie sur l'analyse du raisonnement des experts. Dans nos travaux, l'expert est une personne ressource appartenant à un RSV. L'expert possède une connaissance approfondie dans un domaine, concernant le fonctionnement de son RSV. Nos travaux impliquent une connaissance experte du fonctionnement technique et organisationnel du RSV.

L'expert doit donc être capable de fournir l'information sur les besoins internes et externes, nécessaires au bon fonctionnement de son réseau. L'expert doit pouvoir déterminer le comportement du RSV, en fonction de ses caractéristiques techniques, lorsqu'il est soumis à des aléas tels que des effets domino. Enfin, il doit connaître les

pratiques de gestion de l'organisation et les politiques organisationnelles que nous devrons considérer.

Le champ d'expertise nécessaire à nos travaux est assez large. Il fait appel à des connaissances pratiques reliées aux opérations et à des connaissances de gestionnaire. Nous devrons donc nous appuyer sur un groupe d'experts. Ces experts seront issus des réseaux :

- Électricité (transport et distribution) ;
- Télécommunications ;
- Gaz naturel (distribution) ;
- Eau potable ;
- Transport ;
- Transport en commun.

## **CHAPITRE 5 : CARACTÉRISATION DU RAISONNEMENT EXPERT ET MODÉLISATION DES EFFETS DOMINO**

### **5.1 Étude des interdépendances et étude des dépendances : Élargissement du cadre de recherche**

Dans la revue de littérature, deux types d'échanges entre les RSV ont été introduits. En effet, au regard de leur mission, certains réseaux vont fournir des ressources qui seront utilisées par d'autres IE, alors que d'autres fourniront directement une ressource utilisée par la population. Le cadre d'action du projet, limité auparavant aux liens bidirectionnels d'interdépendances, est élargit à l'ensemble de ses liens, ce qui conduit à mener en parallèle deux types d'étude.

#### **5.1.1 Principe : Étude des interdépendances**

Les RSV de l'espace de coopération ont des relations bidirectionnelles de types « client-fournisseur ». Plus précisément, un réseau utilise une ou plusieurs ressources, sur un ou plusieurs secteurs, provenant d'autres RSV (ressources utilisées sur un secteur d'alimentation dites : RU/SALU). Le RSV les utilise afin de fournir à son tour une ressource sur un secteur d'alimentation (ressources fournies sur un secteur d'alimentation dites : RF/SALF). La fourniture d'une ressource sur un secteur d'alimentation est la mission du RSV.

Si la fourniture d'une ressource par un RSV est défaillante, une dégradation en chaîne peut être provoquée pour les utilisateurs de cette ressource. Ce phénomène correspond aux effets dominos.

Il est donc nécessaire de déterminer grâce à l'étude des RSV quelles sont les conséquences, sur la fourniture de la ressource (RF/SALF), de la perte de telle ou telle

ressource sur un secteur (RU/SALU), pour le RSV utilisateur. Nous pourrons ainsi identifier les cas où des missions seront compromises et à quel moment elles le seraient. Cette étape correspond à la détermination de l'état de dégradation des RSV.

### 5.1.2 Principe : Étude des dépendances

Deux types de dépendances peuvent influencer la propagation des défaillances entre des RSV.

Dans un premier temps, à l'interne des RSV, on relève la présence de certains éléments, dont le dysfonctionnement a un impact indirect sur la mission des RSV. Ces éléments remplissent des fonctions au sein du RSV qui sont jugées importantes et nécessaires à considérer. La défaillance de ces fonctions ne conduira pas à la défaillance de la mission, mais affaiblira le RSV. Pour ces raisons, il est important que les gestionnaires identifient les cas où ces éléments seront défaillants. On peut citer par exemple, des fonctions telles que la maintenance ou le service à la clientèle. Si ces fonctions entrent en défaillance, elles augmenteront la vulnérabilité du RSV. Par exemple, lors d'une panne technique, une organisation privée de sa maintenance est plus vulnérable.

Dans un second temps, au sein de l'espace de coopération, certains RSV utilisent les ressources (RF/SALF) mais en contrepartie, fournissent uniquement et directement une ressource essentielle à la population. Ce sont les réseaux dépendants. Dans nos travaux, la population n'est présentement pas considérée comme un système essentiel, par conséquent la propagation de la défaillance est finale lorsqu'elle affecte la mission de réseaux dépendants. Ce sont les RSV avec des liens de type unidirectionnels.

Parmi les réseaux dépendants, dans le cadre de notre étude, on peut par exemple citer : les services de santé, les services de police, les services de protection contre les incendies, les services bancaires.

## 5.2 L'analyse fonctionnelle

Afin de pouvoir modéliser de l'état de dégradation des RSV, nous devons définir l'élément du RSV qui sera caractérisé par les experts. La détermination de cet élément nécessite une bonne connaissance du fonctionnement des RSV. Le fonctionnement des RSV a donc été analysé. Nous avons ainsi pu définir un élément dit de base sur lequel les experts raisonnent. Cet élément regroupe diverses composantes du RSV. L'analyse du fonctionnement des RSV permet également de définir le niveau de raffinement de l'étude. Plus précisément, elle permet de définir quel sera le niveau de détail des composantes qui seront considérées. Dans cette section, la notion d'Ensemble Fonctionnel (EF), constituant l'élément de base, sera introduite, puis les différents modèles utilisables seront présentés. Enfin, nous indiquerons comment l'EF peut être caractérisé et identifié dans la base de connaissances.

### 5.2.1 Principe : notion d'ensemble fonctionnel

Une zone d'étude, par exemple une ville, contient divers RSV qui remplissent des missions. Par exemple, on peut considérer le réseau de gaz, le réseau de télécommunication, le réseau d'électricité, le réseau d'eau.

Les missions, quant à elles, correspondent à la fourniture d'une ressource sur un secteur d'alimentation (RF/SALF). La mission d'un réseau peut alors être : « distribuer l'électricité » ; « produire de l'électricité » ; « fournir de l'eau potable » ; « assurer le transport des usagers ».

Les missions des RSV sont remplies grâce à des fonctions (F) qui sont remplies par les infrastructures du RSV. Petit (2009) définit une fonction comme « une subdivision organisationnelle d'un système qui correspond à un ensemble d'opérations orientées vers les mêmes objectifs ». Le Tableau 5.1, issu des travaux, décrit des exemples de fonctions remplies par des RSV.

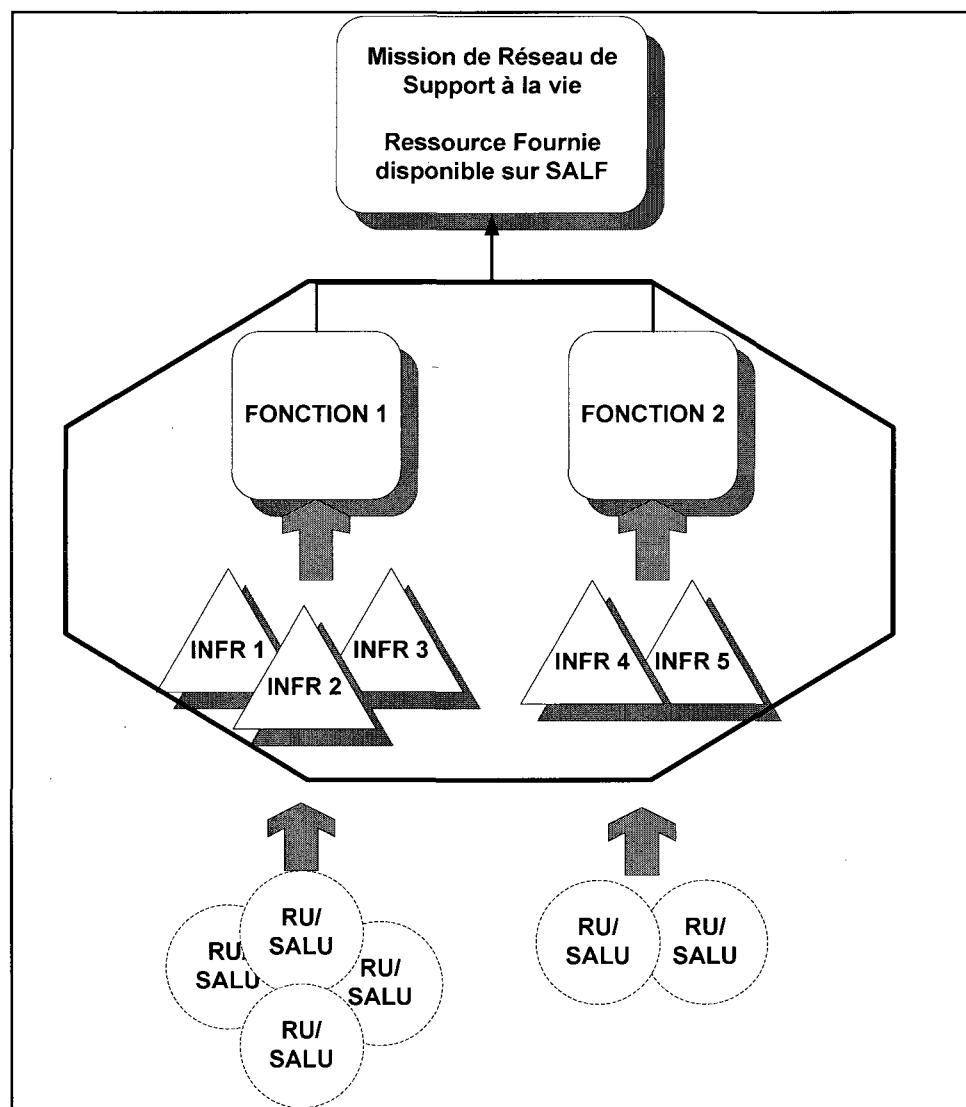
**Tableau 5.1 – Définitions de certaines fonctions (Petit, 2009)**

Fonction	Définition
<b>Production – Transformation</b>	Ensemble des activités qui permettent de créer, à partir d'une ressource utilisée, une nouvelle ressource.
<b>Transport - distribution</b>	Ensemble des activités élémentaires qui permettent de déplacer une ressource.
<b>Stockage</b>	Ensemble des activités qui permettent l'emmagasinement ou la mise en réserve d'une ressource.
<b>Maintenance - Entretien</b>	Ensemble des activités qui permettent de maintenir le système en état de fonctionnement.
<b>Contrôle</b>	Ensemble des activités qui permettent la vérification partielle ou totale de l'état d'un système.
<b>Protection</b>	Ensemble des activités qui permettent de diminuer la vulnérabilité et la dysfonction d'un système.

Une infrastructure peut quant à elle, prendre différentes formes comme celle d'une installation, d'un réseau, etc. Par exemple, une infrastructure peut correspondre à une centrale hydroélectrique, une ligne de transport ou de distribution d'une ressource, un centre de contrôle, une unité distante, etc. Elles sont localisées sur une zone en particulier, et utilisent pour leurs opérations des ressources dites ressource utilisée (RU/SALU) sur la zone où elles se situent.

Lorsque l'expert raisonne, il considère la perte d'une ressource utilisée (RU/SALU) et détermine les conséquences pour la mission (RF/SALF). Il analyse alors les répercussions sur les diverses composantes de son RSV qui utilisent la ressource : les infrastructures leurs opérations, les fonctions qui sont soutenues, etc. Il définit alors si elles sont susceptibles d'être affectées et comment elles le seraient.

La Figure 5.1, récapitule l'ensemble des notions que l'expert considère lorsqu'il décompose son fonctionnement. Dans cet exemple, le RSV est décomposé comme suit : deux fonctions sont directement en rapport avec la mission (fonction 1 et fonction 2). La fonction 1 est remplie grâce aux opérations de trois infrastructures et la fonction 2 grâce à celles de deux infrastructures. Ces infrastructures utilisent au total, pour fonctionner, quatre RU/SALU pour la fonction 1 et deux RU/SALU pour la fonction 2.



**Figure 5.1– Illustration de l'analyse fonctionnelle d'un RSV**

Seul l'expert qui connaît parfaitement son réseau est capable d'associer l'ensemble des éléments pouvant être perturbés et qui affecteraient la mission directement. Il n'est pas nécessaire, de plus, pour la modélisation des effets domino de connaître les détails de ce fonctionnement à l'interne. Pour cette raison, nous allons introduire pour la caractérisation et la création de notre base de connaissances la notion d'EF.

On assimilera à un EF, comme le montre la Figure 5.2, une combinaison à l'intérieur du RSV qui va, pour l'expert, correspondre à un cas d'étude. Il est composé d'une à plusieurs infrastructures, en relation directes ou indirectes entre elles, qui utilisent directement, pour assurer leurs opérations, une ou plusieurs ressources, prises sur des secteurs d'alimentation (RU/SALU). Ce groupe, ou cette infrastructure, permet, en contrepartie, de remplir une fonction en relation directe avec l'accomplissement de la mission de support à la vie (RF/SALF). En effet, si la fonction est en péril, la disponibilité de la ressource fournie est alors compromise.

RU/SALU → Via (Infrastructures ; F) → Mission : RF/SALF

### **Figure 5.2 – Composition d'un ensemble fonctionnel**

L'identification des ensembles fonctionnels se fait donc implicitement, lorsque l'expert établit les conséquences de la perte d'une ressource utilisée (RU/SALU) pour sa mission.

Dans les premiers travaux du Centre, les matrices d'interdépendances répertoriaient particulièrement chaque infrastructure et fonctions et les associaient aux ressources (entrantes et sortantes). L'utilisation de la notion d'EF permet une identification plus flexible et adaptable, sans passer par l'analyse et l'entrée systématique de chaque infrastructure. Dans la matrice de la base de connaissances, les infrastructures ne seront plus indiquées particulièrement, cependant il restera possible de

préciser une infrastructure, à l'intérieur d'un EF, lorsqu'elle présente un intérêt spécifique pour le RSV. Par exemple, une centrale téléphonique jugée critique pour le réseau des télécommunications, en raison de la zone qu'elle dessert, pourrait être précisée nominativement.

### 5.2.2 Les différents assemblages de l'ensemble fonctionnel

Deux modèles distincts d'ensembles fonctionnels peuvent être employés par les experts. Ils se différencient par le nombre de ressources utilisées considérées.

Le premier modèle est composé d'une seule ressource utilisée considérée indisponible sur un secteur (RU/SALU), des infrastructures utilisatrices de cette ressource, de la fonction supportée et de la ressource fournie sur un secteur en particulier. Ainsi, s'il s'avère que plusieurs ressources sont utilisées par les infrastructures de l'ensemble, un EF serait considéré pour chacune de ces ressources. Cependant, il est important que les RSV constituent des ensembles fonctionnels, seulement dans les cas où l'indisponibilité de la ressource utilisée a un impact sur la RF/SALF.

La Figure 5.3 présente quatre exemples d'ensembles fonctionnels construits selon ce premier modèle. Les éléments grisés sont ceux qui entrent dans la composition de l'EF. On voit bien que dans chacun d'entre eux, une RU/SALU et une RF/SALF sont considérés tandis que le nombre d'infrastructures impliquées dans la fourniture de RF/SALF peut être variable.

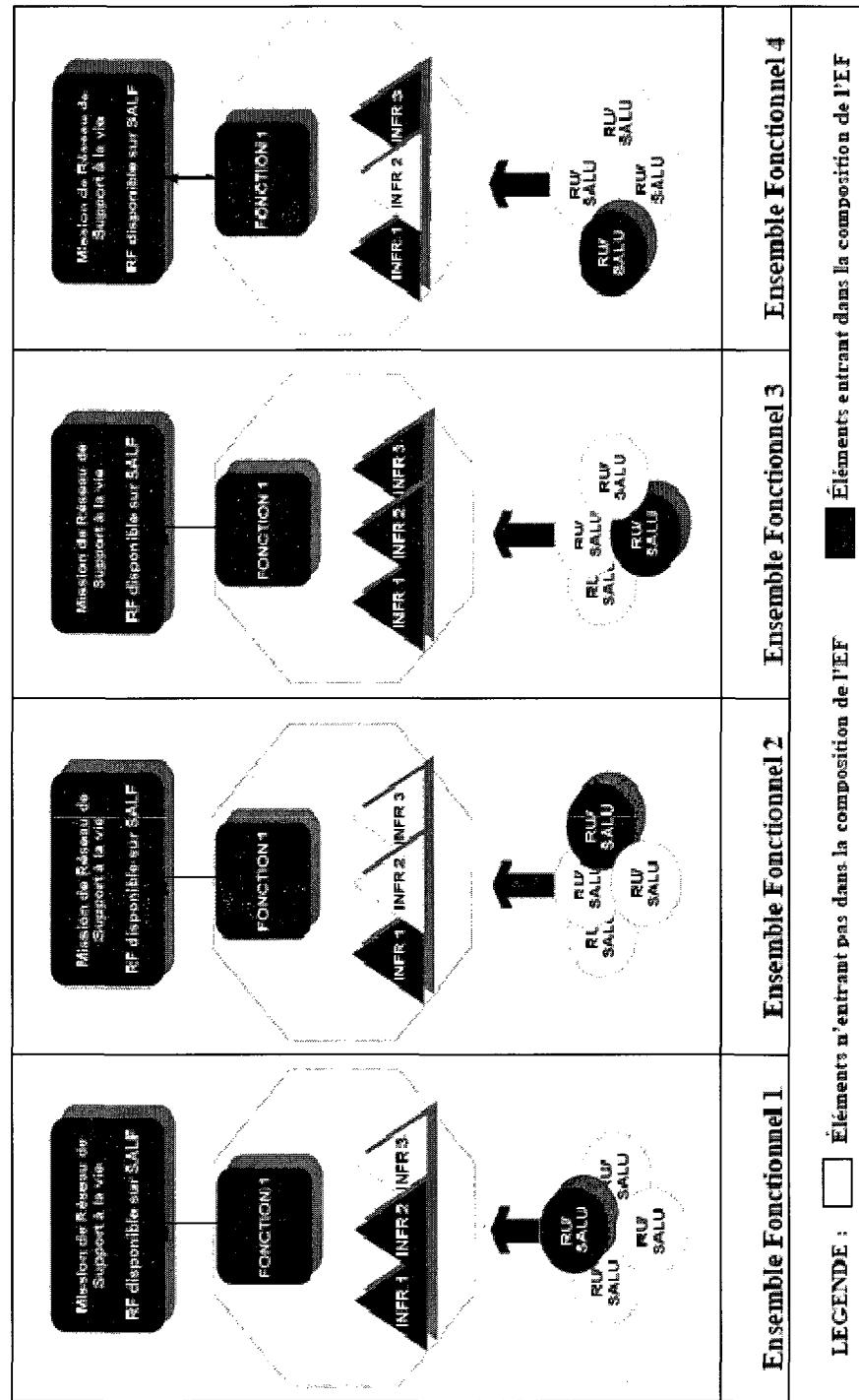
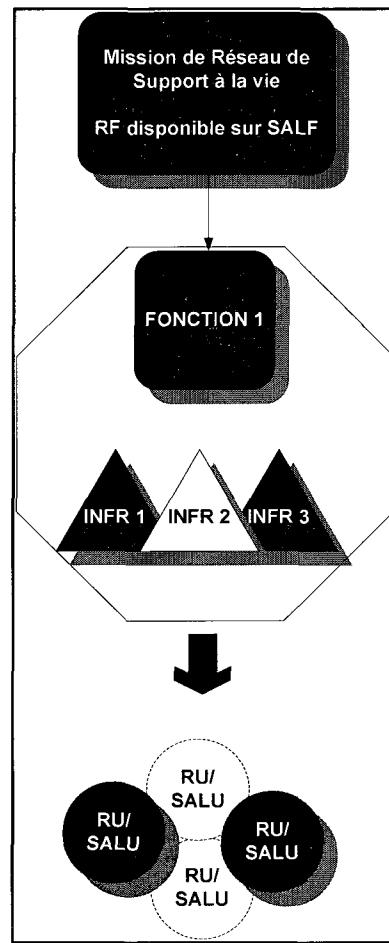


Figure 5.3 – Illustration d’assemblage EF avec une ressource utilisée indisponible

Le second modèle est composé de plusieurs RU/SALU considérées indisponibles en même temps, des infrastructures utilisatrices des ressources, de la fonction supportée et de la ressource fournie sur un secteur en particulier. Il portera donc, sur l'étude de la non-disponibilité de plusieurs RU/SALU en même temps, soit l'étude du cumul de ressources utilisées indisponibles.

Tous les cas de cumul de défaillances ne nécessitent pas d'être traités, car ils ne constitueront pas tous une valeur ajoutée à l'analyse des conséquences. Il faut que les conséquences anticipées suite à la défaillance de cet EF soient différentes de celles obtenues pour les ensembles fonctionnels de chacune des ressources prises individuellement constituant ainsi, une information supplémentaire pour la modélisation.

La Figure 5.4 illustre l'assemblage d'un EF considérant un cumul de ressources utilisées défaillantes. Il est composé de deux (RU/SALU) défaillantes, qui sont utilisées par les infrastructures 1 et 2 pour remplir la fonction 1 et enfin d'une RF/SALF.



**Figure 5.4 – Illustration de l’assemblage d’un EF avec deux ressources utilisées indisponibles**

### 5.2.3 Caractérisation et identification dans la base de connaissances de l’ensemble fonctionnel

Dans l’introduction que nous venons de faire de l’EF, nous considérons qu’un EF doit affecter directement la mission du RSV (c'est-à-dire la dégrade directement en cas de défaillance). Cependant, nous allons considérer également des ensembles fonctionnels spécifiques qui n'affectent pas directement la fourniture de RF, mais qui vont rendre le RSV plus vulnérable. Nous traiterons ainsi, les cas de dépendances à

l'interne d'un RSV, introduit dans la section 5.1.2, mais aussi la problématique des réseaux de transport, en partie.

Dans cet objectif, nous intégrons une caractéristique à l'EF : «*la nature de l'affectation* ». Elle correspond au type d'affectation qu'entraîne l'indisponibilité de RU/SALU, sur le fonctionnement optimal du réseau. En fonction de cette caractéristique les conséquences de la perte de l'EF se traduiront :

- Soit par la perte de la mission sur un secteur d'alimentation ;
- Soit par la perte d'une zone de contrôle de la mission ;
- Soit par la formation d'une zone de blocage de transports ;
- Soit par la perte de fonctions jugées nécessaires ou importantes comme le service à la clientèle ou la maintenance.

La première partie de la base de connaissances correspond à l'identification de l'élément de base que nous venons de définir : l'EF.

L'entrée des données d'identification varie en fonction du type d'étude, soit de dépendance, soit d'interdépendance, mais aussi en fonction du caractère spécifique ou non de l'EF, ou encore de la présence d'une infrastructure particulière.

Cette première section de la base de connaissances, doit également permettre la caractérisation des liens entre les réseaux, par la mise en évidence des transferts de ressources entre les réseaux. L'entrée des relations clients/fournisseurs est capitale puisqu'elle permettra, lors de la modélisation, de représenter les effets domino entre les RSV.

L'uniformité du langage et la cohérence des termes utilisés dans la base de connaissances pour les ressources et les secteurs est donc indispensable.

#### **5.2.3.1 Perte de la mission sur un secteur d'alimentation**

Les ensembles fonctionnels affectant directement la mission, auront comme nature de l'affectation : « *RF indisponible* ». Dans ce cas, on fournira un secteur d'alimentation pour la ressource fournie dans la base de connaissances puisque la mission sera compromise sur un secteur. En fonction du type de RSV, interdépendant ou dépendant l'entrée dans la base de connaissances sera différente.

Le Tableau 5.2 illustre l'identification d'un EF interdépendant, c'est-à-dire utilisant une (ou plusieurs) ressource essentielle sur un secteur et fournissant une ressource essentielle sur un secteur. La ressource utilisée est identifiée par le nom du réseau qui la fournit, son nom et le secteur d'où elle provient. Pour l'exemple donné on obtient : Ville de Montréal/ eau/ Eau-McTavish. Le réseau interdépendant est identifié par son nom, le nom de la ressource qu'il fournit et le secteur sur lequel il fournit la ressource. Pour l'exemple donné, on obtient : Bell/ télécommunications/ Bell-XXX.

Le Tableau 5.3 illustre l'identification d'un EF dépendant, c'est-à-dire utilisant une ressource essentielle sur un secteur et fournissant une ressource qui n'est pas utilisée pour la mission des autres RSV. La ressource utilisée est identifiée de la même manière que pour le cas d'interdépendances par contre, seul le nom du réseau dépendant doit être fourni avec le secteur de fourniture de la ressource. Dans l'exemple donné, on obtient : Service de Protection contre les Incendies de la ville de Montréal/ SPIM-XXX. La ressource fournie par ce réseau, ne sera pas mis en corrélation avec les autres RSV.

**Tableau 5.2 – Matrice d'identification d'un ensemble fonctionnel pour le cas des interdépendances**

<b>IDENTIFICATION DE L'ENSEMBLE FONCTIONNEL</b>					
Réseau fournisseur	Ressource fournie par le réseau fournisseur	Secteur de fourniture de la ressource fournie	Réseau utilisateur	Nature de l'affectation	Ressource fournie par le réseau utilisateur
Ville de Montréal	eau	Eau-McTavish	Bell	RF indisponible	télécommunications Bell-XXX

**Tableau 5.3 – Matrice d'identification d'un ensemble fonctionnel pour le cas des dépendances**

<b>IDENTIFICATION DE L'ENSEMBLE FONCTIONNEL</b>					
Réseau fournisseur	Ressource fournie par le réseau fournisseur	Secteur de fourniture de la ressource fournie	Réseau utilisateur	Nature de l'affectation	Secteur de fourniture de la ressource/ zone de blocage/zone de contrôle affectée
Ville de Montréal	eau	Eau-McTavish	Service de Protection contre les incendies	RF indisponible	SPIM-XXX

### 5.2.3.2 **Perte du contrôle de la mission**

Les RSV sont des systèmes complexes qui sont contrôlés par des mécanismes sur place ou à distance. Ces mécanismes leur permettent de suivre l'état de leurs opérations et de détecter les dysfonctionnements. On comprend donc aisément que l'affectation de ces dispositifs rend le réseau plus vulnérable aux dégradations, ce dernier ne pourrait appliquer ces processus de gestion des dysfonctionnements au moment opportun. Il faut donc que la modélisation de l'état de dégradation des RSV puisse mettre en évidence ce phénomène et par conséquent, que l'information concernant ces ensembles fonctionnels soit récoltée, dans la base de connaissances. Les ensembles fonctionnels affectant le contrôle de la mission, auront comme nature de l'affectation : « *contrôle affecté* ». Pour ces ensembles fonctionnels, on ne fournira pas de secteur d'alimentation de la ressource, mais la zone de contrôle affectée par la panne.

Le Tableau 5.4 illustre l'identification d'un EF qui affectera le contrôle d'une mission d'un RSV.

**Tableau 5.4 – Matrice d'identification d'un ensemble fonctionnel spécifique au contrôle**

<b>IDENTIFICATION DE L'ENSEMBLE FONCTIONNEL</b>					
Réseau fournisseur	Ressource fournie par le réseau fournisseur	Secteur de fourniture de la RF	Réseau utilisateur	Infrastructure particulière	Nature de l'affectation
Hydro-Québec	électricité	HQ-Guy	AMT	centre de contrôle ferroviaire	contrôle du réseau transport

La ressource utilisée est identifiée de la même manière que pour le cas courant. Lors de l'identification du réseau interdépendant, le réseau est identifié par son nom, le nom de la ressource fournit et le secteur sur lequel le contrôle sera défaillant. Dans l'exemple donné, on obtient : Agence Métropolitaine de Transport (AMT)/transport/tous secteurs type AMT-XXX. Ici, le contrôle serait défaillant sur l'ensemble du réseau AMT.

Enfin, dans l'entrée degré d'affectation le cas particulier est indiqué par la mention « *contrôle du réseau* ».

Nous remarquons dans le Tableau 5.4, la présence d'une entrée spécifique dite « Infrastructure particulière ». À l'interne, les RSV classent leurs infrastructures selon certains critères, ce qui leur permet de définir des degrés d'essentialité variables pour l'organisation. Cette classification permet de définir les infrastructures les plus critiques et de mettre en évidence une infrastructure qui présenterait des enjeux socio-économiques ou stratégiques très particuliers. Ainsi, lors de la détermination de ces ensembles fonctionnels, un RSV peut, dans certains cas, vouloir identifier la présence d'une infrastructure très particulière pour son organisation. Une entrée peut être ajoutée dans n'importe quelle matrice d'identification d'EF de la base de connaissances, afin d'identifier une infrastructure spécifique. Par exemple, dans le Tableau 5.4, on voit que la présence du centre de contrôle ferroviaire de l'AMT dans l'EF à l'étude, nous est indiquée.

#### **5.2.3.3      *La formation d'une zone de blocage de transports***

Ces ensembles fonctionnels concernent les réseaux de transport. Si nous revenons sur les travaux de Hémond (2008), nous nous rappelons que le réseau des transports est spécifique et qu'il agit davantage comme un facteur pouvant accroître ou précipiter la dégradation des missions des RSV. Par conséquent, il apparaissait

nécessaire de définir des zones de blocage de transports. Nous avons donc caractérisé un EF à cet effet et pour lequel, on précisera dans la nature de l'affectation qu'il s'agit de la création d'une « *zone de blocage* ». Nous pourrons ainsi traiter la première partie de la problématique des réseaux de transport, qui correspond à l'identification des zones de blocage dans la base de connaissances. Pour ces ensembles fonctionnels, nous ne fourniront pas un secteur d'alimentation de ressource, mais la zone potentielle de blocage fournie par le RSV.

Le Tableau 5.5 illustre l'identification d'un EF concernant un réseau de transport. La ressource utilisée est identifiée de la même manière que pour le cas courant. Lors de l'identification du réseau interdépendant, le réseau est identifié par son nom et on indique le secteur sur lequel il y aura un blocage des infrastructures de transports. Dans l'exemple donné, on obtient : Ministère des Transports du Québec (MTQ)/ MTQ-XXX.

Enfin, dans l'entrée degré d'affectation le cas particulier est indiqué par la mention « *zone de blocage* ».

**Tableau 5.5 – Matrice d'identification d'un ensemble fonctionnel spécifique au réseau de transports**

<b>IDENTIFICATION DE L'ENSEMBLE FONCTIONNEL</b>				
Réseau fournis	Ressource Fournie par le réseau fournis	Secteur de fourniture de la RF	Réseau utilisateur	Nature de l'affectation
Ville de Montréal	eau	Eau-McTavish	Ministère des Transports du Québec	zone de blocage non applicable MTQ-XXX

### 5.2.3.4 *La perte de fonctions jugées nécessaires ou importantes*

Les ensembles fonctionnels concernant la perte de fonctions jugées importantes ou nécessaires auront comme nature de l'affectation : « *fonction importante* ». Jusqu'ici nous avons identifié comme il l'a déjà été précisé, le cas de la maintenance et du service à la clientèle, mais cette liste est non exhaustive et les réseaux pourraient introduire d'autres missions dépendantes. Pour ces ensembles fonctionnels, on ne fournira pas de secteur d'alimentation affecté dans la base de connaissances. L'objectif est uniquement d'identifier et d'anticiper la défaillance de ces fonctions, afin que les réseaux soient informés.

Le Tableau 5.6 illustre l'identification d'un EF concernant une fonction du RSV jugée importante. La ressource utilisée est identifiée de la même manière que pour le cas courant. Lors de l'identification de la dépendance, on indique le nom du réseau. Dans la caractéristique nature de l'affectation, le cas particulier est indiqué par la mention « *fonction importante* ». Dans l'entrée concernant la ressource fournie, on indiquera la ou les fonctions concernées par la défaillance. Dans l'exemple donné, on obtient : Bell Canada/service client, car dans ce cas, la fonction importante traitée est le service à la clientèle. Enfin, aucune information concernant les secteurs d'affectations n'est nécessaire.

**Tableau 5.6 – Matrice d'identification d'un ensemble fonctionnel spécifique à une mission importante**

<b>IDENTIFICATION DE L'ENSEMBLE FONCTIONNEL</b>				
Réseau fourni par le fournisseur	Secteur de fourniture de la RF	Réseau utilisateur	Nature de l'affection	Ressource fournie par le réseau utilisateur
Ville de Montréal	eau	Eau-Côte-des-Neiges	Bell Canada	fonction importante service client non applicable

### 5.3 Raisonnement des experts et caractéristiques à intégrer dans la base de connaissances pour la modélisation de l'état de dégradation

L'utilisation de modèle mathématique pour définir l'état de dégradation des RSV n'apparaît pas adéquate pour répondre à notre problématique en raison de la complexité des systèmes essentiels et de leurs interactions (De la Lande de Calan, 2007).

Notre démarche va donc consister à utiliser l'expertise des gestionnaires de réseaux afin de déterminer les informations pertinentes à la caractérisation de l'état de dégradation de ces systèmes. Nous mettrons en évidence les éléments utilisés pour l'étude des cas (ou étude des ensembles fonctionnels). Afin de justifier nos choix concernant l'information à retenir, nous montrerons « *quand, comment et pourquoi* » ces éléments influents sur l'état des missions des RSV et, dans quelle mesure ils seraient intégrés à la modélisation de l'état de dégradation. Dans nos recherches, nous n'avons pas mis en évidence de différence entre un cas de dégradation de réseau interdépendant et dépendant. La section suivante sera donc valable pour les deux types de liens.

En réponse aux précédents travaux de De la Lande de Calan (2007), nous avons recentré notre analyse sur le système lui-même via l'élément de base défini en 5.2.1. Par conséquent, nous traiterons toujours des caractéristiques de la ou des ressources utilisées auxquelles s'ajouteront des caractéristiques propres au système.

Ces dernières caractéristiques concernent spécifiquement le contexte, le temps, la dépendance au réseau des transports et les mécanismes de gestion des dégradations mis en place par les organisations. En effet, comme il a été souligné dans la littérature, au-delà de la gestion courante de leurs opérations, il existe, au sein des organisations, des mécanismes réactionnels, dits de continuité opérationnelle, mis en place pour pallier aux défaillances des systèmes et assurer la continuité de service. Ces mécanismes vont créer une alternative à la dégradation des RSV.

Nous étudierons donc les caractéristiques hors modes de gestion puis dans une seconde étape, nous étudierons spécifiquement les modes de gestion.

### **5.3.1 Obtention des informations auprès des experts**

Afin d'utiliser le raisonnement des experts et d'en tirer les critères pertinents, nous avons dû mettre en place une méthode d'acquisition des informations. Les experts ont du répondre à des questionnaires. Ces questionnaires leur proposaient déjà de fournir des données que nous jugions pertinentes à la problématique et de les organiser sous formes de matrices.

Deux types de questionnaires étaient proposés. Le premier, présenté en Annexe A, concernait la caractérisation du fonctionnement de leur réseau. Les informations concernant leurs missions, fonctions et infrastructures étaient demandées. Le second questionnaire, présenté en Annexe B, concernait leurs besoins externes (en ressources utilisées). À la suite de ces questionnaires, des entrevues avec les gestionnaires de chaque réseau ont été conduites. Lors de ces entrevues, les gestionnaires de RSV ont pu fournir l'information concernant les modes de gestion qui sont en place pour palier à leur dégradation. Ils ont également pu apporter certaines remarques à propos des informations que nous leur demandions et apporter de nouvelles informations jugées pertinentes.

Nous avons ainsi utilisé et analysé les réponses des questionnaires et celles fournies lors des entrevues, afin de définir des critères génériques permettant de caractériser et modéliser l'état de dégradation des RSV.

### 5.3.2 Caractérisation hors modes de gestion des dégradations

La section suivante traite des caractéristiques retenues par les experts, qui influent sur l'état de dégradation de leur réseau, sans considérer les modes de gestion. Elle présente notre analyse et les critères que nous avons définis. L'entrée dans la base de connaissances et l'influence des critères sur la modélisation sont présentées en Annexe A.

Nous traiterons consécutivement :

- Le contexte dans lequel l'EF utilise la ou les RU/SALU ;
- Les caractéristiques relatives à la ou les RU/SALU, reliées à son stockage et à son mode d'approvisionnement ;
- Le temps avant la défaillance sans qu'aucun mode de gestion ne soit considéré.

#### 5.3.2.1 *Le contexte d'utilisation*

L'EF n'utilise pas nécessairement la ressource (RU/SALU) en permanence. Il existe un contexte d'utilisation de la ressource dans les opérations courantes. Par exemple, l'eau est utilisée uniquement durant l'été dans des systèmes de refroidissement. L'électricité peut être utilisée uniquement l'hiver, pour le chauffage. La perte de la ressource utilisée n'aura pas les mêmes conséquences en fonction de ce contexte. D'un contexte à l'autre, la défaillance de l'EF peut ne pas avoir lieu ou la dégradation dans le temps sera variable. Il peut être nécessaire de traiter un EF dans la base de connaissances uniquement, selon un contexte spécifié (lorsque les conséquences sur la mission n'ont lieu que dans ce contexte particulier). Mais aussi, un même EF pourrait être traité deux

fois (deux entrées différentes), dans le cas où cela apporte une valeur ajoutée à la modélisation, c'est-à-dire où les conséquences sont variables.

Une entrée spécifique a été créée dans la base de connaissances « *Contexte d'utilisation de la ressource utilisée* », afin de spécifier le contexte (Annexe A, Tableau A.1). Dans nos travaux, nous avons actuellement identifié 3 types de contexte :

- Automne/Hiver ;
- Printemps/Été ;
- Constant (la RU/SALU est utilisée en permanence).

Lorsque des conséquences anticipées sont valables uniquement dans un contexte spécifique, il n'y a pas d'influence à proprement dit sur l'évolution de l'état de l'EF. Cette particularité sera indiquée comme une condition à l'état, précisée au-dessus du modèle, représentant l'état de dégradation (Annexe A, Figure A.1).

### **5.3.2.2      *Caractéristiques de la ressource utilisée***

Contrairement aux travaux précédents, nous avons choisi de recentrer nos recherches sur le RSV. Cependant, des critères propres à la ressource utilisée par le RSV sont utilisés par les experts et sont explicités dans la section suivante.

Un RSV est approvisionné en RU/SALU. Nous avons identifié trois types d'approvisionnement :

- Continu sans stockage ;
- Continu avec stockage ;

- Par stockage.

Une entrée spécifique « *Approvisionnement de la ressource du réseau fournisseur* » à été créée dans la base de connaissances, afin de préciser le type d’approvisionnement de la RU/SALU. De plus, nous verrons que chacun de ces types nécessite des informations particulières et que des entrées supplémentaires ont été créées à cet effet.

Un approvisionnement « *Continu sans stockage* » se fait directement, par exemple, par une conduite ou des câbles qui arrivent dans l’infrastructure du RSV. Un RSV est approvisionné par exemple, en gaz via une conduite. Le RSV peut être relié au réseau de télécommunications par des câbles, en continu. Lorsque l’approvisionnement est coupé, la RU/SALU est immédiatement indisponible pour le réseau utilisateur.

Dans ce cas, l’expert indiquera uniquement la notion « *Continu sans stockage* », dans la base de connaissances (Annexe A, Tableau A.2). Pour cet approvisionnement, lors de la modélisation de l’état de dégradation des RSV, nous verrons que l’EF entrera directement en dégradation lorsque la RU/SALU est indisponible (Annexe A, Figure A.2).

Un approvisionnement « *Continu avec stockage* » se fait également directement par exemple, via une conduite ou des câbles. Cependant, le RSV possède à l’interne un dispositif de stockage pour la RU/SALU. Par exemple, l’eau peut être acheminée par une conduite jusqu’à un RSV, puis stockée dans un réservoir par le RSV. Dans ce cas, lorsque l’approvisionnement est coupé par le réseau fournisseur, RU/SALU n’est pas immédiatement indisponible pour les opérations du réseau utilisateur.

Le stockage permet de dégager *à priori*, un délai avant l’indisponibilité de la ressource utilisée pour les opérations. Nous avons donc introduit la notion de « *l’autonomie maximale fournie par le stockage de RU/SALU* ». Elle est facilement

appréciable par les experts, en comparant la capacité du dispositif de stockage à la quantité utilisée dans le temps pour les opérations.

Ce délai permet d'avoir une approximation de la marge de manœuvre dégagée grâce au stockage. Le cas échéant, ce délai devrait être ajusté en fonction de l'état effectif de remplissage du dispositif.

Dans ce cas, l'expert devra entrer la notion « *continu avec stockage* » dans la caractéristique « *Approvisionnement de la ressource du réseau fournisseur* ». Il fournira également une estimation de l'autonomie maximale de stockage dans l'entrée réservée à cet effet (Annexe A, Tableau A.3).

Lors de la modélisation de l'état de dégradation des RSV, lorsque la RU/SALU sera indisponible, l'EF bénéficiera du délai fourni par le stockage de la RU avant d'entrer en phase de dégradation (Annexe A, Figure A.3).

Un approvisionnement « *Par stockage* » se fait ponctuellement et régulièrement. Il faudra identifier le mode d'approvisionnement. Le cas échéant, cette information permettra d'anticiper l'indisponibilité de la ressource utilisée. Dans nos travaux, nous avons identifié quatre « *mode d'approvisionnement* » qui pourraient être analysés dans les futurs travaux :

- Routier ;
- Maritime ;
- Aérien ;
- Ferroviaire.

L'introduction du mode d'approvisionnement « *routier* » nous permet d'introduire une seconde partie de la problématique concernant la dépendance aux réseaux des transports.

Lorsque la ressource utilisée est associée au mode de transport « *routier* », les experts qui connaissent la localisation de leur EF peuvent préciser si l'approvisionnement est susceptible d'utiliser une des zones dites « de blocage » du Ministère des Transports. Ceci implique la connaissance préalable des zones de blocage du réseau transport. Le cas échéant, cette information permettra d'anticiper l'indisponibilité d'une RU/SALU.

L'expert indiquera la notion « *par stockage* » dans la caractéristique « *Approvisionnement de la ressource du réseau fournisseur* ». Il fournira également une estimation de l'autonomie maximale de stockage. De plus, dans les entrées de la base de connaissances réservées à cet effet, il précisera le mode d'approvisionnement utilisé et indiquera si l'approvisionnement en RU/SALU utilise une zone assujettie au blocage des transports (Annexe A, Tableau A.4). Pour cela, il va utiliser la cartographie des zones de blocage du MTQ.

Lors de la modélisation de l'état de dégradation du RSV, un avertissement précisera que la RU/SALU peut être indisponible, en cas de blocage de la zone de transport spécifiée. La zone de transport est donc indiquée comme un élément à surveiller. Lorsque la RU/SALU est indisponible, l'EF bénéficie aussi d'un délai fourni par le stockage de la RU avant d'entrer en dégradation (Annexe A, Figure A.4).

### 5.3.2.3      **Détermination du « T Délai »**

#### 5.3.2.3.1      Principe

D'après les informations fournies par les partenaires, lorsqu'on ne prend pas en compte les méthodes de gestion de la dégradation des organisations, un délai est déjà dégagé entre le moment où une ressource utilisée est indisponible et le moment où un EF va entrer en défaillance.

Ce délai est tributaire des propriétés intrinsèques et techniques de l'EF et dans certains cas, de politiques organisationnelles ou de réglementations. La connaissance technique du système, de l'organisation et de l'environnement réglementaire du réseau est alors essentielle, seuls des experts sont capables d'estimer ces délais.

Afin de déterminer ce délai, l'expert doit répondre à la question suivante :

*« Si aucune méthode de gestion de la dégradation n'est considérée, quel est le temps avant que la ressource fournie par l'EF soit indisponible sur le secteur d'alimentation (RF/SALF), suite à l'indisponibilité de la ou des ressources utilisées (RU/SALU) ? »*

Le « *T Délai* » doit absolument être calculé à partir du temps où il n'y plus de RU/SALU disponible pour les opérations de l'EF considéré. Dans le cas où la ressource utilisée est stockée, il faut donc déterminer le « *T Délai* » à partir du moment où le dispositif de stockage est vide.

L'expert devra entrer le délai qu'il a estimé, dans la base de connaissances, dans l'entrée réservée « *T Délai* » (Annexe A, Tableau A.5).

Pour la modélisation de l'état de dégradation des RSV, le « *T Délai* » couvrira l'intervalle de temps à partir duquel RU/SALU est indisponible et pendant lequel le RSV se dégrade jusqu'à la défaillance, sans qu'aucun autre critère n'influence la dégradation (C'est-à-dire sans prendre en compte les modes de gestion de la dégradation) (Annexe A, Figure A.1 à A.4).

#### 5.3.2.3.2 Principe des classes d'ensemble fonctionnel

L'étude des effets domino doit être limitée dans le temps. Plus précisément, nous pouvons anticiper des conséquences, des mécanismes de gestion et modéliser les effets domino de manière réaliste, pour une zone de temps donnée. Au-delà de cette période des prévisions sont difficiles, car les événements seront soumis à l'évolution de la situation et aux prises de décisions des gestionnaires. On traitera alors davantage de tendances.

Par conséquent, il est important de définir au départ, un « *Délai d'Étude Considéré* » ou DEC. Il constitue la zone de temps considérée, durant l'étude approfondie des dégradations. Le DEC doit être un consensus entre les divers partenaires du projet. Dans la plupart des cas, le délai d'étude choisi est compris entre 48h et 96h.

En fonction du DEC et du « *T Délai* », les ensembles fonctionnels peuvent être réparti en deux classes :

- Classe « *critique* » : Elle regroupe les ensembles fonctionnels pour lesquels la ressource fournie est indisponible en termes de temps, à l'intérieur du DEC et sans qu'aucun mode de gestion de la dégradation ne soit considéré :  $T \text{ Délai} \leq \text{DEC}$ .
- Classe « *non-critique* »: Elle regroupe les ensembles fonctionnels pour lesquelles la ressource fournie est indisponible en termes de temps, à l'extérieur

du DEC et sans qu'aucun mode de gestion de la dégradation ne soit considéré :  
 $T \geq DEC$ .

Nous abordons ici, la possibilité de classifier les ensembles fonctionnels en énonçant un principe qui les distribuerait en deux classes. Dans l'état actuel des recherches, cette classification n'a pas encore été exploitée. Cependant, elle pourrait être utilisée dans de futurs projets. Elle permet d'identifier, quels sont les ensembles fonctionnels qui peuvent induire des effets domino sur le court terme.

#### ***5.3.2.4 Traitement des ensembles fonctionnels considérant plusieurs RU/SALU indisponibles***

Dans la section 5.2, nous indiquions qu'un EF pouvait considérer un cumul de RU/SALU indisponibles. Dans ce cas, quelles sont les informations à considérer ? Faut-il fournir l'information pour chacune des ressources ?

Dans la section suivante, nous allons indiquer comment cet assemblage peut être traité dans la base de connaissances.

Nous rappelons que dans ce cas précis, l'information transmise par l'expert doit considérer l'indisponibilité des RU/SALU de l'EF en même temps.

L'expert raisonnera à partir des informations provenant de chacune des RU/SAL. Il appliquera un principe de précaution en ce qui concerne l'estimation des autonomies.

##### **5.3.2.4.1 Contexte d'utilisation**

Si un contexte est attaché aux conséquences anticipées pour au moins une des RU/SALU, il sera conservé, car il constitue une condition aux conséquences que nous

anticiperons. Il sera indiqué dans l'entrée « *Contexte d'utilisation de la ressource utilisée* ».

#### 5.3.2.4.2 Caractéristiques de la ressource utilisée

Un maximum d'information concernant les RU/SALU et permettant l'anticipation des effets domino, doit être conservé et entré dans la base de connaissances. Si deux ressources sont approvisionnées de manière différente, les données concernant le type d'approvisionnement de chacune des RU/SALU seront indiquées dans la base de connaissances.

En ce qui concerne l'estimation de l'autonomie maximale de stockage, lorsque les ressources utilisées fournissent chacune des temps différents, c'est le temps le plus court qui doit être retenu et inscrit dans la base de connaissances (par précaution).

Par exemple, si une des ressources est fournie « *par stockage* » et une autre en « *continu avec stockage* », l'expert devra sélectionner, dans les caractéristiques de la ressource utilisée les deux types d'approvisionnement. Il donnera l'autonomie maximale de stockage la plus courte, le mode d'approvisionnement de la ressource fournie « *par stockage* », ainsi que la ou les zones de blocage de transport potentiellement utilisées.

Si l'une des ressources est fournie en « *continu sans stockage* » et l'autre « *par stockage* », l'expert devra sélectionner les deux types d'approvisionnement. Il fournira alors l'autonomie maximale de stockage, le mode d'approvisionnement ainsi que la ou les zones de blocage de transport potentiellement utilisées de la RU/SALU, acheminée « *par stockage* ».

Dans le cas où plusieurs ressources sont fournies « *par stockage* », le mode de transport et la zone de blocage potentiellement utilisée doivent être indiqués pour chacune d'entre elles.

L'entrée des informations concernant chaque RU/SALU va permettre d'anticiper, le cas échéant, les cas où elles seront indisponibles, en même temps.

#### 5.3.2.4.3 Détermination du « *T Délai* »

Le « *T délai* » est l'élément qui justifie la modélisation d'un EF de cumul de RU/SALU défaillante. Il doit obligatoirement être différent de ceux obtenus pour chacune des RU/SALU prisent séparément. Le fait que le « *T délai* » variable constitue la plus value à la modélisation.

Le « *T délai* » doit être estimé en considérant les ressources indisponibles en même temps. On ne choisit pas le « *T délai* » le plus court comme pour les délais d'approvisionnement.

#### 5.3.2.4.4 Exemple d'application

La Figure 5.5 présente un exemple d'application. Elle traite d'un EF considérant deux RU/SALU indisponibles en même temps (RU/SALU 1 et RU/SALU 2) et qui fournit une RF/SALF. Les deux premiers tableaux de la figure montrent que chaque RU/SALU possède ses propres caractéristiques : contexte d'utilisation, type d'approvisionnement, autonomie maximale de stockage, mode d'approvisionnement et zone de transport pour RU/SALU 2. Notons également, que si chacune d'entre elles était traitée à part dans un EF, le service serait défaillant après les « *T Délai* » suivants : *Y heures* pour RU/SALU 1 et *Z heures* pour RU/SALU 2.

Le troisième tableau correspond à la caractérisation hors mode de gestion de l'EF. On peut voir que le type d'approvisionnement des deux ressources est indiqué : « *Continu avec stockage* » et « *Par stockage* ». Cependant, seule l'autonomie maximale de stockage la plus courte (4h) a été retenue et sera prise en compte. Afin qu'un maximum de données pertinentes à l'EF soit utilisé, notons également que le mode

d'approvisionnement de RU/SALU 2 « routier » et la zone de blocage de transport utilisée sont conservés. Enfin, le « *T Délai* » estimé à X heures, a été déterminé à part par l'expert. Il est bien différent des « *T Délai* » estimés pour des EF traitant à part chacune des ressources.

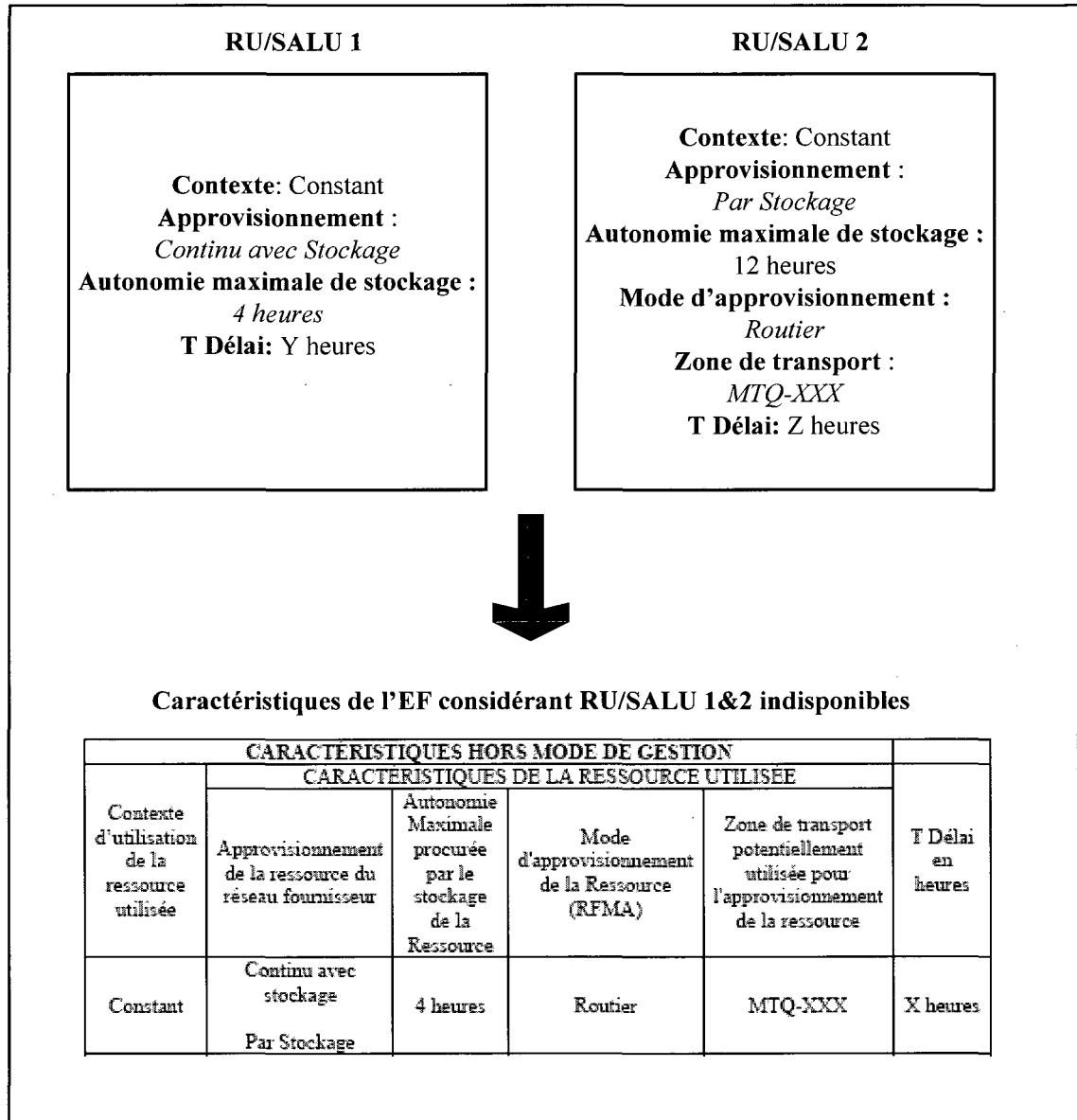
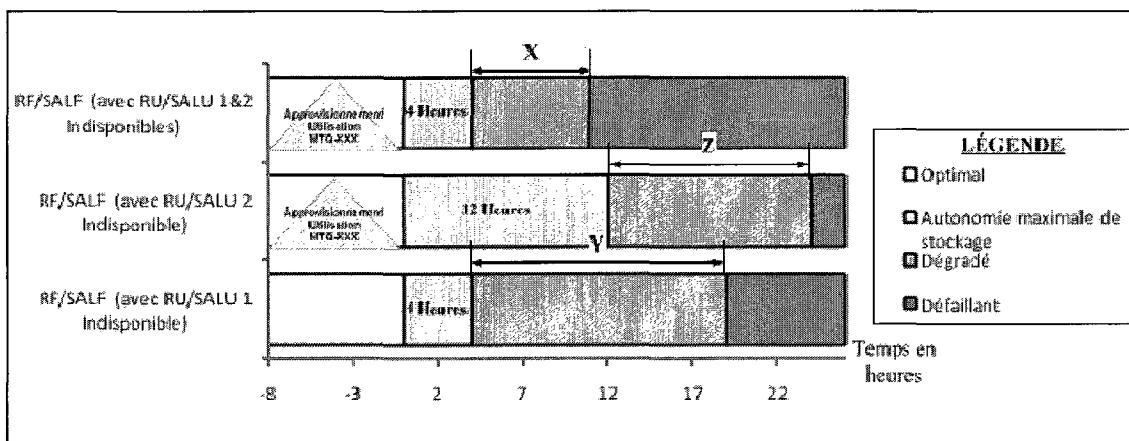


Figure 5.5 – Exemple d'entrée dans la base de connaissances, d'un EF considérant plusieurs RU/SALU indisponibles

#### 5.3.2.4.5 Influence sur la modélisation de l'état de dégradation du RSV

La Figure 5.6 modélise l'exemple d'application pour un EF cumulant des RU/SALU indisponibles présenté en 5.3.2.4.4. Le graphique représente l'état de dégradation du RSV pour un EF considérant RU/SALU 1 indisponible, puis RU/SALU 2 indisponible. Enfin, la barre supérieure représente l'état de dégradation pour RU/SALU 1&2 indisponibles en même temps. Sur cette dernière représentation, on peut voir que les informations pertinentes à la modélisation, provenant de chaque RU/SALU ont été conservées. La zone de blocage de transport potentiellement utilisée pour l'approvisionnement de RU/SALU 2 est indiquée comme élément à surveiller. À T = 0, les deux RU/SALU sont indisponibles, l'autonomie maximale de stockage provenant de RU/SALU 1 a été conservée et procure un délai supplémentaire avant la dégradation. Au-delà de ce délai, un « T Délai » de X Heures avant la défaillance, a été dégagé par les experts si aucun mode de gestion n'est mis en place.



**Figure 5.6 – Illustration de la modélisation, hors mode de gestion, de l'état d'un EF cumulant des RU/SALU indisponibles**

### 5.3.3 Étude des modes de gestion de la dégradation

Afin de se protéger, les organisations mettent en place des processus qui leur permettent de maintenir leurs activités en cas de menaces. Ces processus, dits de continuité opérationnelle agissent sur l'état de dégradation et tendent à le maintenir vers un état optimal. Ils vont fournir des marges de manœuvres supplémentaires avant la perte de service, ils vont maintenir le système, ils vont stopper la dégradation ou bien, dans certains cas, vont rétablir le système.

Il s'agit donc, pour chaque EF ou chaque cas, d'identifier et d'analyser les méthodes de gestion de la dégradation mises en place par l'organisation pour pallier à sa dégradation, afin de définir leur impact sur l'état du RSV. L'impact se traduit au niveau du fonctionnement du RSV (par exemple, les opérations sont assurées grâce à l'utilisation d'une ressource alternative) et en termes de temps (avec l'introduction de marges de manœuvre supplémentaires avant la défaillance).

Leur divulgation permettra aussi d'identifier les interdépendances des systèmes de gestion eux-mêmes, vis-à-vis des ressources qu'ils utilisent. Par exemple, une génératrice dont le fonctionnement est tributaire de l'essence.

Elle permettra donc de mettre en lumière des conflits entre les modes de gestion des organisations. Par exemple, de nombreux réseaux estiment utiliser l'eau embouteillée en cas de défaillance d'un approvisionnement en eau potable sur un secteur, ce qui peut conduire à une consommation largement supérieure à l'offre.

Enfin, cette analyse doit mettre en évidence des cas critiques où aucun mode de gestion ne serait en place. Par conséquent, elle peut conduire à la mise en place *à priori* de mesures de réduction du risque.

Les organisations visent en permanence à s'améliorer et se fixent dans ce cadre, continuellement, de nouveaux objectifs en matière de continuité opérationnelle. La mise à jour des données concernant ces modes de gestion est d'autant plus capitale.

### **5.3.3.1      *Principes***

L'analyse des stratégies mises en place par les organisations nous a permis de définir plusieurs cas.

Pour certaines dégradations, aucun mode de gestion n'est prévu. Les causes sont diverses : la mise en place d'un système de gestion est techniquement impossible, ou bien trop coûteuse, ou encore elle ne fait pas partie des priorités ou des stratégies actuelles de l'organisation. Dans certains cas, la vulnérabilité du système n'a simplement pas encore été identifiée, car elle est liée à un effet domino et donc à la vulnérabilité d'un autre RSV.

Dans les cas où des modes de gestion sont en places, des différenciations vont s'articuler autour de l'utilisation ou non de ressources alternatives, des besoins en équipements, de l'utilisation de zones de blocage de transport. Nous traiterons ainsi la troisième et dernière partie de la problématique reliée aux réseaux de transport.

Dans ses travaux, De la Lande de Calan, (2007) abordait la problématique des ressources alternatives (RA) et les définissait comme des ressources permettant de compenser une ressource utilisée (RU/SALU). Elles étaient selon lui, également couplées à un secteur d'alimentation. Les travaux concernant les ressources alternatives montre qu'elles sont soit utilisées directement en tant que ressources de substitution, soit en tant que ressource supplémentaire dans le cadre d'un dispositif alternatif.

Il est important de connaître les cas où des ressources supplémentaires ou alternatives sont utilisées dans les modes de gestion, afin de s'assurer que le cas

échéant, les quantités nécessaires soient à disposition des réseaux. En effet, si plusieurs réseaux se dégradant en même temps utilisent une même ressource sur un territoire donné, l'offre disponible pour ce territoire peut s'avérer insuffisante.

Nous définissons les équipements comme des dispositifs ou systèmes utilisés pour pallier la défaillance. Pour illustration, on peut citer un système portatif de climatisation, une génératrice, un système de chauffage portatif, etc.

Les équipements et les ressources nécessaires à la viabilité des modes de gestion doivent être localisés. Cette information va nous permettre de déterminer si un approvisionnement est nécessaire. Le cas échéant, des délais d'approvisionnement et l'utilisation de zone de blocage de transport pourraient influencer la modélisation de l'état de dégradation du réseau.

Dans certains cas, les organisations utilisent plusieurs modes de gestion pour gérer une dégradation. Certains modes de gestion sont consécutifs, le second se substitue au premier. D'autres sont concomitants, ils ne peuvent être dissociés et doivent fonctionner ensemble pour être efficaces. Enfin, certains modes de gestion fonctionnent en alternance et de façon répétitive, chacun d'entre eux compense l'indisponibilité de RU/SALU pour un certain temps. Dans nos travaux, cet enchaînement est défini comme étant « *en boucle* ». Nous avons, par exemple, traité le cas d'un système de batteries fonctionnant en boucle avec une génératrice, utilisé dans la gestion des dégradations d'une infrastructure. Lorsqu'une panne électrique survient, les batteries assurent le fonctionnement pour 4 heures. Après, une génératrice portative doit maintenir la mission pendant 5 heures. Cette génératrice doit à la fois recharger les batteries et alimenter l'infrastructure en électricité. Après ces 5 heures, les batteries reprennent un nouveau relai pour une seconde durée de 4 heures, puis la génératrice à nouveau pour 5 heures et ainsi de suite.

Nous avons donc ajouté à la base de connaissances, une entrée qui permet, dans le cas où la dégradation d'un EF est gérée par plusieurs modes de gestions, de préciser l'articulation entre eux. Cette entrée est nommée « *lien entre les modes de gestion* ». Les trois choix suivants sont possibles : « *consécutifs* », « *concomitants* », « *en boucle* ».

Chaque mode de gestion à l'étude va fournir à l'EF une autonomie qui pourra être estimée par l'expert en termes d'heures. Nous avons donc prévu une entrée supplémentaire à base de connaissance à cet effet : « *Autonomie supplémentaire fournie par le mode de gestion* ».

Comme plusieurs modes de gestion peuvent être prévus et fonctionner en boucle ou conséutivement pour un EF, une entrée finale est également prévue afin d'indiquer l'autonomie maximale que peut procurer un ensemble de mode de gestion : « *Autonomie totale du réseau* ». Cette autonomie correspond donc à la somme des autonomies des modes de gestion consécutifs ou fonctionnant en boucle. Si on reprend l'exemple donné précédemment, l'autonomie totale du réseau serait jusqu'à la fin du DEC, puisque le système en boucle s'auto suffit. On peut alors se demander pourquoi il est nécessaire de détenir l'information sur chacun des modes de gestion si l'EF peut être maintenu durant toute la durée d'étude. L'analyse de chacun des modes de gestion est importante, car elle nous permet de comprendre comment le service peut être maintenu pendant toute cette durée, mais aussi, car dans le cas où l'un des deux systèmes serait défaillant, la dégradation serait modélisée autrement et nous pourrions alors anticiper des conséquences différentes.

### **5.3.3.2 Modes de gestion : caractérisation, entrées dans la base de connaissances et influence sur la modélisation**

Dans ce cadre, et grâce aux données fournies par les experts, nous avons identifié dix modes de gestion. Ces modes de gestion s'organisent autour de trois

grandes notions : l'utilisation d'équipements, de ressources alternatives ou de repli, et de l'utilisation, ou non, d'un réseau de transport. Le Tableau 5.7, permet d'avoir une vision d'ensemble des modes de gestion que nous avons traités et de voir quelles sont leurs particularités.

**Tableau 5.7 – Tableau récapitulatif des dix modes de gestion identifiés**

Mode	Équipement		Ressource alternative (RA)		Replis avec déplacement ?	
	Sur place	À acheminer	Sur place	À acheminer	OUI	NON
1						X
2					X	
3	X					
4		X				
5			X			
6				X		
7	X			X		
8	X		X			
9		X			X	
10		X	X			

Dans la section suivante, nous allons détailler chacun d'entre eux en donnant des exemples, issus de la phase d'application, ainsi que les modalités d'entrée dans la base de connaissances.

Nous montrerons que les modes de gestion influent également la modélisation de l'état d'un RSV. Ils interviennent au niveau de l'état de dégradation, à la fois par l'introduction de marges de manœuvre, mais aussi, parce que ces modes de fonctionnement n'appartiennent pas à la gestion courante des organisations. Les missions essentielles seront maintenues, cependant les opérations seront perturbées par rapport à un mode optimal. La section suivante montrera donc, à l'aide d'un outil graphique à barres, l'influence de chaque caractéristique sur la modélisation de l'état de dégradation de l'EF. L'EF sera donné en ordonnée tandis que, le temps sera représenté

en abscisse. Les caractéristiques seront ajoutées au graphique sous forme de durée, d'avertissement, de conditions.

Dans les graphiques qui seront présentés, l'état de l'EF passera de « optimal », à « dégradé » puis « défaillant ». Nous n'utiliserons aucun code de couleur, les nuances de gris serviront uniquement à simplifier la visualisation. Contrairement aux travaux passés, nous réservons l'utilisation d'un code de couleur pour un SAP. Ce point sera discuté en 5.6.2.1.

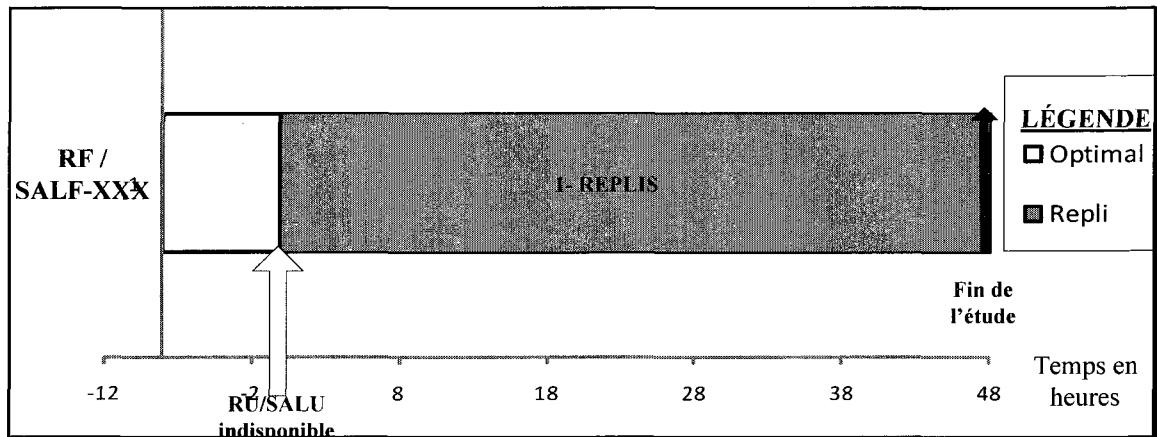
- ***Mode 1 : Transfert des activités vers un autre site, ne nécessitant pas de déplacement (Repli sans déplacement).*** Typiquement, ce mode correspond au cas de figure où une organisation transfère les activités de son centre de contrôle dans un autre secteur ou une autre ville.

Dans le Tableau 5.8, nous remarquons que l'expert entrera le mode de gestion l'autonomie supplémentaire octroyée et l'autonomie totale du réseau.

**Tableau 5.8 – Caractérisation dans la base de connaissances du mode de gestion « *Repli sans déplacement* »**

CARACTÉRISTIQUES DES MODES DE GESTION		
Mode de gestion	Autonomie supplémentaire fournie par le mode de gestion	AUTONOMIE TOTALE DU RÉSEAU
Repli sans déplacement	Jusqu'à la fin de l'étude	Jusqu'à la fin de l'étude

La Figure 5.7 montre que le repli va se substituer au « *T Délai* » et à la zone défaillance et va maintenir la mission de l'EF jusqu'à la fin de l'étude. Il n'y aura pas d'interruption de service et donc pas d'effet domino ici.



**Figure 5.7 – Influence du mode de gestion « *Repli* » sur la modélisation de l'état d'un RSV**

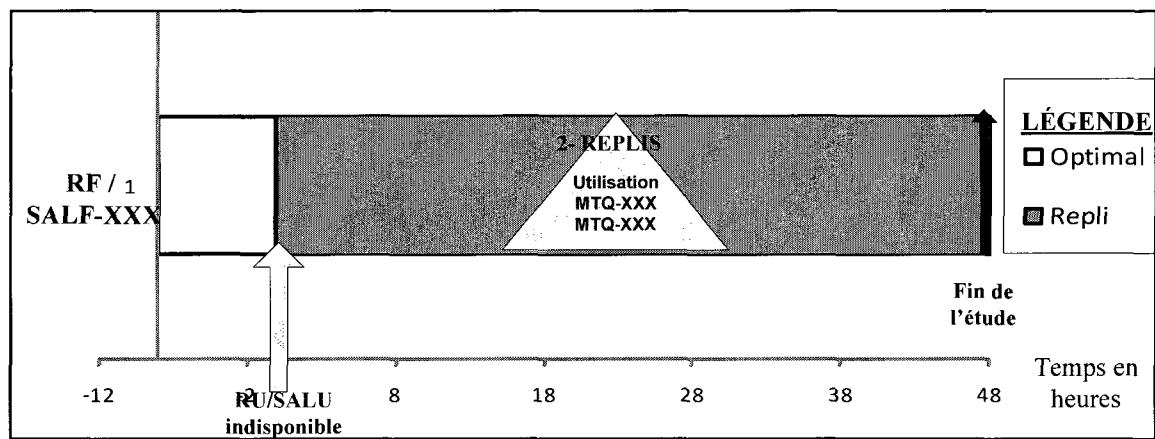
- **Mode 2 : Transfert des activités vers un autre site, nécessitant un déplacement (Repli avec déplacement).** Dans ce cas, nous intégrons la notion de déplacement, car nous cherchons à savoir si le blocage d'une zone de transport pourrait affecter le repli envisagé par l'organisation.

Dans le Tableau 5.9, nous remarquons que comme le repli nécessite un déplacement, une entrée supplémentaire est nécessaire. L'expert doit fournir la ou les zones potentielles de blocage de transport qui pourraient compromettre son repli

**Tableau 5.9 – Caractérisation dans la base de connaissances du mode de gestion « *Repli avec déplacement* »**

<b>CARACTÉRISTIQUES DES MODES DE GESTION</b>			
Mode de gestion	Zone de transport potentiellement utilisée	Autonomie supplémentaire fournie par le mode de gestion	AUTONOMIE TOTALE DU RÉSEAU
Repli avec déplacement	MTQ-XXX MTQ-XXX	Jusqu'à la fin de l'étude	Jusqu'à la fin de l'étude

La Figure 5.8, nous indique que le repli est assujetti à la disponibilité d'une ou de plusieurs zones de transport. Un avertissement a été ajouté au modèle précédent. De plus, le repli des activités peut être une démarche assez longue. Par principe de précaution, il advient donc de surveiller cette composante pendant toute l'étude. L'avertissement couvre donc l'ensemble du DEC.



**Figure 5.8 – Influence du mode de gestion « *Repli avec déplacement* » sur la modélisation de l'état d'un RSV**

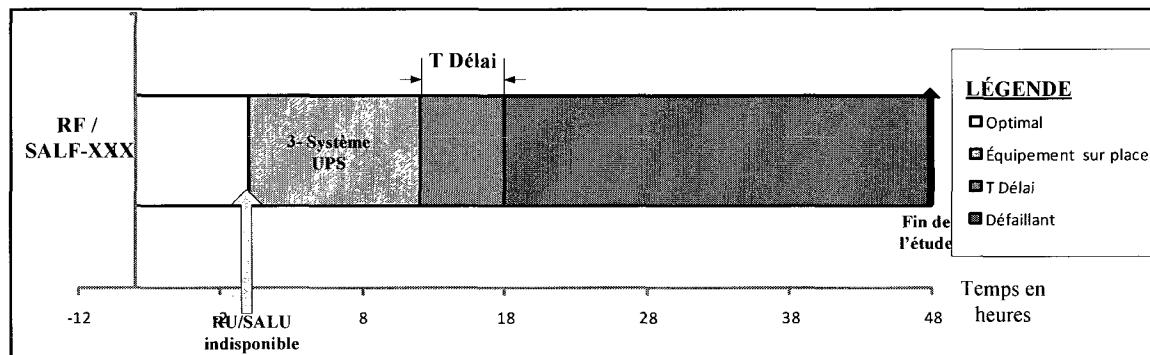
- *Mode 3 : Utilisation d'un équipement dédié aux défaillances déjà en place, ne nécessitant pas de ressource supplémentaire.* Ce mode de gestion correspond, par exemple, à des organisations qui utiliseraient des batteries ou des systèmes UPS.

Dans le Tableau 5.10, nous voyons que le mode de gestion, le type d'équipement et l'autonomie supplémentaire octroyée doivent être fournis par l'expert.

**Tableau 5.10 – Caractérisation dans la base de connaissances du mode de gestion « Utilisation d'un équipement déjà sur place »**

<b>CARACTÉRISTIQUES DES MODES DE GESTION</b>			
Mode de gestion	Type d'équipement	Autonomie supplémentaire fournie par le mode de gestion	<b>AUTONOMIE TOTALE DU RÉSEAU</b>
Équipement sur place	Système UPS	X Heures	Y heures

On peut voir sur la Figure 5.9, à  $T=0$ , lorsque la RU/SALU devient indisponible, que le mode de gestion fournit une marge de manœuvre supplémentaire. Comme il s'agit d'un équipement, le modèle indique le nom de l'équipement qui est mis à contribution. Lorsque cette marge de manœuvre se termine, le RSV bénéficie du « *T Délai* » estimé, avant d'entrer en défaillance.



**Figure 5.9 – Influence du mode de gestion « Équipement sur place » sur la modélisation de l'état d'un RSV**

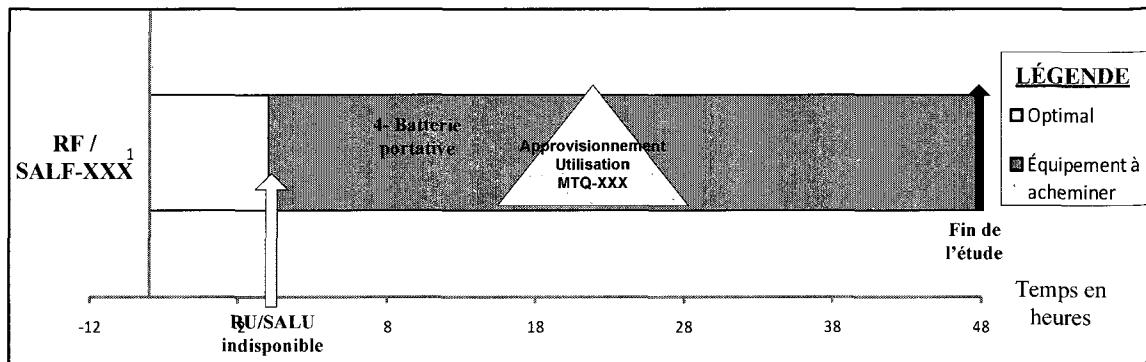
- **Mode 4 : Utilisation d'un équipement devant être acheminé jusqu'à l'infrastructure, ne nécessitant pas de ressource supplémentaire pour fonctionner.** Par exemple, dans le cas d'une panne électrique, ce serait le cas d'une organisation qui utiliserait des batteries portatives, devant être acheminée par camions.

Le Tableau 5.11 montre que, comme l'équipement doit être acheminé jusqu'à l'EF, la ou les zones potentielles de blocage de transport doivent être identifiées et précisées dans l'entrée prévue à cet effet. Le « *type d'équipement* » et la « *quantité d'équipement* » à acheminer doivent être fournis par l'expert. Ces informations nous permettront de connaître la demande pour cet équipement, pour un effet domino anticipé (voir la section 5.3.3.4).

**Tableau 5.11 – Caractérisation dans la base de connaissances du mode de gestion  
« Utilisation d'un équipement à acheminer »**

<b>CARACTÉRISTIQUES DES MODES DE GESTION</b>					
Mode de gestion	Type d'équipement	Quantité d'équipement	Zone de transport potentiellement utilisée	Autonomie supplémentaire fournie par le mode de gestion	<b>AUTONOMIE TOTALE DU RÉSEAU</b>
Équipement à acheminer	Batterie portative	X	MTQ-XXX	Jusqu'à la fin de l'étude	Jusqu'à la fin de l'étude

La Figure 5.10, montre que, comme pour le cas du « *repli avec déplacement* », l'utilisation de l'équipement (dans l'exemple, batterie portative), est sous conditions. Un avertissement couvre la marge de manœuvre fournie par le mode de gestion. Le nom de l'équipement est également précisé. Ce modèle montre qu'il faut que l'équipement demandé et la ou les zones de transport identifiées soient disponibles. Sinon, le mode de gestion de la dégradation ne sera plus viable et le RSV ne serait pas maintenu. Le RSV bénéficierait d'un temps, le « *T Délai* », avant d'entrer en défaillance.



**Figure 5.10 – Influence du mode de gestion « Équipement à acheminer » sur la modélisation de l'état d'un RSV**

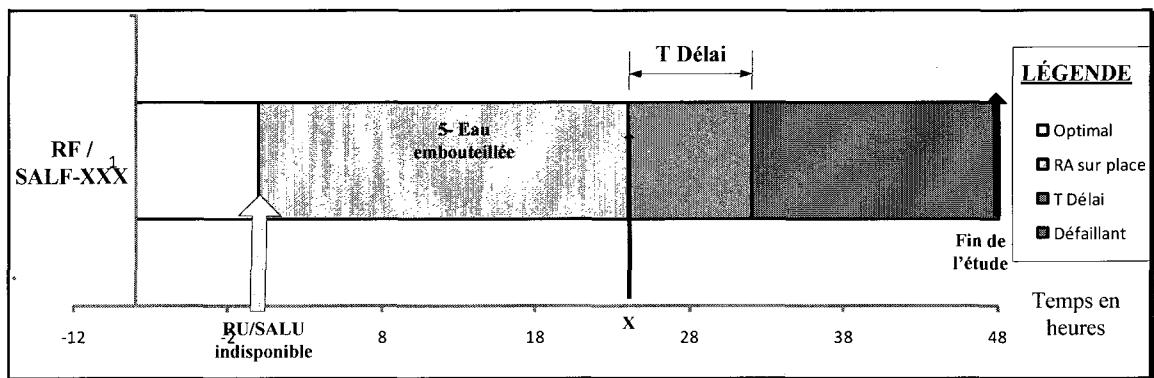
- **Mode 5 : Utilisation d'une ressource alternative ne devant pas être acheminée jusqu'à l'infrastructure.** Un tel mode de gestion pourrait être utilisé, par exemple, dans le cas d'une contamination de l'eau potable sur le secteur d'étude. L'organisation prévoirait de mettre à la disposition de ses employés de l'eau embouteillée, déjà présente sur place (dans les divers locaux : cuisines, cafétérias, réserves, bombonnes...).

Dans le Tableau 5.12, nous remarquons que le mode de gestion, le nom de la RA et la quantité stockée à l'interne doivent être fournis par l'expert. Enfin, l'autonomie supplémentaire fournie par la RA pourra être estimée en fonction des quantités stockées.

**Tableau 5.12 – Caractérisation dans la base de connaissances du mode de gestion « Ressource alternative sur place »**

CARACTÉRISTIQUES DES MODES DE GESTION				
Mode de gestion	RA	Quantité de RA stockée	Autonomie supplémentaire fournie par le mode de gestion	AUTONOMIE TOTALE DU RÉSEAU
Ressource alternative sur place	Eau embouteillée	Z litres	X Heures	Y Heures

La Figure 5.11, montre, que lorsque RU/SALU est indisponible, le mode de gestion maintient le RSV en mode dégradé pour un temps X, soit l'autonomie supplémentaire estimée. La RA utilisée « *eau embouteillée* » est précisée sur le modèle. Une fois la marge de manœuvre terminée, le RSV est maintenu pendant le « *T Délai* » avant d'entrer en défaillance.



**Figure 5.11 – Influence du mode de gestion « *Ressource alternative sur place* »sur la modélisation de l'état d'un RSV**

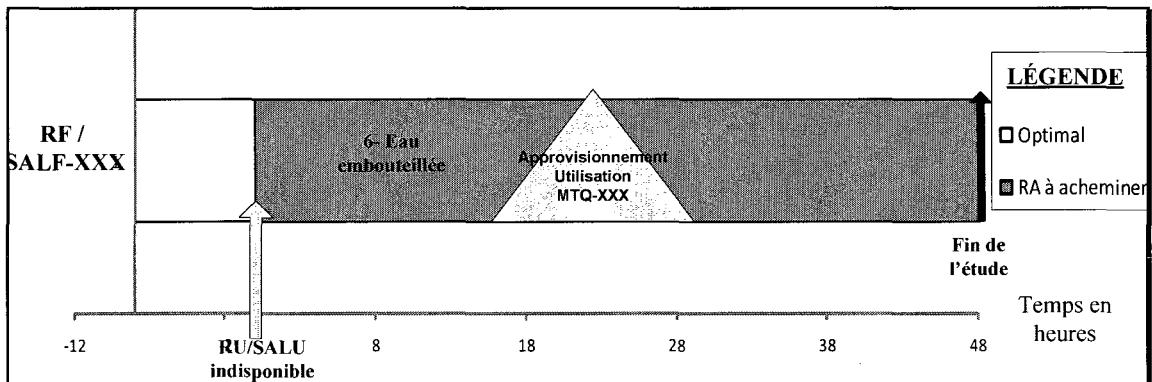
- **Mode 6 :** Utilisation d'une ressource alternative devant être acheminée jusqu'à l'infrastructure. Par exemple, lors d'une pénurie en eau potable, les organisations vont fournir à leur personnel de l'eau embouteillée qu'ils feront acheminer jusqu'aux infrastructures.

Le Tableau 5.13 montre, par rapport au cas précédent, que l'expert fournira en plus, les données relatives à l'approvisionnement. Il précisera le mode d'approvisionnement et la ou les zones de blocage de transport potentiellement utilisées. Comme dans le cas d'équipements à acheminer, les entrées réservées à l'identification de la RA utilisée et à la quantité nécessaire permettront de définir l'offre nécessaire pour un effet domino anticipé.

**Tableau 5.13 – Caractérisation dans la base de connaissances du mode de gestion « Ressource alternative à acheminer »**

CARACTÉRISTIQUES DES MODES DE GESTION						AUTONOMIE TOTALE DU RÉSEAU
Mode de gestion	RA	Quantité de RA nécessaire	Mode d'approvisionnement	Zone de transport potentiellement utilisée	Autonomie supplémentaire fournie par le mode de gestion	
RA à acheminer	Eau embouteillée	X litres	Routier	MTQ-XXX MTQ-XXX	jusqu'à la fin de l'étude	jusqu'à la fin de l'étude

Le modèle présenté par la Figure 5.12, montre que l'utilisation de la RA à acheminer maintiendrait la mission en mode dégradé. L'avertissement attaché au mode de gestion indique que le maintien est à condition que la zone de transport spécifiée ne soit pas bloquée. Il faut surveiller la disponibilité de la ou des zones de transport spécifiées.



**Figure 5.12 – Influence du mode de gestion « Ressource alternative à acheminer » sur la modélisation de l'état d'un RSV**

Les quatre derniers modes de gestions suivants cumulent deux besoins : un besoin en équipement et un besoin en ressource alternative. Les données à fournir et indiquées dans les tableaux sont basées sur les règles définies dans les modes de gestion précédents.

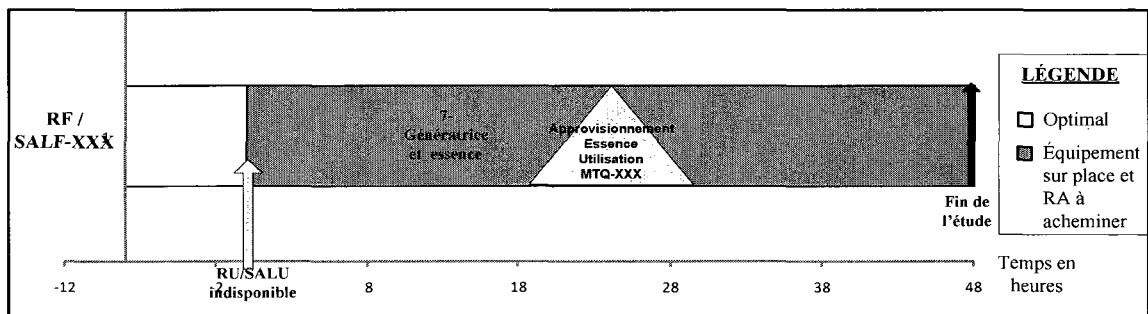
- **Mode 7 : Utilisation d'un équipement dédié aux défaillances déjà en place, nécessitant une ressource supplémentaire, devant être acheminée jusqu'à l'infrastructure.** Par exemple, le cas typique est une organisation qui utiliserait une génératrice à essence. L'équipement considéré serait la génératrice et la ressource supplémentaire l'essence.

Comme le montre le Tableau 5.14, l'expert entrera les informations concernant un « *équipement sur place* » et une « *RA à acheminer* » définies dans les modes de gestion précédents.

**Tableau 5.14 – Caractérisation dans la base de connaissances du mode de gestion « *Équipement sur place et RA à acheminer* »**

CARACTÉRISTIQUES DES MODES DE GESTION							
Mode de gestion	Type d'équipement	RA	Quantité de RA nécessaire	Mode d'approvisionnement	Zone de transport potentiellement utilisée	Autonomie supplémentaire fournie par le mode de gestion	AUTONOMIE TOTALE DU RÉSEAU
Équipement sur place et RA à acheminer	Générateur	Essence	X litres	Routier	MTQ-XXX	jusqu'à la fin de l'étude	jusqu'à la fin de l'étude

D'après la Figure 5.13, le nom de l'équipement et de la RA mis à contribution sont précisés sur le modèle. Un avertissement indique les zones de transports qui sont à surveiller et qui sont nécessaires à l'acheminement de la RA.

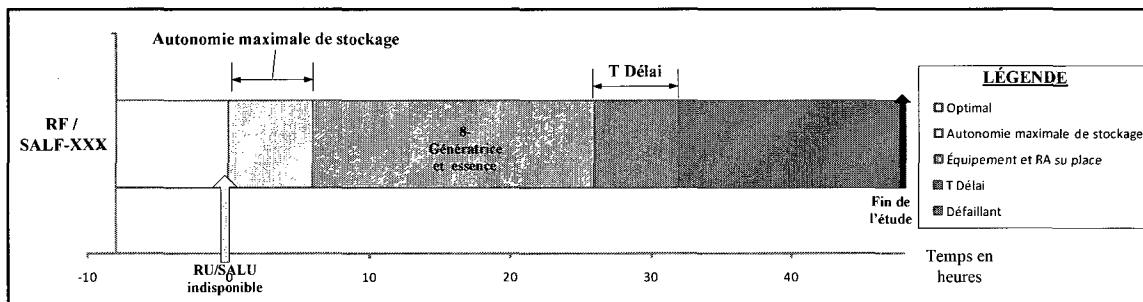


**Figure 5.13 – Influence du mode de gestion « *Équipement sur place et RA à acheminer* » sur la modélisation de l'état d'un RSV**

- **Mode 8 :** Utilisation d'un équipement dédié aux défaillances déjà en place, nécessitant une ressource supplémentaire, déjà sur place. Si on reprend l'exemple de la génératrice à essence, ce serait le cas d'une organisation qui choisirait ce mode de gestion et possèderait ou aurait accès, directement, à un réservoir d'essence.

**Tableau 5.15 – Caractérisation dans la base de connaissances du mode de gestion « Équipement et RA sur place »**

CARACTERISTIQUES DES MODES DE GESTION					
Mode de gestion	Type d'équipement	RA	Quantité de RA stockée	Autonomie supplémentaire fournie par le mode de gestion	AUTONOMIE TOTALE DU RÉSEAU
Équipement et RA sur place	Générateur	Essence	Z litres	X Heures	Y Heures

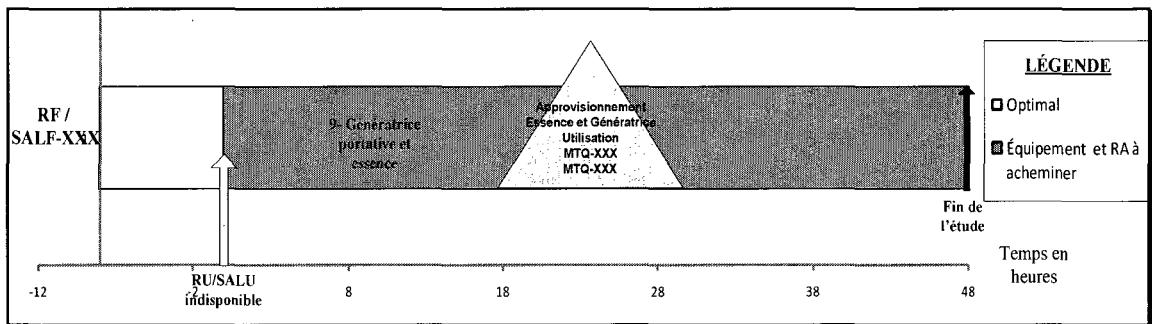


**Figure 5.14 – Influence du mode de gestion « Équipement et RA sur place » sur la modélisation de l'état d'un RSV**

- **Mode 9 :** Utilisation d'un équipement devant être acheminé jusqu'à l'infrastructure, nécessitant une ressource supplémentaire devant être acheminée pour fonctionner. Par exemple, ce serait le cas d'un système de génératrice portative à essence où il faudrait acheminer sur place à la fois l'essence et l'équipement. On peut voir sur le Tableau 5.16, dans l'entrée grisée que l'expert entre les zones de blocage concernant la RA et celle concernant l'équipement.

**Tableau 5.16 – Caractérisation dans la base de connaissances du mode de gestion « Équipement et RA à acheminer »**

CARACTÉRISTIQUES DES MODES DE GESTION							
Mode de gestion	Type d'équipement	Quantité d'équipement	RA	Quantité de RA nécessaire	Mode d'approvisionnement	Zone de transport potentiellement utilisé Équipement et RA	Autonomie supplémentaire fournie par le mode de gestion
Équipement et RA à acheminer	Génératrice portative	X	Essence	X litres	Routier	MTQ XXX MTQ-XXX	jusqu'à la fin de l'étude



**Figure 5.15 – Influence du mode de gestion « Équipement et RA à acheminer » sur la modélisation de l'état d'un RSV**

- *Mode 10 : Utilisation d'un équipement devant être acheminé jusqu'à l'infrastructure, nécessitant une ressource supplémentaire déjà sur place pour fonctionner.* Par exemple, ce serait le cas où l'on achemine une génératrice portative à essence sur place et lorsque le réservoir est déjà à proximité de l'infrastructure ou bien, lorsque l'on achemine un chauffage d'appoint électrique que l'on branche directement. Mais aussi, le cas d'un système de climatisation portatif, utilisé par les réseaux de télécommunications, pour refroidir leurs systèmes et fonctionnant à l'électricité.

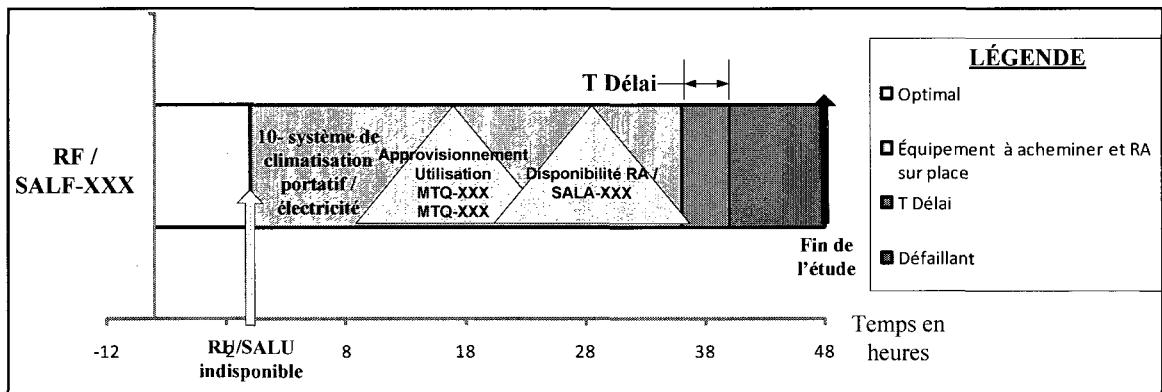
Le Tableau 5.17, présente un cas particulier de RA sur place. On remarque que le mode de gestion reste dépendant de l'approvisionnement de la RA, même si celle-ci est considérée sur place. Ce cas particulier est rencontré, lorsque la RA est fourni par un

autre réseau. Dans le tableau, nous considérons l'utilisation de l'électricité. Si une panne électrique survenait et l'électricité devenait indisponible, le climatiseur ne fonctionnerait plus.

**Tableau 5.17 – Caractérisation dans la base de connaissances du mode de gestion « Équipement à acheminer et RA sur place »**

CARACTÉRISTIQUES DES MODES DE GESTION								
Mode de gestion	Type d'équipement	Quantité d'équipement	RA	Quantité de RA Stockée	Mode d'approvisionnement	Zone de transport potentiellement utilisée	Autonomie supplémentaire fournie par le mode de gestion	AUTONOMIE TOTALE DU RÉSEAU
Équipement à acheminer et RA sur place	Système de climatisation portative	Z	Électricité/ Hydro-XXX	Illimité (tant qu'elle est disponible sur le secteur de l'EF)	Routier	MTQ-XXX MTQ-XXX	X heures	Y heures

Il sera donc important, comme le montre la Figure 5.16 avec l'introduction d'un second avertissement (disponibilité RA/SALA-XXX), de préciser dans la modélisation, que la disponibilité de l'électricité sur ce secteur est à surveiller, afin d'assurer la viabilité du mode de gestion.



**Figure 5.16 – Influence du mode de gestion « Équipement à acheminer et RA sur place » sur la modélisation de l'état d'un RSV**

Comme nous l'avons indiqué précédemment, les modes de gestion peuvent s'articuler. Ils se succèdent, fonctionnent ensemble ou bien s'enchainent de manière répétitive (en boucle).

- S'ils se succèdent, le modèle pourra représenter chacun d'entre eux successivement, tout en respectant leurs propres caractéristiques.
- S'ils fonctionnent ensemble, le modèle utilisera la marge de manœuvre la plus courte et intégrera les caractéristiques de chacun des modes de gestion : nom des équipements et des RA, disponibilité des RA et les zones de transport à surveiller.
- Enfin, lorsqu'ils fonctionnent en boucle, le modèle présentera un enchaînement répétitif des modes de gestion et de leurs caractéristiques.

La Figure 5.17 montre un exemple de modélisation d'un RSV dont la dégradation serait gérée par l'intermédiaire de plusieurs modes de gestion fonctionnant en boucle. Ce modèle représente le cas présenté en 5.3.3.1, où deux modes de gestion montés en boucle (une batterie et une génératrice à essence) se succédaient pour maintenir le fonctionnement du RSV. La figure montre bien la succession répétitive des deux modes de gestion et les conditions qui doivent être maintenues (zone de transport disponible pour l'essence).

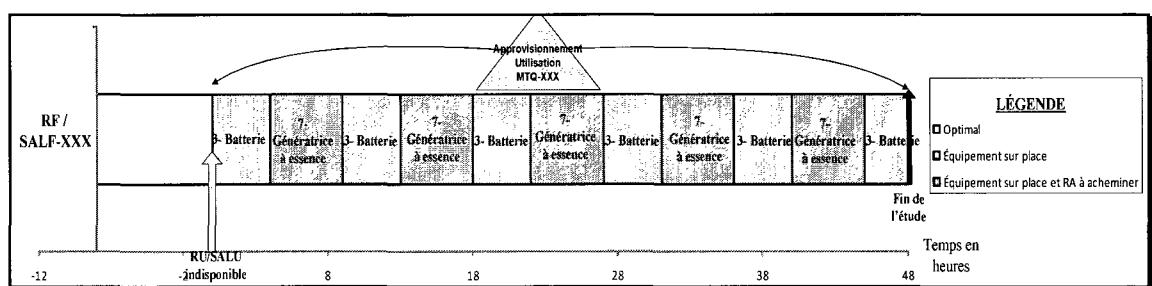


Figure 5.17 – Modélisation d'un enchaînement de modes de gestion en boucle

### **5.3.3.3        *Traitement des ensembles fonctionnels considérant plusieurs RU/SALU indisponibles***

Dans le cas où plusieurs RU/SALU sont défaillantes nous pourrons étudier :

- Les modes de gestion en commun. Il pourrait y avoir un mode de gestion qui gère en même temps la perte de plusieurs ressources. Par exemple, un repli d'activité pourrait être utilisé à cet effet.
- Les modes de gestion mis en place pour la gestion de la dégradation de chacune des ressources.

Si seulement l'indisponibilité d'une des deux ressources est compensée, les dégradations anticipées ne sont plus valables et le cas d'étude devra changer.

Il faut que l'indisponibilité des ressources soit compensée en même temps pour qu'une marge de manœuvre soit dégagée et la dégradation contenue. Lorsqu'un des modes de gestion ne fonctionne plus, les dégradations anticipées ne seront à nouveau plus valables et le cas d'étude changera.

Il est donc important pour les cas de cumul, d'avoir des modes de gestion cohérents qui permettent de gérer l'indisponibilité de l'ensemble des ressources considérées et permettent de dégager sensiblement les mêmes marges de manœuvre. La gestion partielle des dégradations n'assurera pas la continuité des opérations et pourrait créer des conséquences différentes.

### 5.3.3.4 *Dépendances entre les modes de gestion de la dégradation*

Lorsqu'un EF va entrer en défaillance, celle-ci va se propager à d'autres réseaux créant des effets domino. La particularité des effets domino est qu'ils entraînent la dégradation en chaîne de plusieurs RSV. D'après nos études, ces dégradations s'enchaînent sur une courte durée.

Les RSV vont donc mettre en place, pour pallier aux dégradations, des modes de gestion, sur une zone géographique assez concentrée et sur une même période de temps.

L'étude des modes de gestion utilisés pour palier à l'indisponibilité d'une RU/SALU, nous a montré qu'il existe divers types de gestions planifiées, mais aussi, une certaine redondance dans les processus. Ce propos peut être illustré par des exemples simples. Dans le cas d'une pénurie en eau potable, les organisations estiment pour la plupart utiliser de l'eau embouteillée. Dans le cas d'une panne en électricité, une grande partie des organisations ont prévu l'utilisation de génératrices à essence.

Par conséquent, les modes de gestion mis en place pour pallier aux effets domino sur une durée et une zone concentrés peuvent entrer en concurrence. La demande inhabituelle des organisations peut s'avérer supérieure à l'offre. On peut assimiler ce phénomène à des dépendances.

On remarque que les dépendances vont concerner les équipements à acheminer sur place comme des génératrices portatives ou des climatiseurs portatifs et les ressources alternatives à acheminer sur place comme l'essence ou l'eau embouteillée.

La base de connaissances est construite de manière à pouvoir obtenir de l'information, qui permettra d'identifier ces dépendances. L'utilisation des entrées

« *Mode de gestion* », « *Type d'équipement* », « *RA* » et « *Quantité de RA nécessaire* » permettra d'anticiper les dépendances.

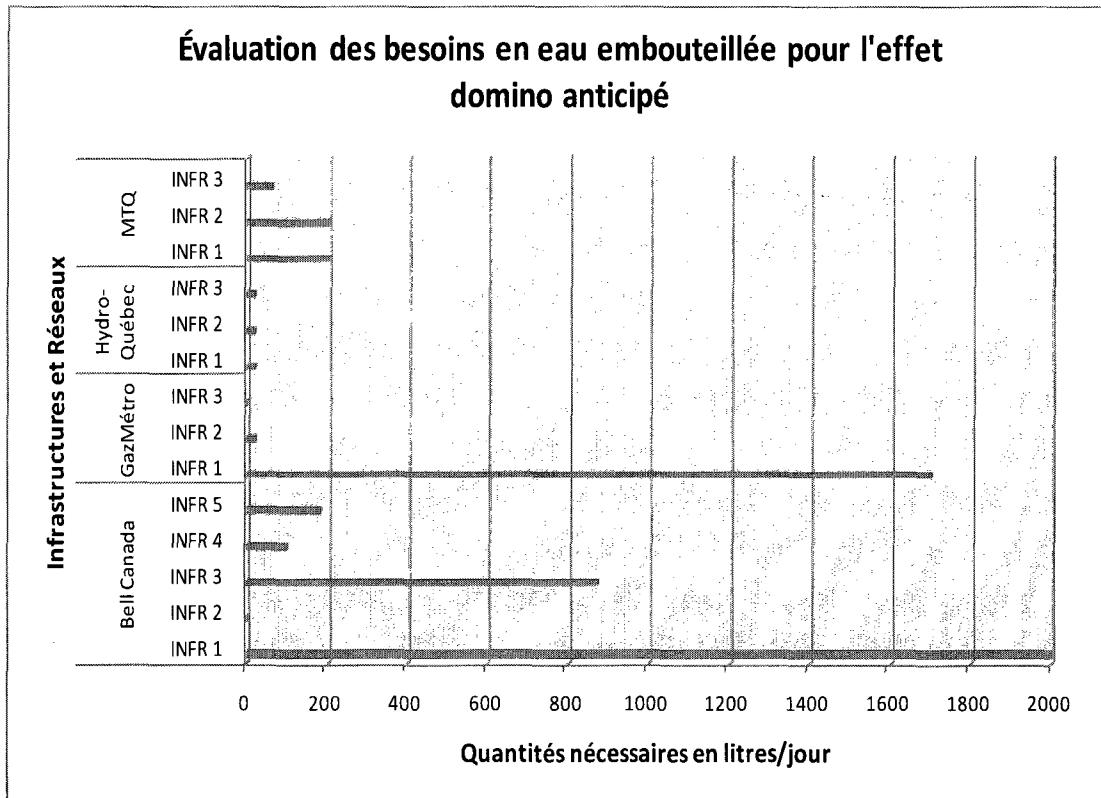
En cas d'effets domino, il faudra donc analyser et mettre en commun les besoins des modes de gestion mis en jeu. La mise en commun des informations permettra de voir si une demande est excessive par rapport à l'offre disponible sur le territoire. L'intérêt de ce volet est d'éviter en temps de crise et lorsque les organisations fonctionnent déjà en mode dégradé d'accroître leur vulnérabilité par des aléas qu'elles n'avaient pas anticipés. Les dépendances entre modes de gestion sont ponctuelles, engendrées par les organisations elles-mêmes et la situation de crise. Or, l'espace de coopération leur donne l'opportunité de travailler de pair et de traiter cet aspect.

Par conséquent, lorsque des dépendances sont identifiées, les organisations au sein de l'espace de coopération devraient travailler ensemble pour adapter et améliorer les processus planifiés. Elles pourraient, par exemple, mettre en œuvre une autre alternative, prévoir un offre supplémentaire réservée aux cas de crises, se rationner l'offre et maintenir seulement les activités critiques à l'intérieur de leur processus, etc.

Enfin, à partir des informations de la base de connaissances, des outils pourraient nous assister dans l'identification des dépendances.

Lors de ses précédents travaux, le CRP avait anticipé cette problématique et initié des travaux sur cet aspect en effectuant des graphiques à barres de besoins cumulés pour certaines ressources jugées redondantes. La

Figure 5.18 est un exemple de diagramme qui avait été réalisé. La notion d'EF n'ayant pas encore été définie, on représente en ordonnée les infrastructures et réseaux considérés pour le cas d'étude. L'axe des abscisses indique les quantités quotidiennes nécessaires. Ce graphique montre la répartition des besoins en eau embouteillée, pour un effet domino anticipé.

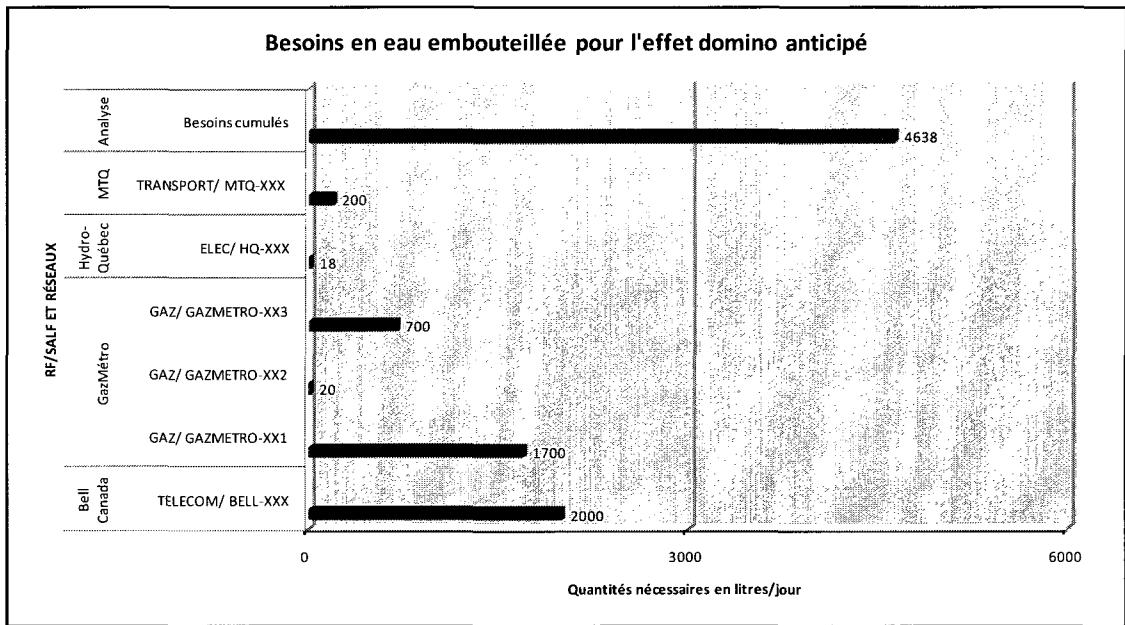


**Figure 5.18 – Évaluation des besoins cumulés en eau embouteillée**

Afin de savoir si des dépendances pourraient avoir lieu, nous devons connaître l’offre quotidienne moyenne pour les ressources ou équipements considérés sur la zone d’étude. Nous remarquons cependant que le graphique ne relate aucun élément de comparaison avec l’offre disponible. Aucun seuil ne nous indique, ce qui serait tolérable pour la zone d’étude. Un travail préalable de recherche de ces informations est donc nécessaire afin que celles-ci soient introduites dans des outils de visualisation.

Pour faciliter l’analyse, nous proposons davantage l’utilisation d’un outil qui permette la visualisation à la fois de la répartition des besoins en ressources ou équipements et les quantités seuils de la zone d’étude par rapport aux besoins cumulés. La Figure 5.19 présente un exemple de graphique qui pourrait être utilisé pour une RA. Dans la partie supérieure « *analyse* », nous pouvons visualiser directement les besoins

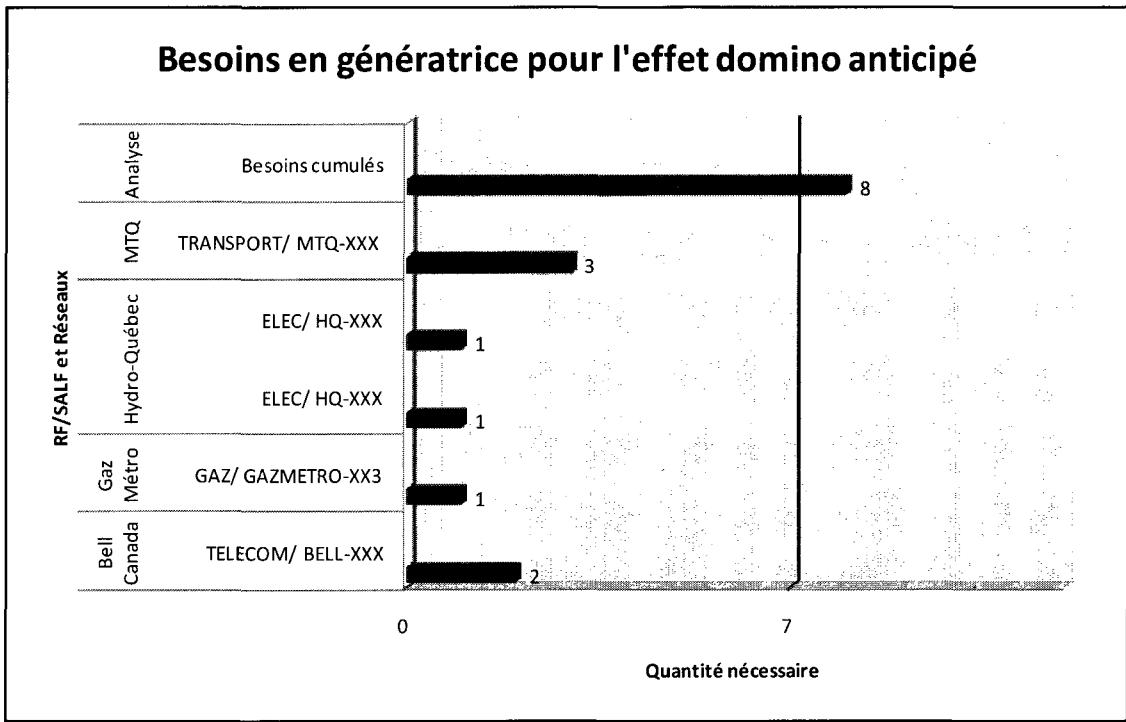
cumulés en eau embouteillée pour l'effet domino anticipé sur la zone d'étude. Les besoins sont comparés avec la valeur seuil estimée à 3000 dans ce cas. La valeur seuil est mise en évidence par la barre verticale. La seconde partie du graphique permet de visualiser la répartition des besoins par réseaux. Nous pouvons visualiser les réseaux qui utiliseraient la RA et quelles sont les missions (RF/SALF) qui utilisent la RA pour se maintenir. La répartition des besoins pourra être utilisée, lorsqu'il s'agira d'adapter les besoins en RA pour diminuer les risques de dépendances.



**Figure 5.19 – Exemple d'outil de visualisation : Analyse des besoins en RA pour un effet domino anticipé**

La

Figure 5.20Figure 5.20 présente un outil de visualisation du même type, mais qui traite des besoins en équipement. Il est construit de la même manière. Sur la figure, nous pouvons étudier la demande en génératrice pour l'effet domino anticipé.



**Figure 5.20 – Exemple d’outil de visualisation : Analyse des besoins en équipement pour un effet domino anticipé**

#### 5.4 Phases d’acquisition des connaissances et intérêts pour la modélisation

Les modélisations de l’état de dégradation des RSV puis des effets domino sont réalisées en fonction des informations qui sont acquises dans la base de connaissances. Dans nos travaux, trois grandes phases d’acquisition des informations ont été conduites. La Figure 5.21, récapitule ces trois grandes phases : l’identification de l’EF, la caractérisation hors mode de gestion (en gestion courante) et la caractérisation des modes de gestion de la dégradation (continuité opérationnelle). Pour chacune d’entre elles, la figure indique quels étaient les objectifs vis-à-vis de l’information à acquérir. Par exemple, pour la phase d’identification de l’EF, les objectifs généraux étaient de déterminer quels EF devraient être analysés, et de formaliser les liens entre les RSV via la relation clients-fournisseurs. Dans un second temps, la figure indique quel est l’intérêt de cette phase dans la modélisation des effets domino. Par exemple, la phase de

caractérisation des modes de gestion permet de modéliser l'état des RSV lorsqu'ils sont en phase de dégradation.

Enfin, la figure met bien en évidence, le cheminement qui permet de définir l'état d'un RSV soumis à des effets domino. Ces trois phases d'acquisitions sont indissociables et complémentaires.

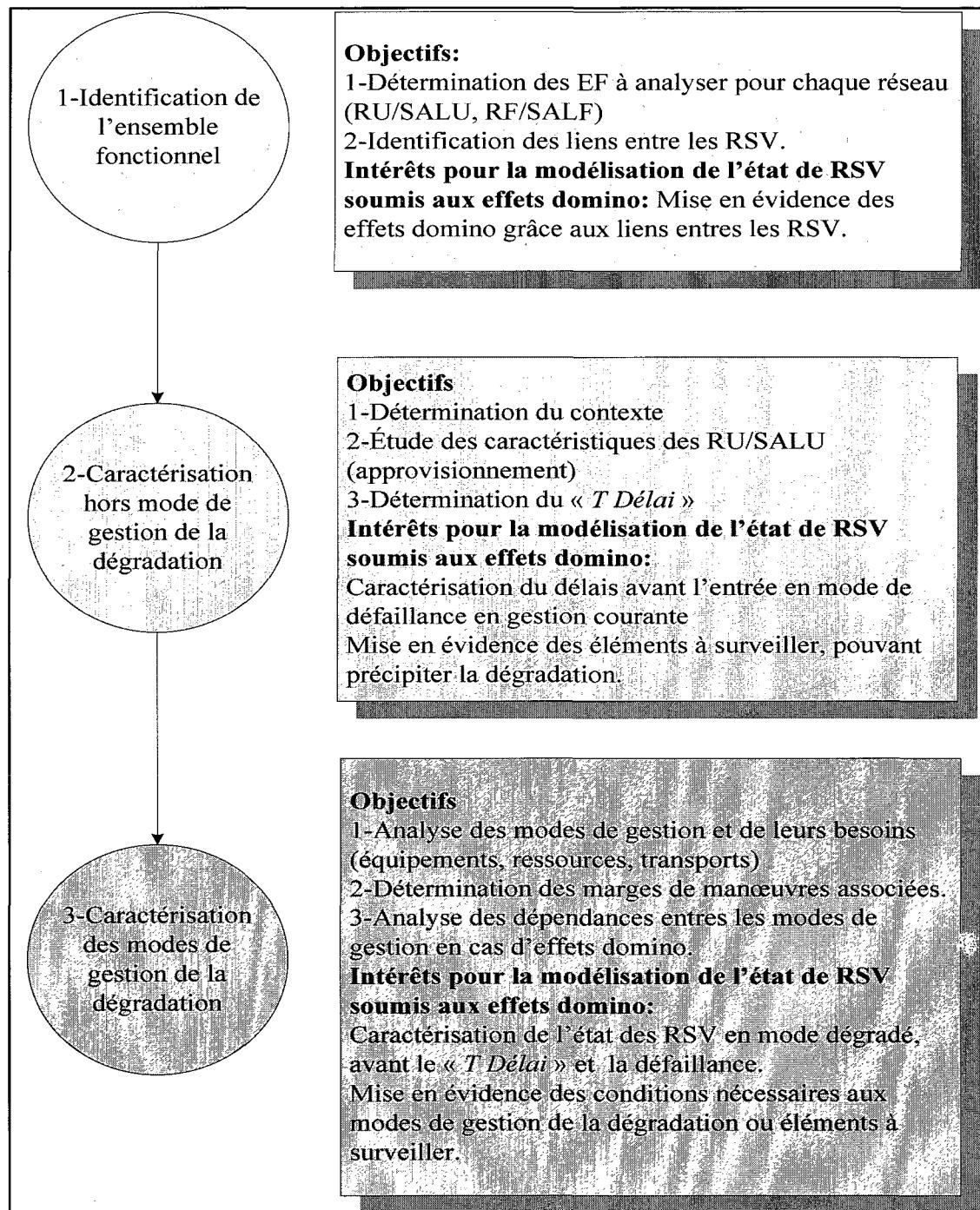


Figure 5.21 – Récapitulatif des phases de détermination de l'état de dégradation des RSV

## 5.5 Validation des résultats

La base de connaissances et sa structuration feront l'objet d'une validation par les experts des RSV. Nous apprécierons leur compréhension des informations et critères retenus afin de modéliser l'état de dégradation des RVS. Nous jugerons également l'applicabilité de la méthode dans l'obtention des informations requises. Plus particulièrement, en ce qui concerne l'estimation des marges de manœuvre et des quantités requises en RA. Nous évaluerons enfin, la pertinence des critères retenus lors de l'application et les éventuelles difficultés rencontrées lors de l'acquisition des données.

La validation des résultats de ces travaux va pouvoir se faire sur le court terme. En effet, un essai de validation est en cours sur le centre-ville de Montréal, à partir des données obtenues dans les travaux précédents du CRP. Dans cet essai, nous intégrerons les nouvelles informations, concernant les réseaux de transport, en cours d'acquisition auprès du Ministère des Transports du Québec. Actuellement, aucune adaptation de la base de connaissances n'a encore été effectuée. L'Annexe D présente trois exemples issus des premières applications de la base de connaissance. Le premier exemple traite des conséquences, de la perte de l'électricité sur un secteur, pour un réseau de télécommunications utilisateur. On peut voir que la mission du réseau de télécommunication serait dégradée. Sa dégradation serait gérée par deux modes de gestion en boucle. Le second exemple traite des conséquences, de la perte de l'électricité sur un secteur, pour un réseau de transports en commun utilisateur. On peut voir que la fonction contrôle de ce réseau serait affectée pour l'ensemble de son service. La dégradation serait gérée par deux modes de gestion consécutifs. Enfin, le troisième exemple traite des conséquences, de la perte de l'eau potable sur un secteur, pour un réseau de transports en commun utilisateur. On peut voir que la fonction contrôle de ce réseau serait dégradée, lorsque l'autonomie maximale fournie par le stockage à l'interne de l'eau potable sera utilisée. La dégradation serait gérée par un seul mode de gestion.

Un second essai de validation vient d'être amorcé avec les réseaux dits dépendants. Le CRP entame actuellement l'application de sa méthode avec les réseaux dépendants localisés sur le territoire de la ville de Montréal. Il sera donc intéressant, de suivre l'évolution de ce nouveau projet afin de valider les résultats de nos travaux.

## 5.6 Applications et utilisations

### 5.6.1 Modélisation de la propagation des effets domino

Grâce à la phase d'identification de la base de données, qui précise l'information sur les divers liens entre les divers EF de chaque réseau, les effets domino peuvent facilement être anticipés et modélisés. Les graphiques à une barre montrant la dégradation dans le temps de l'état de l'EF peuvent être mis en commun sur un graphique global, qui présentera l'évolution de l'ensemble des EF affectés par l'effet domino.

La Figure 5.22 présente un exemple de modèle représentant la propagation d'un effet domino, qui pourrait être réalisé à partir de la base de connaissances que nous avons structurée. Cet exemple illustre la propagation d'une défaillance qui causerait deux effets domino, un effet domino de premier ordre et un effet domino de second ordre.

À T=0, RU/SALU devient indisponible. L'EF qui permet de fournir RF/SALF 1, bénéficie alors d'un délai avant d'entrer en dégradation : l'autonomie maximale de stockage. Ce délai provient de l'approvisionnement « *continu avec stockage* » de la RU/SALU. Puis, des batteries portatives sont prévues par le RSV comme mode de gestion et lui fourniront une marge de manœuvre supplémentaire. Il faudra cependant surveiller la disponibilité des deux zones de transport spécifiées et des équipements utilisées, puisque les batteries doivent être acheminées sur place. Lorsque ces dernières ne compensent plus l'indisponibilité de RU/SALU, le RSV bénéficie d'un court « T

Délai 1» avant d'entrer en défaillance. RF/SALF 1 est alors indisponible, ce phénomène correspond à l'effet domino de 1<sup>er</sup> ordre.

À cet instant, l'EF qui permet de fournir RF/SALF 2, va alors entrer en dégradation. Un mode de gestion utilisant de l'eau embouteillée, déjà sur place, va fournir une marge de manœuvre au RSV. Lorsque le mode de gestion ne compense plus l'indisponibilité de RF/SALF 1, le RSV bénéficiera du « T Délai 2 » estimé par les experts et entrera à son tour en défaillance. RF/SALF 2 sera alors indisponible, provoquant un effet domino de second ordre.

L'EF qui permet de fournir RF/SALF 3 et qui utilise RF/SALF 2 va entrer en dégradation. Un mode de gestion qui utilise une génératrice déjà sur place et de l'essence qui doit être acheminée, est prévu par le RSV et lui fournira une marge de manœuvre supplémentaire. Ce mode de gestion permettra au RSV de maintenir la fourniture de RF/SALF 3 jusqu'à la fin de l'étude de la propagation de l'effet domino anticipé. Cependant, comme l'essence doit être acheminée, il faudra surveiller la disponibilité des zones de transport spécifiées et de la RA (l'essence) pour que le mode de gestion soit maintenu.

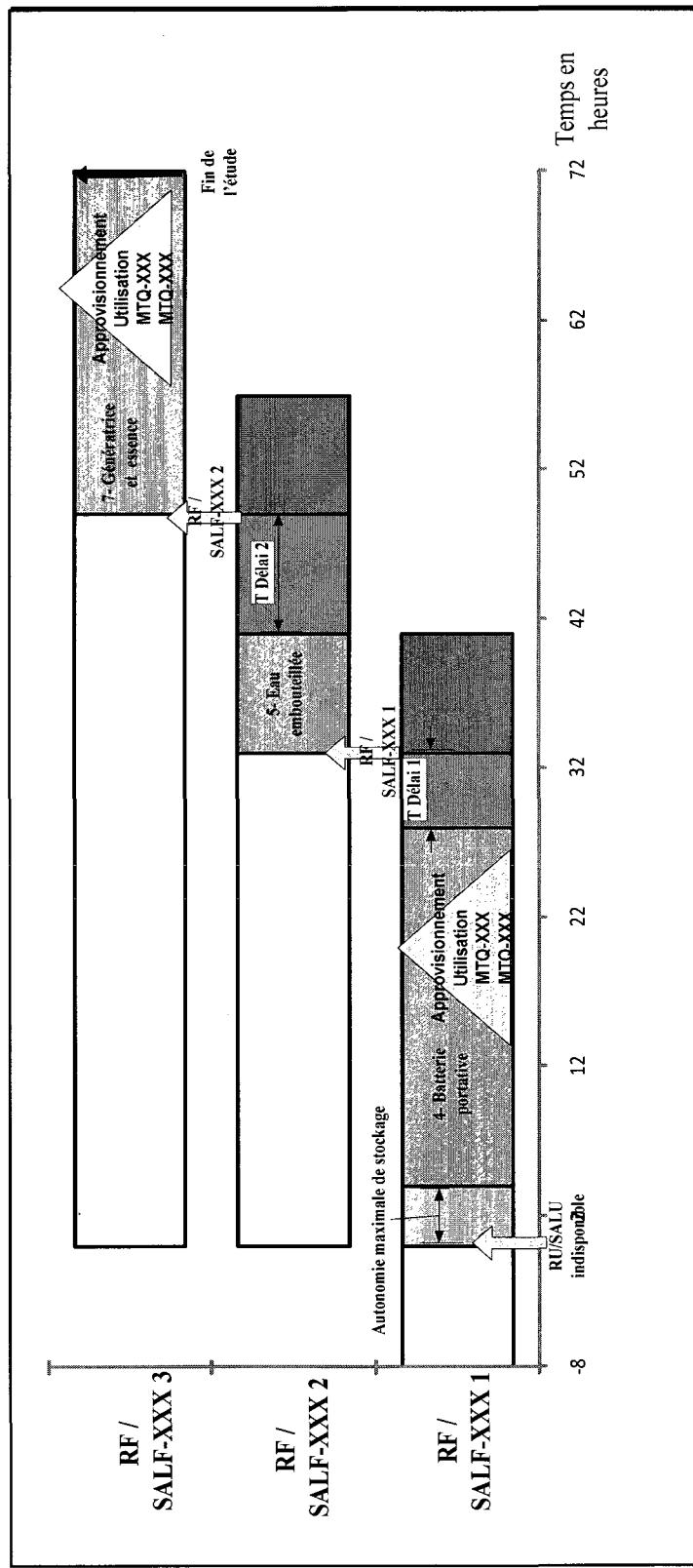


Figure 5.22 – Anticipation et modélisation de l'état d'avancement d'un effet domino

### 5.6.2 Utilisation de la base de connaissances dans un système expert.

La base de connaissances a été conçue et structurée de manière à pouvoir modéliser l'état de dégradation des RSV et les effets domino. Deux défis sont à relever afin d'automatiser la méthodologie.

Une interface doit être créée afin d'obtenir l'information. Elle pourrait être de type questionnaire ou autre, mais elle devra respecter les règles qui nous ont permis de structurer les connaissances. Plus spécifiquement, elle devra respecter les 3 phases d'acquisition de manière chronologique. Dans chaque phase, pour chacun des choix que peut faire l'expert, les informations supplémentaires qui ont été définies devront être demandées.

La modélisation de l'état de dégradation et des effets domino devra également être automatisée à partir des informations de la base de connaissances.

Enfin, une assistance pour entrer les données dans le système expert devra être créée, particulièrement pour guider les experts dans le traitement des cas particuliers que nous avons évoqués.

#### *5.6.2.1 Réflexion sur l'utilisation de ces travaux dans un Système d'alerte précoce : Exigences et défi*

Les précédents travaux de De la Lande de Calan, (2007) initiaient des réflexions sur la création d'outils d'alerte précoce grâce à la modélisation des effets domino entre les RSV. En effet, il affectait aux quatre états des RSV qu'il définissait des couleurs (verte/jaune/orange/rouge) et des caractéristiques, afin de faire un parallèle avec les états d'alerte en mesure d'urgence.

Nous avons approfondi les recherches concernant ces systèmes d'anticipation.

Nous avons cherché à déterminer comment la modélisation des effets domino pourrait être utilisée dans le cadre d'un SAP.

Dans un premier temps, avant de construire un SAP, il est nécessaire de déterminer ses objectifs. Il faut définir qui va gérer cet outil, quelles sont les organisations qui prendront part à la cellule fonctionnelle, à qui s'adressera-t-il et quelles en sont les attentes. La cellule fonctionnelle du SAP regroupe l'ensemble des organisations qui prennent part au SAP et qui participent à la chaîne de communications en cas de pré-alerte.

Dans la revue de littérature, nous avons pu voir qu'un SAP est géré par une organisation chargée de collecter l'information, de l'analyser et de transmettre les messages adéquats. Elle agit comme un coordonnateur. La plupart du temps, ces organisations détiennent une certaine légitimité ou un fort leadership au sein du réseau concerné par le SAP. De plus, elles maîtrisent parfaitement les composantes du SAP, notamment le réseau de communications. Dans nos travaux, nous modélisons les effets domino entre les RSV d'un territoire donné. Nous pouvons donc suggérer qu'un tel outil devrait être géré et coordonné par les instances responsables de la sécurité civile sur ce territoire. Pour être efficace, la cellule fonctionnelle du SAP devra contenir tous les RSV membres de l'espace de coopération, dépendants et interdépendants, du territoire à l'étude. Puisque nous traitons des effets domino, l'absence d'un maillon de la chaîne, particulièrement un RSV interdépendant, peut invalider l'ensemble de nos résultats.

La première composante d'un SAP est la *connaissance du risque*. Il s'agit donc de définir quels sont les données ou les risques sur lesquels le système sera basé. Dans notre cas, nos travaux nous ont conduits, d'une part à déterminer les risques d'effets domino et d'autre part, à connaître l'évolution de l'état de dégradation d'un réseau. Il faut donc définir le niveau de raffinement du SAP. Plus précisément, est-ce que le

système sera basé sur la connaissance approfondie du risque et par conséquent l'évolution de l'état de dégradation des EF, ou bien est-ce qu'il se basera plus largement sur la propagation de la dégradation entre les EF. Un modèle intégrant ces deux considérations pourrait également être mis en œuvre.

La seconde composante du SAP concerne *les éléments à surveiller et critères retenus* qui définissent les niveaux d'alerte. Des critères devraient être déterminés et des seuils doivent être associés à ces critères afin de définir le passage d'un niveau à l'autre. Ces seuils doivent correspondre à différents niveaux de pré-alerte croissants.

Les organisations partenaires du CRP possèdent déjà, à l'interne des SAP. Nous avons donc analysé leurs mécanismes et nous avons relevé certains critères qui pourraient être adaptés à notre problématique :

- *Le temps et l'imminence de la situation d'urgence* : plus l'événement approche, plus le niveau d'alerte augmente.
- *L'ampleur de la mobilisation* :
  - Personnel impliqué : défini en termes de quantité d'employés mobilisés, soit défini en termes de services impliqués, ou encore en termes de maillons hiérarchiques mis à contribution ;
  - Territoire d'intervention : grandeur de la zone affectée.
- *Le niveau de sécurité de l'organisation* (interne et externe) : plus le niveau de sécurité de l'organisation augmente plus le niveau d'alerte augmente. Ceci implique que les organisations aient chacune prédéfini des niveaux de sécurité.

- *Le type d'activités maintenues* : certaines organisations ont une classification à l'interne de leurs activités, qui s'appuient sur leur essentialité pour le réseau.
- *L'ampleur des conséquences* :
  - La défaillance se propage-t-elle hors de l'organisation ? Quel est le nombre de personnes touchées ? En transposant ce critère à notre problématique, on pourrait ici par exemple, traiter du nombre d'EF impliqués dans l'effet domino ;
  - Importance des clients touchés : intégration de la notion de « *clients prioritaires* ».
- *La capacité d'action* : Intégration de la notion de dépassement de la capacité d'action au niveau de la zone gérée et au niveau du processus de gestion.
- *Les signes précurseurs d'urgence* : on peut citer par exemple, la prise en compte du comportement inhabituel des systèmes et du nombre d'infrastructures touchées.

Il ressort des diverses analyses que nous avons conduites concernant les SAP, que la détermination des critères et des niveaux d'alerte est la phase la plus complexe. Le passage d'un niveau d'alerte à l'autre dépend de critères prédéfinis, mais aussi de l'appréciation du gestionnaire responsable. Lors de l'analyse de ces passages, nous remarquons très souvent un certain floue, qui renvoie le gestionnaire à sa propre appréciation de la situation. Une mauvaise appréciation pourrait alors décrédibiliser le SAP. Un effort particulier est essentiel dans cette phase.

Pour notre problématique, nous remarquons tout d'abord que les critères qui seront utilisés sont indépendants de ceux utilisés pour caractériser l'état de dégradation des RSV. Les critères qui apparaissent les plus applicables à notre problématique sont l'ampleur de la mobilisation, l'ampleur des conséquences, l'imminence de la situation et la capacité d'action. Cette liste est non exhaustive et les recherches doivent être approfondies. Pour chacun des critères retenus, des seuils doivent être estimés avec précision, afin de guider au mieux l'appréciation du gestionnaire. De plus, il doit y avoir une cohérence entre les divers critères et seuils mis en place.

L'utilisation et la surveillance de signes dits « *précurseurs* » peuvent favoriser l'anticipation. Des recherches plus approfondies devraient être menées afin de déterminer, dans le cadre des effets domino, quels seraient les signes que nous pourrions considérer.

Les niveaux d'alerte choisis doivent avoir une signification. Des actions coordonnées des partenaires et des communications adaptées à la situation doivent être définies pour chacun des niveaux d'alerte. On peut remarquer qu'en pratique, souvent, les actions et communications vont influencer la détermination des niveaux d'alerte. Concernant nos travaux, par exemple, des mécanismes de pré-alerte pourraient être mis en place afin de prévenir les réseaux de la propagation d'un effet domino.

Durant l'analyse des mécanismes de pré-alerte des partenaires, nous avons pu voir qu'ils possèdent des processus qui déterminent le cheminement de l'information d'urgence à l'intérieur de leur organisation. Ces mécanismes font également intervenir des contacts extérieurs comme le 911 ou encore les conseillers en sécurité civile. L'analyse devrait être approfondie, car de tels processus pourraient être mis à contribution dans les schémas de communications d'un SAP.

Enfin, on peut attribuer aux niveaux d'alerte des codes couleurs et des noms, comme le code de couleurs (vert, jaune, orange et rouge) de la sécurité civile ou les

appellations assez répandues de : vigilance, veille, alerte, intervention. Donner des caractéristiques aux niveaux d'alerte permet une identification rapide de la situation. Cependant, ceci implique que les organisations soient familières avec les codes utilisés. Il est donc important d'utiliser un système démocratique, clair et des plus simples.

Cette analyse nous montre donc que des outils pratiques d'aide à la décision, en matière d'effets domino entre des RSV, peuvent être développés à partir des informations de la base de connaissances que nous avons structurée.

## CHAPITRE 6 : DISCUSSION

Les travaux réalisés ont su répondre à plusieurs exigences et objectifs. La base de connaissances que nous avons structurée est flexible grâce à un élément de base permettant de traiter un grand nombre de cas, tout en respectant les exigences de confidentialité des informations. Ainsi, la base de connaissances ne contient aucun élément confidentiel puisqu'aucune infrastructure n'est nommée ni géoréférencée, à moins que le réseau décide d'identifier particulièrement la présence d'une infrastructure. Grâce à sa flexibilité, la notion d'EF permet également de traiter les cas de cumul de RU/SALU indisponibles qui préoccupaient particulièrement les RSV.

Contrairement aux travaux précédents, qui se concentraient uniquement sur la caractérisation des éléments d'entrée, soit les ressources, l'analyse que nous avons faite est davantage recentrée sur le système, soit le RSV. L'introduction de la notion d'EF et sa caractérisation nous a permis de nous recentrer sur l'état de dégradation du RSV. Cette approche favorise la modélisation de l'état des RSV, qui était notre objectif principal et avantage les applications futures de type système expert et SAP.

Par conséquent, les modèles de représentation de l'état de dégradation des EF que nous avons présentés sont simples et permettent de visualiser facilement l'influence des critères retenus.

De plus, la démarche utilisée pour sélectionner les critères pertinents à la modélisation de l'état de dégradation des RSV est efficiente. L'utilisation de l'expertise des réseaux pour sélectionner l'information permet de surmonter à la fois, les difficultés à comprendre les réseaux et leur fonctionnement pour l'identification des EF mais aussi, à répondre au défi concernant la masse importante d'informations à traiter.

La base de connaissances serait complétée directement par un expert ou un groupe d'experts des RSV, une fois que les modalités d'acquisition et de transformation des connaissances seront définies dans un système expert. Elle permet donc de se diriger vers l'automatisation de la méthode.

L'analyse détaillée des modes de gestion des dégradations des organisations permet de clarifier l'état de fonctionnement des RSV en mode dégradé. Leur divulgation et le traitement dans la base de connaissances permettent également d'identifier leurs répercussions (dépendances entre les modes de gestion) et d'adapter les méthodes de gestion du risque.

Enfin, nous avons pu observer que les dépendances aux réseaux de transport peuvent intervenir à diverses reprises. Elles agissent sur la notion de temps par l'intégration de délais d'approvisionnement, au niveau de l'acheminement en ressources utilisées ou alternatives. Les réseaux de transport peuvent être considérés comme un facteur ponctuel ou un élément à surveiller. Ils n'affectent l'état de dégradation d'un EF que dans le cas où ils sont défaillants et que si des zones de blocage sont créées. Ils agissent de diverses manières sur l'état de dégradation des RSV. Dans le cas des ressources utilisées, ils peuvent précipiter la situation de dégradation alors que dans le cas des modes de gestion, ils vont altérer le fonctionnement en mode dégradé, pouvant même conduire l'EF en mode défaillant. Les zones de blocage peuvent également avoir un impact sur l'accès à des infrastructures. Nous avons identifié cette problématique lors du traitement des modes de gestion et du cas spécifique du « *repli avec un déplacement* ».

Certains aspects sont encore à améliorer et des défis persistent. Ces recherches concernaient uniquement les interdépendances physiques définies en 3.1.2. Cependant, les RSV se trouvent de plus en plus assujettis à des interdépendances de type géographique. Comme elles ne sont pas liées à l'indisponibilité d'une ressource utilisée,

elles ne peuvent pas être identifiées de la même manière dans la base de connaissances. Il serait également intéressant d'analyser, dans ce cas, les critères influençant l'état de dégradation des RSV. Nous pourrions voir si les critères que nous avons définis sont encore valables et si de nouvelles données seraient nécessaires. Des adaptations pourraient s'avérer nécessaires et devraient faire l'objet de nouveaux travaux, afin de traiter cette nouvelle problématique dans la base de connaissances.

Comme indiqué dans la section de validation des résultats en 1.1, les zones de blocage de transport sont en cours d'évaluation. Des critères doivent être choisis pour identifier ces zones. Dans ces travaux, Hémond (2008) soulignait que l'identification de ces zones devait être faite par des experts des réseaux de transport. Il introduisait la possibilité d'utiliser des indicateurs du MTQ, comme le Débit Journalier Moyen Annuel (DJMA) des infrastructures. Les experts devront déterminer les zones vulnérables de leur réseau. Ces zones peuvent être essentielles, car elles assument un débit de circulation significatif. Elles peuvent également constituer des points stratégiques, qui assurent l'accès ou l'approvisionnement de zones critiques. Les possibilités ou non d'itinéraires alternatifs pourraient également être intégrées. Enfin, des démarches similaires pourraient être entreprises pour intégrer les voies de transport maritime, ferroviaire et aérien. Les recherches concernant l'identification des zones de blocage de transport sont bien amorcées et il sera intéressant de suivre l'évolution des futurs travaux, menés en collaboration avec les experts de ces réseaux.

Nous ne connaissons pas encore les résultats sur l'applicabilité de la méthode à des réseaux dépendants et des défis sont à relever. Les EF doivent être identifiés. La constitution des EF nécessite la compréhension du fonctionnement interne des réseaux. Il sera intéressant de voir comment se transpose la notion d'EF dans ces réseaux. Comparativement aux RSV avec lesquels le CRP a déjà collaboré, les réseaux dépendants fournissent davantage des services aux personnes et aux organisations. Il

pourrait y avoir des difficultés à assimiler des services à des ressources essentielles, à identifier les missions de ces réseaux et à identifier les secteurs d'alimentation.

Aussi, nous avons défini dix modes de gestion de la dégradation, dans la 3e phase d'acquisition des connaissances. Cependant, cette liste reste non exhaustive et de nouveaux modes de gestion pourraient apparaître avec l'analyse de ces réseaux.

La dépendance aux réseaux de transport a été traitée sous deux aspects différents dans nos travaux :

- L'approvisionnement en RU/SALU
- L'approvisionnement en RA

Cependant, nos recherches ne traitent pas de la nécessité, en gestion courante (hors mode de gestion de la dégradation), d'avoir un accès maintenu pour des infrastructures. En effet, la problématique de l'accès à une infrastructure a été seulement traitée, dans le cas du « *repli avec déplacement* ». Cependant, si des zones de blocages des RSV de transports ou l'absence de moyen de transport en commun empêche l'accès à une infrastructure, en mode courant, la mission du RSV pourrait entrer en défaillance.

Les limites que nous venons d'identifier sont à la fois dues au cadre de recherche, aux hypothèses de recherche et au manque de connaissances, à l'heure actuelle, concernant les réseaux dépendants. Cependant, ces limites ouvrent la voie à de nouvelles recherches et à des approfondissements qui pourront être menés dans de futurs travaux et permettront d'intégrer de nouvelles particularités à la base de connaissances.

## CHAPITRE 7 : CONCLUSION

Les travaux que nous avons conduits serviront de base aux futurs projets du CRP. Ils traitent des nouvelles orientations que va suivre le Centre dans ses recherches. Les travaux ont su répondre à la problématique et aux objectifs spécifiques de recherche qui étaient proposés.

Nous avons défini un niveau de raffinement à l'étude et introduit un élément de base qui, une fois caractérisé, permet de modéliser l'évolution de l'état d'un RSV, soumis à des effets domino.

La flexibilité de l'élément de base permet de répondre à des problématiques spécifiques : les études de dépendances, la dépendance aux réseaux de transport, le cumul de ressources utilisées indisponibles, la dépendance aux réseaux de transport, l'identification d'une infrastructure en particulier.

Nous avons analysé les raisonnements des experts pour caractériser l'état de dégradation des RSV. Des critères ont pu être retenus et nous avons ainsi relevé le défi relié à la multitude d'informations à traiter. Les critères qui ont été sélectionnés concernent : la ressource utilisée par le RSV, le RSV (ou plus spécifiquement l'EF) et les modes de gestion de la dégradation (continuité opérationnelle).

L'analyse des modes de gestion de la dégradation permet de répondre à la problématique des dépendances entre les modes de gestion. Elle permet de traiter ces dépendances particulières, qui apparaissent lorsque plusieurs organisations mettent à contribution des modes de gestion particuliers sur un espace restreint.

L'influence de chacun de ces critères sur la modélisation de l'état de dégradation a été présentée à l'aide de graphique et appuie les choix de critères qui ont été faits.

L'ensemble des informations à récolter pour chacun des trois éléments a été structuré dans une base de connaissances.

La base de connaissances que nous avons développée est plus complète que celle développée dans les travaux précédents de De La Lande De Calan (2007). Nos travaux ont su relever les principaux défis qu'il avait identifiés et qui, selon lui, devaient faire l'objet de futurs travaux. La base de connaissances structurée a également su adapter et intégrer les recommandations concernant la dépendance aux réseaux de transports. Ces recherches relèvent également les défis majeurs que nous avons mis en évidence dans la littérature, notamment, en ce qui à trait à la compréhension du fonctionnement complexe des RSV et à la détermination d'éléments permettant de mesurer l'état des RSV.

Certains aspects restent cependant encore à traiter. Les règles permettant de définir les zones de blocage des RSV de transport sont à définir. Il serait également nécessaire d'étudier l'influence potentielle sur les autres RSV, des réseaux de transport en mode de gestion courant. Des travaux doivent être entrepris afin d'adapter la base de connaissances, afin qu'elle puisse traiter les interdépendances géographiques. Enfin, l'intégration future des réseaux dépendants dans les projets du CRP nous permettra de déterminer si la notion d'EF est adéquate et facilement transposable.

D'une manière plus générale, la caractérisation de l'état de dégradation des RSV et l'anticipation des effets domino, rends les organisations plus résilientes et proactives. Elle leur permet d'identifier des vulnérabilités qu'elles ne soupçonnaient pas et de mettre en place les modes de gestion adéquats. Elle leur permet d'adapter leurs modes de gestion si nécessaire, notamment dans le cadre de l'espace de coopération.

Plus largement, elle leur permet de prendre en compte leur environnement afin de mieux gérer leurs risques. Au-delà de l'aspect préventif et de la préparation des organisations, dans le cas d'une situation de crise, ces informations peuvent servir d'aide à la décision.

La démarche de modélisation des effets domino, devra, dans un premier temps être automatisée par la mise en place d'un système expert. Ce système devra guider l'acquisition des connaissances selon les règles que nous avons énoncées. Il devra assurer la modélisation de l'état de dégradation d'un RSV et des effets domino entre RSV, en fonction des informations acquises.

La base de connaissances pourra alors être exploitée dans des outils d'aide à la décision. Nous avons introduit, par exemple, la possibilité de l'utiliser dans des SAP. Le CRP a déjà entamé des travaux visant à développer un système expert et un SAP. Des outils devraient donc rapidement être mis en place.

## RÉFÉRENCES

BONNET, A, HATON, J.P & TRUONG-NGOC, J.M. (1986). *Systèmes experts, vers la maîtrise technique*. Paris : InterEditions, 1986.

CANADIAN STANDARD ASSOCIATION (CSA) (2007). *Norme sur les programmes de gestion d'urgence et de continuité des activités*. Conseil canadien des normes (CAN/CSA Z1600).

CANADIAN STANDARD ASSOCIATION (CSA) (1997). *Gestion du risque : Lignes directrices à l'intention des décideurs – norme nationale du Canada*. (CAN/CSA-Q850-97).

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES (2005). *Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, Comité économique et social européen et au Comité des régions - Dispositions de la Commission relatives au système général d'alerte rapide «ARGUS» /\* COM/2005/0662*. Consulté le 25 novembre 2008, tiré de <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52005DC0662:FR:HTML>

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES (2006). *Communication de la commission sur un programme européen de protection des infrastructures critiques COM/2006/786 final*. Consulté le 25 novembre 2008, tiré de :

[http://eurlex.europa.eu/smartapi/cgi/sga\\_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&lg=fr&type\\_d  
oc=COMfinal&an\\_doc=2006&nu\\_doc=786](http://eurlex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&lg=fr&type_doc=COMfinal&an_doc=2006&nu_doc=786)

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES (2005). *Livre vert sur un programme européen de protection des infrastructures critiques COM/2005/576 final.* Consulté le 25 novembre 2008, tiré de :

[http://eurlex.europa.eu/smartapi/cgi/sga\\_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&lg=fr&type\\_doc=COMfinal&an\\_doc=2005&nu\\_doc=576](http://eurlex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&lg=fr&type_doc=COMfinal&an_doc=2005&nu_doc=576)

DAVIS, I., IZADKHAH, Y.O. (2008). *Tsunami early warning system (EWS) and its integration within the chain of seismic safety.* Disaster Prevention and Management, Volume 17, No. 2, pp.281-291

DE LA LANDE DE CALAN, R. (2007). *Modélisation des interdépendances pour identifier et modéliser les effets domino.* M. Sc.A. inédit, École Polytechnique de Montréal, Québec, Canada.

DUFOUR, D., NEAULT, J.M., ROBERT, B. (2009). *Démarche gouvernementale de résilience des systèmes essentiels.* Colloque en Sécurité Civile du Québec 2009. Sécurité civile Québec. Consulté le 28 février 2009, tiré de :

[http://www.msp.gouv.qc.ca/secivile/secivile.asp?txtSection=colloques&txtCategorie=2009&txtSousCategorie=presentation\\_resumes&txtNomAutreFichier=p\\_demarche\\_gouvernementale\\_resilience\\_services\\_essentiels.htm](http://www.msp.gouv.qc.ca/secivile/secivile.asp?txtSection=colloques&txtCategorie=2009&txtSousCategorie=presentation_resumes&txtNomAutreFichier=p_demarche_gouvernementale_resilience_services_essentiels.htm)

FETIARISON M. (2004). *L'intelligence artificielle au service de la gestion des connaissances : Les systèmes experts.* EIVD. Consulté le 5 décembre 2008, tiré de :

<http://ina2.eivd.ch/collaborateurs/nfi/Teaching/PP0304/MF/Rapport-MF.pdf>

GUIHOU, X., LAGADEC, P. et LAGADEC, E. (2006). *Les crises hors cadres et les grands réseaux vitaux – Katrina.* EDF, 30 mars 2006 (France), 34 p. tiré de :

[http://www.patricklagadec.net/fr/pdf/EDF\\_Katrina\\_Rex\\_Faits\\_marquants.pdf](http://www.patricklagadec.net/fr/pdf/EDF_Katrina_Rex_Faits_marquants.pdf)

HEYMAN, D. (2002). *Lessons from the Anthrax Attacks, Implications for U.S. Bioterrorism Preparedness: A Report on a National Forum on Biodefense*. Defense Threat Reduction Agency Report.

HÉMOND. Y. (2008). *Évaluation de la dépendance des réseaux de support à la vie face au réseau routier*. M. Sc.A. inédit, École Polytechnique de Montréal, Québec, Canada.

KJELLÉN, S. (2007). *Survey of EU warning systems*. Krisberedskaps Myndigheten. Consulté le 15 novembre 2008, tiré de :

<http://www.krisberedskapsmyndigheten.se/upload/16369/EU%20warning%20systems.pdf>

LEWIS, T.G. (2006). *Critical Infrastructure Protection in Homeland Security: Defending a Networked Nation*. Hoboken: John Wiley & Sons.

LITTLE, R.G. (2002). *Controlling Cascading Failure: Understanding the Vulnerabilities of Interconnected Infrastructures*. Journal of Urban Technology, Volume 9, Number 1, 1 April 2002, pp. 109-123.

MICHEL-KERJAN, E. (2003). *New Challenges in Critical Infrastructures: a US Perspective*. Cahier du Laboratoire d'Économétrie, n° 2003-004, Avril 2003, Paris, École Polytechnique.

ORGANISATION DES NATIONS UNIES (ONU) (1992). *Déclaration de Rio sur le développement et l'environnement*. La conférence des Nations Unies sur le développement et l'environnement. Rio De Janeiro : Organisation des Nations Unies. Consulté le 10 octobre 2008, tiré de :

<http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=78&Ar>

- OZER, P., DE LONGUEVILLE, F. (2005). *Tsunami en Asie du Sud-Est : retour sur la gestion d'un cataclysme naturel apocalyptique*. Revue européenne de géographie, N° 321, 14 octobre 2005, tiré de : <http://www.cybergeo.eu/index3081.html>
- PETIT, F. (2009). *La vulnérabilité cybernétique des infrastructures essentielles*. Ph.D inédit, École Polytechnique de Montréal, Québec, Canada.
- PAJEON, J.-L. (2008). *Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité d'une MRC face aux ressources essentielles*. M. Sc.A. inédit, École Polytechnique de Montréal, Québec, Canada.
- RINALDI, S. M., PEERENBOOM J. P, KELLY T. K. (2001). *Identifying, understanding, and analyzing critical infrastructure interdependencies*. IEEE Control Systems Magazine, vol. 21, pp. 11-25, 2001.
- RINALDI, S.M. (2004). *Modeling and Simulating Critical Infrastructures and their Interdependencies*. Proceedings of the 37<sup>th</sup> Hawaii International Conference on System Sciences.
- ROBERT, B. (2007). *La vulnérabilité*. Cours Ind6126 – Analyse et Gestion des Risques technologiques, École Polytechnique de Montréal.
- ROBERT, B., DE CALAN, R. et MORABITO, L. (2008). *Modelling interdependencies among critical infrastructures*. International Journal of Critical Infrastructure, vol. 4, n° 4, p. 392-408.
- ROBERT, B., MORABITO, L. (2008). *The operational tools for managing physical interdependencies among critical infrastructures*. International Journal of Critical Infrastructure, Vol. 4, No. 4, p. 353-367.

ROBERT, B., MORABITO, L. et QUENNEVILLE, O. (2007). *The preventive approach to risks related to interdependent infrastructures*. International Journal of Emergency Management, Vol. 4, No. 2, pp.166–182.

ROBERT,B., SENAY, M.H., PLAMONDON, M.E.P, SABOURIN, J.P. (2003). *Caractérisation et hiérarchisation des liens reliant des réseaux de support à la vie*. Sécurité Publique et Protection Civile Canada. Consulté le 9 novembre 2008, tiré de : [http://dsp-psd.tpsgc.gc.ca/collection\\_2008/ps-sp/D82-88-2003F.pdf](http://dsp-psd.tpsgc.gc.ca/collection_2008/ps-sp/D82-88-2003F.pdf)

SÉCURITÉ PUBLIQUE CANADA (SPC) (2006a). *Crise de fièvre aphteuse au Royaume-Uni – Répercussions sur l'infrastructure essentielle : Analyse d'incident*. Sécurité Publique Canada. Consulté le 11 novembre 2008, tiré de :

<http://www.securitepublique.gc.ca/prg/em/fmd-fra.aspx>

SÉCURITÉ PUBLIQUE CANADA (SPC) (2006b). *Panne d'électricité en Ontario et aux États-Unis – Impacts sur les infrastructures essentielles: Analyse d'incident*. Sécurité Publique Canada. Consulté le 11 novembre 2008, tiré de :

<http://www.securitepublique.gc.ca/prg/em/ia06-002-fra.aspx>

SÉCURITÉ PUBLIQUE CANADA (SPC) (2008a). *Aller de l'avant avec la stratégie nationale et le plan d'action pour les infrastructures essentielles*. Sécurité Publique Canada. Consulté le 10 mars 2009, tiré de :

<http://www.securitepublique.gc.ca/prg/em/cip/ fl/nat-strat-critical-infrastructure-fra.pdf>

SÉCURITÉ PUBLIQUE CANADA (SPC) (2008b). *Protection des infrastructures essentielles*. Site Internet de Sécurité publique Canada [en ligne], Canada. Consulté le 17 novembre 2008, tiré de : <http://www.securitepublique.gc.ca/prg/em/cip-fra.aspx>

THE PRESIDENT'S COMMISSION ON CRITICAL INFRASTRUCTURE PROTECTION (1997). *Critical Foundations: Protecting America's Infrastructures: The report of the president's commission on critical infrastructure protection.* United States Government Printing Office 040-000-00699-1, October.

UNITED NATIONS/ INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION (UN/ISDR) (2006). *Développement de système d'alerte précoce: une liste de contrôle.* Troisième conférence internationale sur les systèmes d'alerte précoce, du concept à l'action. Bonn, Allemagne.

UNITED NATIONS/ INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION (UN/ISDR) (2008). *Private Sector Activities in Disaster Risk Reduction : good practices and lessons learned.* Consulté le 12 décembre 2008, tiré de :  
[http://www.preventionweb.net/files/7519\\_PPPgoodpractices.pdf](http://www.preventionweb.net/files/7519_PPPgoodpractices.pdf)

WALLACE, W., MENDONCA, D., LEE, E., MITCHELI, J., CHOW, J. (2001). *Managing disruptions to critical interdependent infrastructures in the context of the 2001 World trade center attack.* Extrait de *Beyond September 11th: An account of post-disaster research*, J. L. Monday, Ed.

WHITE HOUSE (2003). *The National Strategy for the Physical Protection of Critical Infrastructures and Key Assets.* Février 2003, Washington, D.C.

WHITE HOUSE (1998). *The Clinton Administration's Policy on Critical Infrastructure Protection: Presidential Decision Directive 63.* Mai 1998, Washington, D.C.

## ANNEXE A : QUESTIONNAIRE DE CARACTÉRISATION GLOBALE D'UN RÉSEAU

### Objectif du questionnaire :

La caractérisation globale d'un RSV vise à obtenir une idée d'ensemble du RSV analysé, de son mode de fonctionnement et de sa constitution (infrastructures). La caractérisation globale des RSV consiste, pour chaque RSV, à identifier sa mission principale, ses missions secondaires (s'il y a lieu), les fonctions nécessaires à la réalisation de la mission et à identifier les infrastructures typiques nécessaires à la réalisation des fonctions. Les informations recueillies lors de cette phase du projet serviront à définir les limites de la zone d'étude.

### Termes utilisés :

**Fonction** : Grande classe d'activités qui doivent être réalisées pour remplir une mission.

**Fonction critique** : Fonction dont la réalisation affecte directement la fourniture d'une ressource par une entité. La production et le transport d'une ressource sont des exemples de fonctions critiques.

**Fonction importante ou nécessaire** : Fonction dont la réalisation n'affecte pas directement la ressource fournie par une entité. L'administration d'un réseau et le support logistique à un réseau sont des exemples de fonctions de support.

**Infrastructure** : Une infrastructure est un élément physique d'un réseau qui forme son ossature. Une centrale, une usine d'épuration, des conduites et des câbles sont des exemples d'infrastructures.

**Mission :** Raisons d'être d'une entité s'exprimant par la fourniture d'une ressource. Une entité peut avoir une ou plusieurs missions selon qu'elle fournit une ou plusieurs ressources.

**Paramètre de mission :** Un paramètre de mission est une caractéristique mesurable d'une ressource fournie qui doit être respectée afin que la ressource puisse être jugée acceptable pour son utilisation. Par exemple, la pression de l'eau, la tension électrique, etc.

#### **Étapes pour remplir le tableau :**

En vous basant sur les étapes suivantes, remplissez le tableau de la dernière page.

En terme de fourniture de ressource, qu'elle est la mission principale de votre réseau. Autrement dit, qu'elle est la ressource principale qui est fournie par votre réseau.

Votre réseau a-t-il des missions particulières ? C'est-à-dire, fournit-il des ressources autres que la ressource découlant de sa mission principale. Si oui, indiquez qu'elles sont ces ressources particulières.

Pour chaque ressource que vous utilisez, indiquez quels sont les paramètres que vous utilisez pour juger de l'acceptabilité de votre ressource.

Indiquez qu'elles sont les fonctions qui doivent être réalisées pour remplir ces missions.

Pour chacune de ces fonctions, indiquez le type de la fonction : critique ou support.

Indiquez qui est le responsable de chacune de ces fonctions.

Pour chacune des fonctions qui doivent être réalisées pour remplir votre mission, indiquez qu'elles sont les infrastructures typiques nécessaires à leur réalisation.

Pour chacune des infrastructures, indiquez s'il s'agit d'une infrastructure de type maillé, unitaire ou réparti.

Dans le cas des infrastructures de type maillé, indiquez s'il s'agit d'une infrastructure de catégorie primaire, secondaire ou tertiaire.

Pour chacune des catégories, indiquez les paramètres que vous avez considérés pour définir la catégorie et les valeurs qui permettent de les catégoriser.

Si possible, indiquez le nombre total de chacune des infrastructures typiques du réseau.

**Durée de l'exercice :**

Combien de temps avez-vous passé pour remplir le présent formulaire (somme des temps investis par chacune des personnes consultées) ? \_\_\_\_\_ heures\*personnes.

Livrable à la fin de l'étape :

Cette étape doit mener à la réalisation d'une matrice de caractérisation globale de la forme suivante :

Tableau A.1 – Matrice de caractérisation globale d'un RSV

CARACTÉRISATION GLOBALE DU RÉSEAU XYZ						
Mission du RSV			Fonctions		Infrastructures	
Ressource fournie	Paramètres de mission	Énoncé	Type	Responsable	Nom	Type

## **ANNEXE B : QUESTIONNAIRE D'IDENTIFICATION ET DE CARACTÉRISATION DES RESSOURCES EXTERNES UTILISÉES**

### **Objectif du questionnaire :**

L'identification et la caractérisation des ressources externes utilisées permettent de connaître les besoins en ressources provenant des autres réseaux partenaires de l'espace de coopération. L'identification des ressources externes nécessaires au fonctionnement des infrastructures permet d'identifier les interdépendances directes entre réseaux (relations de type client/fournisseur) alors que la caractérisation des ressources permet de caractériser les liens à fin de leur donner une importance relative.

### **Étapes pour remplir le tableau :**

1. Pour chacune des infrastructures identifiées lors de la caractérisation spécifique de votre réseau, indiquer le nom de chacune des ressources externes provenant des autres réseaux partenaires de l'espace de coopération qui sont nécessaires à l'infrastructure.
2. Pour chacun des ressources identifiées, veuillez indiquer le type de la ressource :
  - financière/assurance ;
  - humaine ;
  - information/Donnée ;
  - infrastructure/Équipement ;
  - matière/Énergie/Bien ;
  - service.
3. Pour chacune des ressources, veuillez indiquer à quelle opération la ressource est nécessaire :
  - fonctionnement courant de l'infrastructure ;
  - protection/continuité de service de l'infrastructure.

4. Pour chacune des ressources, veuillez indiquer la rareté de la ressource en fonction de la facilité avec laquelle vous pouvez vous approvisionner en cette ressource en cas de défaillance de votre fournisseur habituel de cette ressource.
5. Pour chacune des ressources, veuillez indiquer la période du besoin en la ressource. Cette période peut être exprimée par une saison, une période de la journée ou de l'année, etc.
6. Pour chacune des ressources, lorsque cela est pertinent, indiquer la quantité de la ressource nécessaire.
7. Pour chacune des ressources, indiquer si vous garder en stock une certaine quantité de la ressource.
8. Pour chacune des ressources que vous conservez en stock, indiquer l'autonomie que vous procure ce stockage par rapport à votre fournisseur habituel.

**Durée de l'exercice :**

Combien de temps avez-vous passé pour remplir le présent formulaire (somme des temps investis par chacune des personnes consultées) ?                  heures\*personnes.

**Contact :**

Nom :

Titre :

Organisation :

Adresse :

Téléphone :

Courriel :

**Merci de votre collaboration !**

Livrables à la fin de l'étape :

1. Matrice d'identification et de caractérisation des ressources externes utilisées :

Tableau B.1 – Matrice d'identification et de caractérisation des ressources externes utilisées par un RSV

IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION DES RESSOURCES EXTERNES UTILISÉES (ZONE ABCD)						
Infrastructure	Ressource	Type	Opération	Rareté	Période du besoin	Quantité nécessaire

**ANNEXE C : ENTRÉE DANS LA BASE DE CONNAISSANCES ET MODÉLISATION DES  
CARACTÉRISTIQUES HORS MODE DE GESTION DE LA DÉGRADATION**

**1- Le Contexte**

Le Tableau C.1 illustre, l'entrée du contexte dans la base de connaissances. Dans l'exemple, l'état de dégradation défini sera valable uniquement pour la période printemps/été. L'expert entrera donc cette information dans l'entrée « *contexte d'utilisation de la ressource utilisée* ».

**Tableau C.1 – Identification dans la base de données d'une ressource utilisée dans un contexte particulier**

<b>CARACTÉRISTIQUES HORS MODE DE GESTION</b>	
contexte d'utilisation de la ressource utilisée	
printemps/été	

Nous pouvons voir sur la Figure C.1 que le contexte est précisé au dessus du modèle comme une condition à l'état de dégradation.

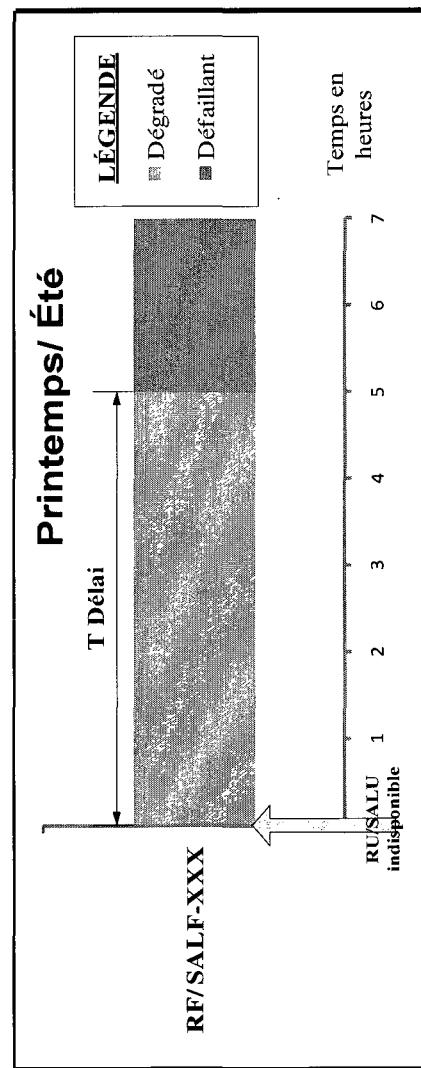


Figure C.1 – Influence du contexte sur la modélisation de l'état du RSV

## 2-L'approvisionnement de RU/SALU

### Approvisionnement « continu »

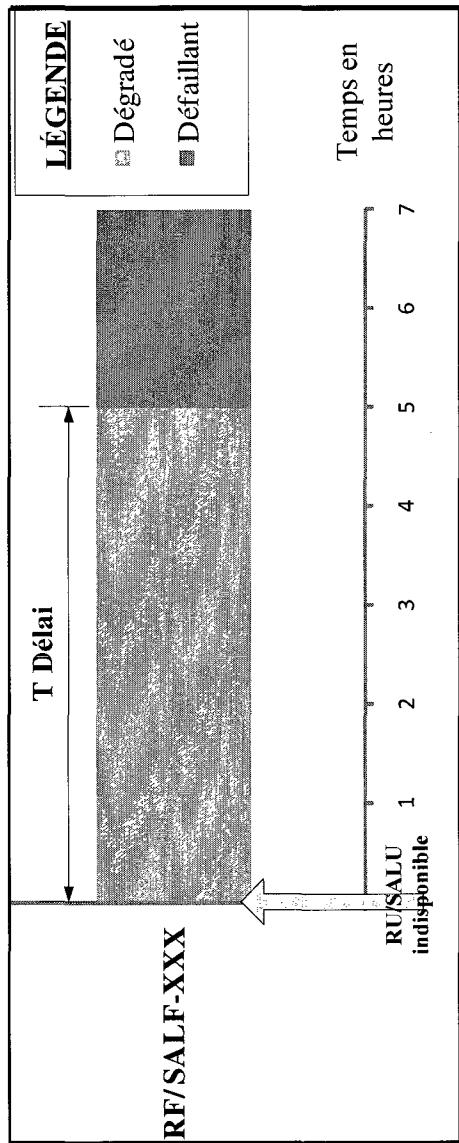
Le Tableau C.2 illustre la caractérisation d'un EF pour lequel la RU/SALU est approvisionnée en continu. L'expert entre seulement la notion « *continu* » dans la caractéristique « *approvisionnement de la ressource du réseau fournisseur* ».

**Tableau C.2 – Caractérisation hors mode de gestion, dans la base de connaissances, d'une RU/SALU approvisionnée en « *continu* »**

<b>CARACTÉRISTIQUES HORS MODE DE GESTION</b>	
	CARACTÉRISTIQUES DE LA RESSOURCE UTILISÉE
contexte d'utilisation de la ressource utilisée	approvisionnement de la ressource du réseau fournisseur
constant	continu

La figure C.2 montre que puisque l'approvisionnement de RU/SALU s'arrête directement (il n'y a pas de stockage).

Le RSV entre directement en état de dégradation lorsque RU/SALU est indisponible, pour la durée du « *T Délai* ».



**Figure C.2 – Influence d'un approvisionnement « continu » de la RU/SALU sur la modélisation de l'état du RSV**

Approvisionnement « continu avec stockage »

Le Tableau C.3 illustre la caractérisation d'un EF pour lequel la RU/SALU est approvisionnée en continu avec un stockage. La notion « continu avec stockage » dans la caractéristique « approvisionnement de la ressource du réseau fournisseur » doit être indiquée par l'expert. De plus, il fournira une estimation en heures de l'autonomie maximale de stockage dans l'entrée suivante.

**Tableau C.3 – Caractérisation hors mode de gestion, dans la base de connaissances, d'une RU/SALU approvisionnée en « continu avec Stockage »**

**CARACTÉRISTIQUES HORS MODE DE GESTION**

CARACTÉRISTIQUES DE LA RESSOURCE UTILISÉE	
d'utilisation de la ressource utilisée	approvisionnement de la ressource du réseau fournisseur
constant	continu avec stockage

Ressource

4 Heures

La Figure C.3 montre que sur le modèle, lorsque RU/SALU est indisponible, le RSV bénéficie directement du délai fournit par le stockage avant d'entrer en dégradation.

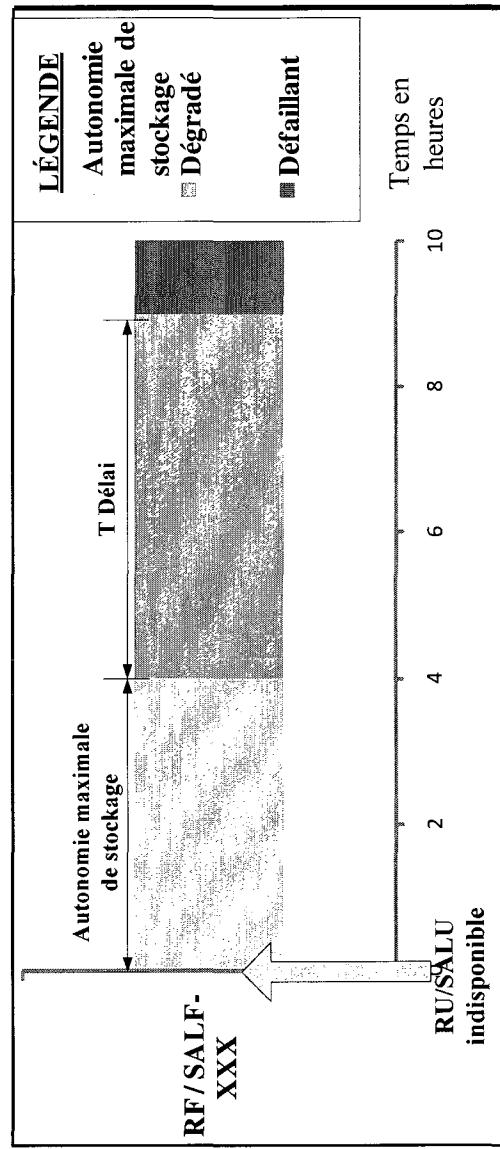


Figure C.3 – Influence d'un approvisionnement « continu avec stockage » de la RU/SALU sur la modélisation de l'état du RSV

#### Approvisionnement « par stockage »

Le Tableau C.4 illustre la caractérisation d'un EF pour lequel la RU/SALU est approvisionnée par stockage. La notion « *par stockage* » dans la caractéristique « *approvisionnement de la ressource du réseau fournisseur* » doit être indiquée. Dans ce cas, l'expert du RSV doit fournir une estimation en heures de l'autonomie maximale de stockage et préciser le mode d'approvisionnement utilisé (routier/ferroviaire/maritime ou aérien). Puisqu'actuellement, seul le mode d'approvisionnement transport est étudié, uniquement si le mode choisit est « *routier* », l'expert devra déterminer si l'approvisionnement en RU/SALU utilise une zone de transport assujettie au blocage. Pour cela, il utilisera la cartographie des zones de blocage du MTQ. L'expert peut identifier une à plusieurs zones potentiellement utilisées, dans l'entrée prévue à cet effet.

**Tableau C.4 – Caractérisation hors mode de gestion, dans la base de connaissances, d'une RU/SALU approvisionnée en « par stockage »**

CARACTÉRISTIQUES HORS MODE DE GESTION			
CARACTÉRISTIQUES DE LA RESSOURCE UTILISÉE			
contexte d'utilisation de la ressource utilisée	autonomie maximale procurée par le stockage de la Ressource	mode d'approvisionnement de la Ressource (RFMA)	zone de transport potentiellement utilisée pour l'approvisionnement de la ressource
constant	par Stockage	4 heures	routier
			MTQ-XXX MTQ-XXX

La Figure C.4 montre que pour un approvisionnement par stockage, les zones de blocage potentielles apparaissent comme des éléments à surveiller dans le modèle, en état optimal (triangle d'avertissement).

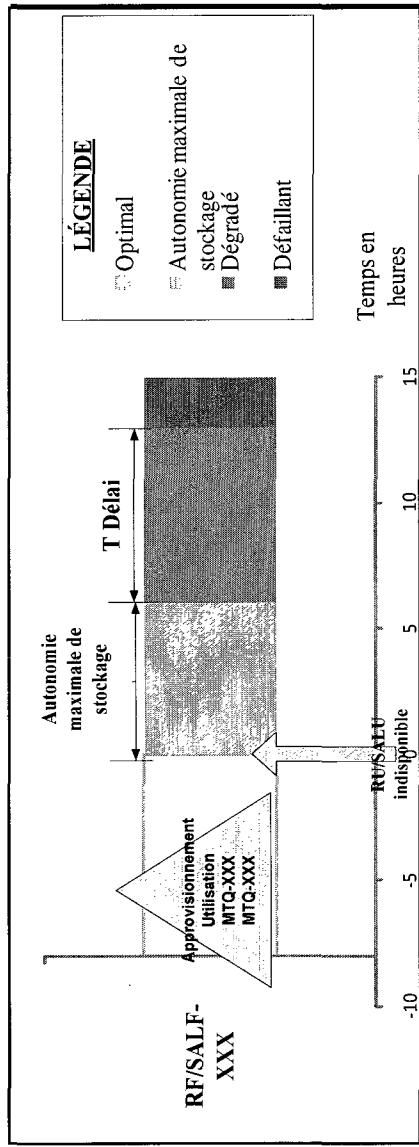


Figure C.4 – Influence d'un approvisionnement « par stockage » de la RU/SALU sur la modélisation de l'état du RSV

### 3-Le « *T Délai* »

Le Tableau C.5 illustre l'entrée dans la base de connaissances du « *T Délai* ». Les experts doivent estimer le temps avant que l'EF soit défaillant lorsque RU/SALU est indisponible, sans qu'aucune autre considération ne soit prise en compte. Une fois estimé, ce délai est indiqué dans l'entrée « *T Délai* ». Dans l'exemple du tableau, après avoir maintenu son fonctionnement grâce au stockage de la RU/SALU indisponible, l'EF se dégradera avant de tomber en défaillance au bout d'un délai supplémentaire de X heures (*T Délai*), selon les estimations des experts.

Tableau C.5 – Caractérisation hors mode de gestion, dans la base de connaissances, du « *T Délai* »

CARACTÉRISTIQUES HORS MODE DE GESTION			
CARACTÉRISTIQUES DE LA RESSOURCE UTILISÉE		T Délai en heures	
contexte d'utilisation de la ressource utilisée	autonomie maximale procurée par le stockage de la Ressource	mode d'approvisionnement de la Ressource (RFMA)	zone de transport potentiellement utilisée pour l'approvisionnement de la ressource
constant	continu avec stockage	4 heures	non applicable

Dans les figures présentées en C.1 à C.4, nous pouvons voir que le « *T Délai* » couvre la zone de dégradation finale du réseau, avant la défaillance. Dans les modèles, Le « *T Délai* » sera toujours cette zone de dégradation finale.

**ANNEXE D : VALIDATION DES RÉSULTATS : EXEMPLE DE BASE DE CONNAISSANCES**

**Tableau D.1 – Exemple de base de connaissances : identification de l'ensemble fonctionnel**

IDENTIFICATION DE L'ENSEMBLE FONCTIONNEL						
	Ressource fournie par le réseau fournisseur	Secteur de fourniture de la ressource fournie	Réseau utilisateur	Ressource fournie par le réseau utilisateur	Infrastructure particulière	Secteur d'affectation
Réseau fournisseur						Fonction importante
Hydro-Québec	Hydro-XXX	Bell	télécommunications	NA	RF indisponible	Bell-26342 NA
Hydro-Québec	Hydro-XXX	AMT	NA	NA	contrôle	AMT-tous NA
Ville de Montréal eau potable	Ville de Montréal-XXX	AMT	NA	NA	contrôle	AMT-tous NA

Tableau D.2 – Exemple de base de connaissances : caractéristiques hors mode de gestion de la dégradation

<b>CARACTÉRISTIQUES HORS MODE DE GESTION DE LA DÉGRADATION</b>					
Contexte d'utilisation de la RU	Approvisionnement de la ressource du réseau fournisseur	Autonomie maximale procurée par le stockage de la RU/SALU	Mode d'approvisionnement	Zone de transport potentiellement utilisée	T Délai
constant	continu	NA	NA	NA	0 heures
constant	continu	NA	NA	NA	0 heures
constant	continu avec stockage	2 heures	NA	NA	4 heures

**Tableau D.3 – Exemple de base de connaissances : caractéristiques des modes de gestion de la dégradation (partie 1)**

Mode de gestion	Type d'équipement	Information sur le premier mode de gestion					Lien entre mode de gestion 1 et mode de gestion 2
		Quantité d'équipement	RA	Quantité de RA nécessaire	Mode d'approvisionnement de la RA	Zone de transport potentiellement utilisée équipement et RA	
3-équipement dédié aux défaillances déjà en place et qui ne nécessite pas de RA	batteries (UPS)	NA	NA	NA	NA	NA	4 heures en boucle
3-équipement dédié aux défaillances déjà en place et qui ne nécessite pas de RA	batteries (UPS)	NA	NA	NA	NA	NA	0,25 heures consécutifs
6-ressource alternative devant être acheminée sur place	NA	NA	eau embouteillée	100 litres/24 heures	routier	MTQ-XXX	>72 heures

Tableau D.4 – Exemple de base de connaissances : caractéristiques des modes de gestion de la dégradation (partie 2)

CARACTÉRISTIQUES DES MODES DE GESTION					
Information sur le second mode de gestion					
Mode de gestion	Type d'équipement	Quantité d'équipement	RA	Quantité de RA nécessaire	Mode d'approvisionnement de la RA
7-équipement dédié aux défaillances déjà en place et qui nécessite des RA à acheminer	génératrice	NA	diesel	3000 litres/heures	routier
1-replis : transfert des activités vers un autre site et ne nécessitant pas de déplacement		NA	NA	NA	MTQ-XXX MTQ-XXX
				NA	70 heures
				NA	>72 heures
				NA	>72 heures
				NA	>72 heures