PolyPublie
Polytechnique Montréal

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL
UNIVERSITÉ D'INGÉNIERIE

Titre: Title:	Système expert de modélisation des effets domino entre réseaux de support à la vie
Auteur: Author:	Romain Pellet
Date:	2009
Type:	Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis
Référence: Citation:	Pellet, R. (2009). Système expert de modélisation des effets domino entre réseaux de support à la vie [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. https://publications.polymtl.ca/203/

Document en libre accès dans PolyPublie
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: PolyPublie URL:	https://publications.polymtl.ca/203/
Directeurs de recherche: Advisors:	Benoît Robert
Programme: Program:	Maîtrise en génie industriel

Ce fichier a été téléchargé à partir de PolyPublie, le dépôt institutionnel de Polytechnique Montréal
This file has been downloaded from PolyPublie, the institutional repository of Polytechnique Montréal

https://publications.polymtl.ca

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

SYSTÈME EXPERT DE MODÉLISATION DES EFFETS DOMINO ENTRE RÉSEAUX DE SUPPORT À LA VIE

ROMAIN PELLET

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION

DU DIPLÔME DE MAITRÎSE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES

(GÉNIE INDUSTRIEL)

DÉCEMBRE 2009

© Romain Pellet, 2009.

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé:

SYSTÈME EXPERT DE MODÉLISATION DES EFFETS DOMINO ENTRE RÉSEAUX DE SUPPORT À LA VIE

présenté par : PELLET Romain

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. TRÉPANIER Martin, ing., Ph.D., président

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

M. SABOURIN Jean-Pierre, Maîtrise, membre

REMERCIEMENTS

Je tiens avant tout à remercier le Dr Benoît Robert de m'avoir accepté et encadré pour travailler sur un important projet dans lequel le *Centre risque & performance* s'est engagé. Sans sa confiance, je n'aurai certainement pas eu l'opportunité d'effectuer une maitrise recherche à l'École Polytechnique de Montréal.

Je tiens à remercier chaleureusement Luciano Morabito avec qui j'ai eu énormément de plaisir à collaborer au sein du *Centre risque & performance*. Tout au long de ma maîtrise, ses connaissances poussées m'ont permis de d'appréhender le contexte dans lequel nous avons travaillé et d'atteindre les objectifs fixés.

Je tiens aussi à remercier les autres membres du *Centre risque & performance* avec qui j'ai eu le plaisir de partager d'agréables moments. Je souhaite remercier en particulier Fred avec qui je suis lié par une passion commune : le rugby et qui a toujours été présent pour commenter nos rencontres sur le terrain et pour me donner de judicieux conseils afin d'avancer mes travaux.

Je n'oublie pas mes collègues et amis avec qui j'ai partagé le même bureau au sein du *Centre risque & performance* et avec qui j'ai passé de très bons moments : Walid, Géraldine, Jean-Yves, William, Valérie et Céline.

Je voudrais aussi remercier les nombreuses personnes que j'ai eu la chance de rencontrer à Montréal, des amis, des colocataires devenus des amis, avec qui j'ai passé des moments inoubliables et qui ont rempli de bonheur ultime ces deux années. Je cite et j'en oublie sûrement : Anja, William, Pierre D., Pierrot L., Fanfan, Alexandre, Vincent, Guillaume, Christophe P., Quentin, Alice, Laure, Mayssa, Marguerite, Michaela, Stéphanie, Alexandra, Véro, Caro, Akua,

Vera, Stephen, Ben, Jason, Juno, Grégoire, Christophe G, Thomas, Aude, Maud, Ben, Mich, Mark, Daniela.…

Je remercie mes parents, mes deux frères, ma sœur et mes amis qui ont toujours été un soutien et à qui je n'ai cessé de penser tout au long de mon séjour au Québec.

Je tiens aussi à remercier le Dr Alberto Teyssedou pour m'avoir encouragé à poursuivre la maitrise recherche à l'École Polytechnique.

Je souhaite, enfin, remercier les membres de mon jury pour le temps précieux qu'ils ont pu m'accorder pour juger mes travaux de recherche.

RÉSUMÉ

Du fait de l'accroissement de la dépendance des sociétés actuelles vis-à-vis des Réseaux de Support à la Vie (RSV), leur vulnérabilité en est que plus importante. En effet, les RSV sont les entités qui fournissent à nos sociétés les ressources essentielles à leur bon fonctionnement (eau, gaz naturel, électricité, liens téléphoniques, etc.), sont fortement interdépendants les uns des autres. Ainsi, lorsque qu'un RSV devient défaillant, il peut entraîner la défaillance d'un autre RSV qui utilise sa ressource ou qui se trouve géographiquement proche de ce dernier. Cela peut alors entraîner la défaillance d'autres réseaux. Cette défaillance en cascade de réseau en réseau est caractéristique d'un Effet Domino (ED) et peut amener à la paralysie totale de l'environnement socio-économique.

Devant la nécessité de protéger les RSV et donc de diminuer la vulnérabilité de nos sociétés et les risques de défaillances associés, il est important d'élargir les connaissances concernant les interdépendances entre les RSV et les ED engendrés. Ainsi, le *Centre risque & performance* (CRP) de l'École Polytechnique de Montréal mène depuis une dizaine d'années des travaux de recherche dans ce domaine. De 2005 à 2008, il a pu développer, à l'aide de multiples partenaires industriels et gouvernementaux, une méthodologie simple et efficace permettant l'identification et l'anticipation des ED entre les RSV. Fort de ce résultat, le CRP mène actuellement un projet de recherche visant le développement d'un Système d'Alerte Précoce (SAP) permettant l'anticipation et la gestion en temps réel des interdépendances entre les RSV.

Les travaux de recherche présentés dans ce mémoire portent sur le développement et la validation d'un outil qui sera intégré dans le SAP : un Système Expert (SE) de modélisation des ED entre les RSV. La méthodologie employée pour développer ce SE est composée de plusieurs tâches distinctes. Dans un premier temps, il est nécessaire de structurer une Base de Connaissances (BC) ou base de données, contenant l'ensemble des connaissances et des expertises concernant les interdépendances et détenues par les experts des RSV. Ensuite, il faut entreprendre l'analyse des besoins exprimés par les futurs utilisateurs du SE, c'est à dire les responsables des RSV et les gestionnaires du Centre de Sécurité Civile (CSC) de la ville de

Montréal et du Bureau de la Sécurité Civile (BSC) de la ville de Québec. Le logiciel MS Access a été choisi comme plateforme informatique pour développer le SE. L'architecture de l'outil a alors été établie, pour ensuite pouvoir développer le SE. Pour finir, une phase de validations du SE a été lancée d'abord à l'interne du CRP puis l'outil a été testé par les partenaires pour s'assurer qu'il corresponde à leurs besoins.

Suite à la phase de tests et de validations, le SE développé a montré des limites attribuables à l'utilisation du logiciel MS Access et notamment à la génération des graphiques ou la création de fonctions complexes. De plus, de nouvelles fonctions ont dues être développées dans le but de mieux répondre aux attentes des usagers relativement à la sécurité des données et à l'expression des dépendances des RSV vis à vis des ressources utilisées.

Pour conclure, le prototype du SE obtenu à l'issue des travaux présentés dans ce mémoire répond, de manière générale, aux besoins exprimés par les utilisateurs futurs. Même si plusieurs améliorations doivent encore lui être apportées, il représente une grande avancée car il correspond à l'architecture de base qui sera utilisée pour bâtir le SE final. Pour atteindre au mieux les objectifs du projet, il est donc nécessaire de continuer à faire tester par les experts des RSV les améliorations apportées au SE afin d'obtenir un produit final répondant parfaitement à leurs besoins.

ABSTRACT

The increasing dependence of our societies towards Lifeline Networks (LN) increases their vulnerability. LN, which are entities that provide to the society the resources essential for their proper functioning (water, gas, electricity, telephone links, etc.), are highly dependent on each other. Thus, when a disturbance affects a LN, this may cause the failure of another LN whether because it uses its resource or because it is geographically located close to it. This can then cause the failure of other networks. These cascading failures are characteristic of a Domino Effect (DE) that could lead to total paralysis of the socio-economic environment.

The necessity of protecting LN and, thus, to reduce the vulnerability of our societies and the associated risks of failure are incentive to expand our knowledge of interdependencies between LN. In this context, the *Centre risque & performance* (CRP) of the École Polytechnique de Montréal has led since a decade important researches in this specific area of study. From 2005 to 2008, the CRP was able to develop, along with multiple industrial and governmental partners, a simple, but yet very effective, methodology for identifying and anticipating DE between LN. Following this result, the CRP is currently conducting a research project aiming at developing an Early Warning System (EWS), allowing real-time management of interdependencies between RSV.

The research presented in this paper focuses on developing and validating an Expert System (ES) which will eventually be integrated as the backbone of the EWS. The methodology used to develop this ES is composed of several distinct tasks. Initially, it is necessary to structure and simplify the Knowledge Base (KB) containing all the knowledge and expertise held by experts of the different LN and necessary to identify and anticipate DE. Then, an analysis of the needs expressed by the eventual users of the ES must undertake. The software MS Access was chosen as the platform for developing the ES. Then, the architecture of the tool was established and the ES was programmed. Finally, a phase of tests and validations of the ES was initiated to ensure that the needs of the future users of the system were satisfied.

Following the validation of the tool, the ES showed few limits. Some of them where due to the limited capacities of MS Access to generate complex graphics or functions. Moreover, it was necessary to develop new features to better meet the expectations of the future users, to increase data security and to better identify the interdependences between LN.

To conclude, the ES prototype obtained after the works presented in this paper meets the overall needs expressed by the users. Although a lot of work has still to be done in order to ensure a proper functioning of the system and a complete satisfaction or the future users, it represents a major advance because it constitutes the basic architecture to be used for the definitive ES. To best achieve the objectives of the project it is necessary to continue to work with the experts of LN to improve the ES.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS iii

RÉSUMÉ v

ABSTRACT vii

TABLE DES MATIÈRES ix

LISTE DES TABLEAUX xii

LISTE DES FIGURES xiii

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS xv

LISTE DES ANNEXES xvi

INTRODUCTION 1

CHAPITRE 1 MISE EN CONTEXTE 9

1.1 Premier projet : février 2005 à février 2008 9

1.2 Deuxième projet : mars 2008 à mars 2012 17

1.2.1 Présentation du deuxième projet 17

1.2.2 Développement et structuration de la base de connaissances 18

1.2.2.1 Détermination des données pertinentes et structuration de la BC 19

1.2.2.2 Récolte des informations pour remplir la BC 22

1.2.2.3 Validation des informations 22

1.2.3 Identification de la problématique 22

CHAPITRE 2 DÉVELOPPEMENT DU SYSTÈME EXPERT 28

2.1 Développement de la base de connaissances 29

2.2 Développement du système expert 30

2.2.1 L'analyse des besoins 30
2.2.2 Le choix de la plateforme informatique 32
2.2.3 Le design du système 33
2.2.3.1 Architecture du système 36
2.2.3.2 Fonctions développées dans le SE 39
2.2.4 La programmation du système 40
2.2.4.1 Saisie et visualisation de données 41
2.2.4.2 Identification des ED du premier ordre 42
2.2.4.3 Identification des ED du second ordre 46
2.2.4.4 Affichage de l'ensemble des ED 48
CHAPITRE 3 TESTS ET VALIDATIONS 52
3.1 Validations à l'interne des résultats obtenus par le SE 52
3.2 Tests effectués auprès des partenaires 56
3.3 Modifications et améliorations apportées au SE suite aux rencontres avec les partenaires 57
3.3.1 Sécuriser l'accès aux données 58
3.3.2 Création de fonctions adaptées aux besoins des RSV 58
3.3.2.1 Restriction de l'accès aux données pour le CSC 59
3.3.2.2 Nouvelles fonctions adaptées aux besoins des responsables des RSV 61
3.4 Difficultés rencontrées 62
3.4.1 Génération de graphiques dynamiques 62
3.4.2 Autres problèmes identifiés 64
CHAPITRE 4 DISCUSSION 65

4.1 Fiabilité de l'outil 65

4.2 Recommandations 66

CONCLUSION 69

RÉFÉRENCES 73

ANNEXES 81

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Différents états indiquant le niveau de dégradation d'un RSV 15

Tableau A.1 : Identification de la ressource utilisée (Adapté de Guichardet, 2009) 81

Tableau A.2 : Identification de l'ensemble fonctionnel (Adapté de Guichardet, 2009) 81

Tableau A.3 : Identification du premier mode de gestion de la défaillance (Adapté de Guichardet, 2009) 81

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Environnement socio-économique de la ville de Montréal, découpé en secteurs 13

Figure 1.2 : Exemple de courbes de dépendances....16

Figure 1.3 : Exemple de courbes d'effets domino 17

Figure 1.4 : Outil de visualisation : analyse des besoins en RA pour un effet domino anticipé 21

Figure 1.5 : Concept de base d'un système expert....25

Figure 1.6 : Développement d'un système expert....26

Figure 2.1 : Aperçu général de la structure du logiciel MS Access - Modèle relationnel de données....35

Figure 2.2 : Liens entre les tables constituant le système expert sous MS Access....37

Figure 2.3 : Aperçu du mode tableau détaillé de la base de connaissances 39

Figure 2.4 : Architecture de la requête permettant de sélectionner et d'afficher les ED du premier ordre....44

Figure 2.5 : Courbes de dépendances montrant les ED du premier ordre suite à une défaillance du réseau d'eau dans un secteur 46

Figure 2.6 : Courbes de dépendances montrant les ED du deuxième ordre suite à une défaillance des liens téléphoniques après un ED du premier ordre....48

Figure 2.7 : Courbes de dépendances montrant les ED du premier ordre et ceux du deuxième ordre....50

Figure 3.1 : Exemple de courbes d'effets domino (cf.figure 1.3)....53

Figure 3.2 : Courbes de dépendances montrant les ED du premier ordre et ceux du deuxième ordre (cf. figure 2.7)....53

Figure B.1 : Interface initiale pour tous les utilisateurs avec accès à l'ensemble des fonctions ...82

Figure B.2 : Sections A et B du formulaire de saisie de données se rapportant à un RSV.....83

Figure B.3 : Section C du formulaire de saisie de données se rapportant à un RSV.....84

Figure B.4 : Section D du formulaire de saisie de données se rapportant à un RSV 85

Figure B.5 : Formulaire permettant de visualiser les infrastructures utilisant une ressource dans un secteur.....86

Figure B.6 : Feuille de données des ED du premier ordre 87

Figure B.7 : Requête « union » sous forme SQL pour sélectionner les ED du premier et du deuxième ordre.....87

Figure C.1 : Interface pour choisir l'identité de l'utilisateur. 88

Figure C.2 : Saisie du mot de passe pour l'utilisateur correspondant pour qu'il accède aux données et fonctions qui lui sont réservées.....88

Figure C.3 : Choix des fonctions pour le gestionnaire du CSC et du BSC 89

Figure C.4 : Choix des fonctions pour l'expert d'un RSV (Hydro-Québec).....89

Figure C.5 : Analyse des ED du premier ordre suite à la défaillance de l'eau de service 90

Figure C.6 : Analyse des ED du deuxième ordre suite à la défaillance des liens téléphoniques ...90

Figure C.7 : Analyse de l'ensemble des ED concernant les actions à prendre.....91

Figure C.8 : Analyse de l'ensemble des RD concernant les ressources alternative.....91

Figure C.9 : Graphique représentant les besoins en ressources alternatives.....92

Figure C.10 : Formulaire de saisie des informations relatives à un seul réseau 92

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

BC	Base de Connaissances
BSC	Bureau de Sécurité Civile (Ville de Québec)
CRP	*Centre risque & performance*
CSC	Centre de Sécurité Civile (Ville de Montréal)
ED	Effet Domino
EF	Ensemble Fonctionnel
IE	Infrastructure Essentielle
RA	Ressource Alternative
RF	Ressource Fournie
RSV	Réseau de Support à la Vie
RU	Ressource Utilisée
Sal	Secteur d'alimentation
SAP	Système d'Alerte Précoce
SE	Système Expert
UE	Union Européenne

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A – BASE DE CONNAISSANCES 81

ANNEXE B – INTERFACE DU SYSTÈME EXPERT INITIAL 82

ANNEXE C – INTERFACE DU SYSTÈME EXPERT AVEC LES MODIFICATIONS 88

INTRODUCTION

Toute société industrialisée utilise des ressources fournies par différentes entités pour s'assurer un bon fonctionnement à tous les niveaux. De même, ces entités utilisent d'autres ressources fournies par d'autres entités. Il existe donc, au sein de ces entités, une forte interdépendance vis à vis des ressources échangées qui rendent ces entités très vulnérables aux défaillances en cascade, communément appelés les Effets Domino (ED).

Parmi ces entités, les Réseaux de Support à la Vie (RSV), sont celles qui fournissent à la société les ressources dites essentielles : l'énergie, l'eau potable, les télécommunications, etc. (The President's Commission on Critical Infrastructure Protection [PCCIP], 1997 ; Sécurité Publique Canada [SPC], 2004). Au Canada, les Infrastructures Essentielles (IE) sont regroupées en 10 grandes catégories (Bureau de la Protection des Infrastructures Essentielles et de la Protection Civile [BPIEPC], 2003) :

1. L'énergie et les services publics ;
2. Les communications et les technologies de l'information ;
3. Les finances ;
4. Les soins de santé ;
5. Les aliments ;
6. L'eau ;
7. Les transports ;
8. La sécurité ;
9. Le gouvernement ;
10. La fabrication.

La protection des RSV est devenue l'une des préoccupations majeures de nos gouvernements. Leur protection soulève de nombreux défis et concerne à la fois les organisations publiques et les organisations privées qui en sont souvent propriétaires. De nombreuses catastrophes de grande envergure ont montré que les RSV sont de plus en plus vulnérables mais surtout que

leur défaillance entraîne des conséquences de plus en plus importantes sur les activités socio-économiques, l'environnement et la population.

Au Québec, la tempête de verglas du 5 au 8 janvier 1998 a mis à rude épreuve le réseau de télécommunications de manière directe mais aussi par l'intermédiaire de la défaillance du réseau de distribution d'électricité. Les pannes d'électricité ont aussi entraîné des problèmes au niveau de la production et de la distribution d'eau faisant craindre, pour la Ville de Montréal, de sa capacité à fournir de l'eau potable pour la population et pour les besoins relatifs à la protection contre les incendies. Des perturbations majeures au niveau du réseau des transports ont également rendu la circulation très difficile autant pour les citoyens que pour les services d'urgence dont les unités d'intervention avaient été déployées pour rétablir le réseau électrique. (Nicolet *et al*., 1999). La crise du verglas aura causé 28 décès et aura entrainé des pertes à court terme de 1,6 milliard de dollars pour l'économie canadienne (Radio Canada, 2008 ; Lecomte *et al.*, 1998). Cet événement démontre la vulnérabilité de l'ensemble des RSV face aux interdépendances et comment la défaillance d'un seul réseau peut entraîner la défaillance de tous les réseaux utilisant la ressource qu'il fournit pour fonctionner de manière adéquate.

Le *black out* du 14 août 2003 a été un autre évènement permettant d'illustrer la vulnérabilité des RSV face aux ED. Cette panne électrique a touché quelque 50 millions de personnes et entraîné la perte de 61 800 MW d'électricité. Huit états américains ainsi que la province canadienne de l'Ontario ont été affectés. Dans certaines parties des États-Unis, il a fallu près de quatre jours pour rétablir le courant. Certaines zones de l'Ontario ont connu des pannes consécutives pendant plus d'une semaine avant que la situation ne revienne entièrement à la normale. En tout, la panne aura coûté entre 4 et 10 milliards de dollars américains aux États-Unis. Du côté canadien, on comptera une perte nette de 18,9 millions d'heures de travail. L'expédition de produits manufacturé aura baissé de 2,3 milliards de dollars à cette période (Groupe de travail États-Unis-Canada sur la panne de courant, 2004 ; SPC, 2006). En septembre 2003, un *black out* similaire privait d'électricité 55 millions de personnes en Italie pendant environ 3 heures occasionnant le décès de 4 personnes. Plus récemment, en novembre 2006, un *black out* frappait l'Europe de l'Ouest (l'Allemagne, la France, l'Italie, l'Espagne, le Portugal, la Belgique, la Croatie, l'Autriche, la Slovénie et le Luxembourg, mais aussi, dans une moindre

mesure, les Pays-Bas et la Suisse) privant près de 15 millions d'usagers d'électricité pendant près de 2 heures (Commission de régulation de l'énergie, 2007).

La vulnérabilité des RSV se vérifie aussi bien pour des évènements majeurs pour lesquels l'homme est le seul responsable que pour des catastrophes naturelles.

L'épidémie de grippe A (H1N1), en 2009, a été classé par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) comme étant une pandémie mondiale. Plus d'un demi-million de personnes ont déjà été infectées par le virus et plus de 6000 personnes en sont décédées (World Health Organisation, 2009). Ainsi, les gouvernements des différents pays ont été obligés de prendre des mesures de prévention et de protection afin d'éviter que le virus ne continue de se propager. Tous les secteurs de la société ont été affectés, particulièrement celui de la santé, mais aussi celui des autres RSV en raison de l'absentéisme anormalement élevé qui contribue à rendre ces infrastructures plus vulnérables. Ainsi, selon le Fond Monétaire International (FMI), l'absentéisme dans les entreprises pourrait provoquer au niveau mondial une perte de plusieurs centaines de milliards de dollars (Trends.be, 2009).

De nombreux autres évènements comme les attentats au World Trade Center en septembre 2001, l'ouragan Katrina en Août 2005 ou récemment les pannes électriques au Brésil en novembre 2009, ont tous été des évènements déclencheurs d'ED importants ayant eu des conséquences néfastes sur la population.

Ainsi, dans tous les pays industrialisés, des efforts sont entrepris pour réduire autant que possible la vulnérabilité des RSV et accroître leur résilience afin de les rendre moins sujettes aux défaillances et de diminuer les conséquences de ces défaillances sur la société.

L'Union Européenne (UE) a identifié les dysfonctionnements dans ses processus de coordination et d'intervention suite au tsunami qui a dévasté l'Asie du Sud-Est en décembre 2004. Alors, il a été entrepris une réforme du système général d'alerte rapide dénommé ARGUS et de gestion des crises. Ensuite, un livre vert a été publié en novembre 2005 par la commission des communautés européennes (Commission des Communautés Européennes, 2005). Son but est d'identifier les RSV critiques au niveau de l'UE. Pour atteindre une efficacité maximale dans le processus d'identification, l'UE a mis l'accent sur le développement de partenariats entre les

états membres afin de traiter au mieux les cas de dépendances (Commission des Communautés Européennes, 2006).

Au Canada, suite à une volonté d'élaborer une stratégie nationale et un plan d'action visant à rendre les RSV moins vulnérables (SPC, 2008), le gouvernement du Québec, par l'intermédiaire de l'Organisation de Sécurité Civile du Québec (OSCQ), a adopté en février 2009 une démarche gouvernementale visant à accroitre la résilience des RSV. L'objectif est de mettre en place une méthode permettant l'analyse des risques pour l'ensemble des aléas pouvant affecter les RSV et qui intègre l'influence des liens entre ces réseaux. Cette démarche est actuellement en cours d'application par l'ensemble des ministères du Québec avec une approche par tables sectorielles (Dufour, Neault et Robert, 2009).

Ces différentes mesures, prises suite à des catastrophes ayant des causes aussi bien naturelles, humaines ou technologiques, mettent en avant la tendance actuelle qui est de mieux identifier puis de mieux protéger les RSV, éléments indispensables au bon fonctionnement des sociétés actuelles.

Pour réduire les risques auxquels sont exposés les RSV, des mesures de protection ainsi que des modes de gestion en cas de défaillances ont déjà été mis en place. Mais, au regard des différentes catastrophes, l'analyse des risques se complexifie car il est nécessaire de concevoir les RSV comme appartenant à un environnement et comme étant reliés entre eux. Cela implique donc de modifier ou de mettre en place de nouveaux modes de gestion. Souvent, ces derniers amènent les RSV à utiliser des ressources dites «alternatives » (RA) : ce sont les ressources utilisées à la place d'une ressource devenue indisponible pour faire fonctionner les équipements qui vont permettre aux RSV de continuer de remplir leur mission. La participation des RSV est nécessaire pour avoir à la fois une connaissance maximale des risques et pour mettre en place des mesures d'atténuation efficaces.

C'est pourquoi les travaux du *Centre risque & performance* (CRP) de l'École Polytechnique de Montréal portent sur l'étude des interdépendances entre ces réseaux et sur l'intégration des risques et des conséquences dans l'évaluation de la performance des RSV. La problématique des interdépendances entre les RSV est importante car, comme il a été démontré précédemment, la

défaillance d'une seule infrastructure d'un RSV peut entraîner un ED imprévisible ayant de graves conséquences pour la société (PCCIP, 1997 ; SPC, 2004). D'où l'importance de s'attarder à cette problématique encore peu comprise.

Il existe quatre types majeurs d'interdépendances entre les RSV (Rinaldi, Peerenboom and Kelly 2001 ; Robert and Morabito, 2008) :

- Les interdépendances fonctionnelles (ou physiques) sont dues aux échanges de ressources entre les RSV ;
- Les interdépendances géographiques sont dues à la proximité géographique des infrastructures ;
- Les interdépendances cybernétiques sont dues aux transferts de données entre les RSV ;
- Les interdépendances logiques sont dues aux réalités conjoncturelles issues des politiques, des marchés financiers, etc.

En répondant à un premier appel de proposition dans le cadre du Programme Conjoint de Recherche sur les Interdépendances relatives aux Infrastructures (PCRII), de février 2005 à février 2008, le CRP a pu développer une méthodologie permettant d'évaluer les interdépendances fonctionnelles et géographiques entre les RSV (Robert et Morabito, 2009a). Cette dernière est basée sur une approche par conséquences : lorsqu'un RSV défaillant ne parvient plus à fournir sa ressource, il peut alors affecter directement ou indirectement les utilisateurs de cette ressource. La notion de conséquences correspond à l'évaluation des effets de la dégradation ou de l'indisponibilité d'une ressource fournie sur les utilisateurs de cette ressource. On ne s'intéresse donc pas aux causes ayant pu mener à la dégradation de la ressource, mais uniquement aux conséquences sur les usagers. De plus, comme l'état d'un RSV et les conséquences dans un environnement socio-économique varient dans le temps, il est important de prendre en compte et d'intégrer le facteur « temps » dans le concept du risque.

Concernant les interdépendances fonctionnelles, la méthodologie montre qu'il est toujours possible de les étudier en utilisant une approche basée sur l'échange de ressources entre les

RSV tout en ciblant une zone géographique précise. Il s'agit d'une analyse des relations de type client/fournisseur qui vise à étudier les conséquences de l'indisponibilité d'une ressource sur le fonctionnement des RSV et sur leur capacité à fournir leur propre ressource. L'application de cette méthodologie dans le contexte de la gestion des indépendances fonctionnelles amène à la création de trois outils :

- Les courbes de dépendances permettent d'afficher, pour un secteur donné (zone géographique correspondant à un découpage de la zone d'étude en parcelles d'aire égale) ou une zone d'alimentation (zone géographique correspondant à la superficie dans laquelle un RSV fournit une ressource grâce à une infrastructure de son réseau), la dépendance des RSV par rapport à une ressource ;
- Les courbes des besoins en RA présentent, pour un secteur ou une zone d'alimentation de la zone d'étude, les besoins en RA des infrastructures qui y sont présentes ;
- Les courbes d'ED permettent de visualiser les ED indésirables et la propagation des défaillances potentielles lorsqu'une ressource est indisponible dans un secteur ou une zone d'alimentation de la zone d'étude.

Concernant les interdépendances géographiques, il est possible de les étudier en considérant les vulnérabilités des infrastructures des réseaux face aux défaillances des infrastructures des autres réseaux. Mais, il est important de remarquer que les interdépendances géographiques correspondent aussi à des évènements déclencheurs d'interdépendances fonctionnelles. En effet, lorsqu'un RSV est affecté par une interdépendance géographique, cela implique que son fonctionnement sera dégradé et donc, que la ressource fournie par ce réseau sera aussi probablement dégradée. Par exemple, lorsqu'une conduite d'eau cède, l'eau qui s'en échappe ou même l'impact causé par le bris, peut engendrer des interdépendances géographiques localement (par exemple, cela peut endommager la chaussé au-dessus de la conduite ou des câbles électriques ou de télécommunications enfouis ou même créer une inondation localement). Dans ces cas cités en exemple, le bris de la conduite d'eau engendre également des interdépendances fonctionnelles en privant d'eau les utilisateurs physiquement relié à cette

conduite d'eau mais aussi ceux utilisant la chaussée, l'électricité ou les liens de télécommunications endommagés (Robert and Morabito, 2010a).

Ainsi, il est primordial de déterminer des secteurs dits « critiques » que les responsables des RSV doivent surveiller en particulier dès qu'une défaillance survient à l'un des RSV situés dans un de ces secteurs. Une cartographie des secteurs critiques peut alors être obtenue pour repérer visuellement si une zone peut-être un déclencheur d'interdépendances géographiques.

Grâce à ces différents outils de représentation, il est possible d'identifier, de caractériser et de hiérarchiser les interdépendances entre les RSV. Cela a ouvert la voie à des études plus poussées visant la modélisation des ED entre les RSV.

Suite aux résultats obtenus à la fin du premier projet, le CRP a décidé de s'engager dans un nouveau projet d'une durée de quatre ans et dont le but final est la modélisation des ED entre les RSV et la création d'un Système d'Alerte Précoce (SAP) permettant la gestion des interdépendances entre les RSV. Les travaux de développement et de validation de la démarche se font à la fois sur l'île de Montréal et à la ville de Québec. Plusieurs partenaires industriels (publics et privés) et gouvernementaux sont impliqués dans ce projet de grande envergure qui vise trois objectifs principaux :

- La modélisation des ED entre les RSV ;
- La création d'un (SAP) permettant la gestion des interdépendances entre les RSV ;
- La systématisation d'une approche visant la gestion de l'atténuation de la vulnérabilité des RSV face aux ED.

Les travaux présentés dans ce mémoire porteront uniquement sur le premier objectif de ce projet qui est la modélisation des ED entre les RSV à l'aide d'un Système Expert (SE).

Il est important d'aborder ces travaux de développement du SE dans l'optique qu'il sera ensuite intégré dans un SAP, conformément au deuxième objectif du projet. En effet, un SAP est un outil de veille, d'alerte et de communication dont l'objectif est d'accroître la capacité de réponse des intervenants en situation d'urgence (United Nations/ International Strategy for Disaster Reduction [UN/ISDR], 2006). Cela permet donc une anticipation des risques par la

surveillance des éléments précurseurs et la communication avant l'évènement à l'aide d'un système de pré-alerte.

Il existe déjà de nombreuses applications témoignant de l'efficacité des SAP dans de nombreux domaines. Dans le domaine de la santé, un SAP comme le *Early Warning and Response System* (EWRS) permet de prévenir les épidémies de la maladie Creutzfeldt Jacob, ou alors le *Rapid Alert for Non-Food Products* (RAPEX) qui permet de prévenir les états lorsqu'un produit met en péril la santé des consommateurs (Kjellén, 2007). Dans le domaine de la prévention des tsunamis, il existe différents SAP tel que le *Pacific Tsunami Warning Center* (PTWC) qui transmet des alertes de tsunamis pour le bassin pacifique aux 26 états membres du dispositif ou le *Bangladesh Storm Warning* (BSW) qui fournit des informations concernant l'arrivée de tempêtes dans la région du golfe du Bengale (David and Izadkhah, 2008). L'utilisation d'un SAP pour prévenir les ED semble donc être un outil adapté à la gestion des interdépendances entre les RSV.

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres. Le premier chapitre présente le cheminement effectué par les experts du CRP pour développer la méthodologie. L'ensemble du premier projet ainsi que les objectifs du second projet sont présentés plus en détails. Les travaux déjà effectués sur le premier objectif du nouveau projet sont développés et cela aboutit à la formulation de la problématique à laquelle ces travaux répondent. Le deuxième chapitre aborde la méthodologie utilisée pour parvenir au développement du SE. Ainsi, la modification de la Base Connaissances (BC) y est expliquée, puis l'analyse des besoins des utilisateurs, le choix de la plateforme informatique, le design du système et la programmation du SE développé. Le troisième chapitre fait état des phases de tests et de validations puis des modifications et des améliorations apportées au SE et enfin, des difficultés rencontrées lors du développement de l'outil. Le dernier chapitre présente les moyens pour vérifier la fiabilité de l'outil et propose des recommandations pour le développement final du SE et son intégration dans un SAP.

CHAPITRE 1 MISE EN CONTEXTE

Les travaux présentés dans ce mémoire s'inscrivent dans la continuité d'un premier projet de trois ans mené par le CRP et dont les résultats ont servi de clé de voûte pour un nouveau projet de quatre ans débuté en mars 2008.

Dans un premier temps, il sera question de présenter brièvement la méthodologie développée par le CRP à l'issue du premier projet, permettant ainsi d'évaluer les interdépendances physiques et géographiques entre les RSV. Dans un deuxième temps, nous présenterons le deuxième projet (mars 2008 à mars 2012) pour lequel le CRP s'est vu octroyer une subvention et dont le but est de modéliser les ED entre les RSV sur l'île de Montréal et sur le territoire de la Ville de Québec. Pour finir, la problématique à laquelle le présent mémoire doit répondre sera présentée.

1.1 Premier projet : février 2005 à février 2008

En février 2005, le CRP obtenait une subvention dans le cadre du PCRII pour laquelle il s'était engagé à développer une méthodologie permettant l'identification, l'évaluation et la hiérarchisation des interdépendances entres les RSV présents au centre-ville de Montréal. En partenariat avec les principaux RSV de l'île de Montréal à savoir : l'électricité (Hydro-Québec), le gaz naturel (GazMétro), les télécommunications (Bell), le transport (Ministère des Transports du Québec), l'eau potable (Ville de Montréal) et la sécurité civile (Ville de Montréal – Centre de sécurité civile (CSC)), le CRP a développé, au cours de ce projet, une démarche simple permettant d'atteindre ces objectifs. En avril 2006, le CRP obtenait une nouvelle subvention dans le cadre du programme Développement des Connaissances, Sensibilisation et Communication (DCSC) pour appliquer la méthodologie à la ville de Québec. Ce projet fût réalisé en partenariat avec le Bureau de la Sécurité Civile (BSC) de Québec et l'ensemble des services de la ville de Québec (eau potable et usée, transport, transport en commun, technologies de l'information et des télécommunications, gestion des immeubles, etc.).

La méthodologie développée par le CRP de 2005 à 2008 permet donc d'évaluer les interdépendances physiques et géographiques entre les RSV. Cette méthodologie, simple dans son application, permet d'obtenir des réponses précises et des résultats à la fois concrets et opérationnels quant à leur exploitation par les organisations. Les différents concepts théoriques sur lesquels se basent les travaux du premier projet sont développés dans un guide méthodologique (Robert, Morabito and Quenneville., 2007 ; Robert et Morabito, 2009a) :

- Le risque et la vulnérabilité ;
- Les interdépendances fonctionnelles ;
- Les interdépendances géographiques.

Une première approche concernant la modélisation des interdépendances entre les RSV a été développée par de la Lande de Calan (2007). Deux aspects principaux y ont été développés :

- La création d'une BC s'appuyant sur les couples ressources utilisées sur un secteur d'alimentation (Ru/Sal) et les couples ressources fournies sur un secteur d'alimentation (Rf/Sal), l'état des RSV et la classification des Ru/Sal. Puis il a été nécessaire de mettre en place une démarche pour rassembler les informations jugées pertinentes auprès des partenaires. Ces informations, rassemblées dans un tableau, ont permis de créer la base de connaissances ;
- Une fois toutes les informations recueillies dans un même tableau, il sera possible de les trier pour une exploitation future optimale dans un SE. Cela pourra alors permettre une modélisation des interdépendances entre les RSV pour identifier et anticiper les ED.

Les prémisses de la méthodologie répondent ainsi à un certain nombre de propositions développées dans la littérature :

- Développement d'un système de communications entre les RSV, sécuritaire, confidentiel et adaptable (Wimbish and Sterling, 2003) ;
- Mise en place d'un système de mesure pour représenter l'état de dégradation des RSV (Rinaldi, 2004) ;

- Création d'une banque de données flexible et ordonnée contenant des informations pertinentes pour modéliser les interdépendances (Comfort *et al.*, 2004) ;
- Favorisation de la coopération entre les RSV (Comfort *et al.*, 2004) ;
- Simplicité de la méthode (Koubatis and Schonberg, 2005) ;
- Inclusion des composantes spatiales et du cumul de la vulnérabilité (Medd and Marvin, 2005 ; Hills, 2005) ;
- Mise en place d'un langage de communication entre RSV (Zhang, 2007) ;
- Intégration plus spécifique de l'utilisation de RA en cas de dégradation de RSV (Robert et Morabito, 2009b).

Fort des différents travaux accomplis et comme récapitulatif des résultats obtenus à la suite du premier projet, le CRP a rédigé un guide méthodologique afin d'identifier et d'évaluer les interdépendances fonctionnelles et géographiques entre les RSV (Robert et Morabito, 2009a). Comme il a été mentionné précédemment, ce guide présente, dans un premier temps, les concepts théoriques de base sur lesquels s'appuie la méthodologie développée par le CRP. Dans un deuxième temps, il aborde l'un des grands défis de l'étude des interdépendances entre les RSV : la gestion des informations. En effet, les informations se rapportant aux partenaires (ou RSV) ont souvent un caractère confidentiel. Le partage de ces informations à l'extérieur de l'organisation représente un risque pour conserver la confidentialité. Cela représente donc un frein majeur à la collaboration et à la coopération. C'est pourquoi, il est impératif d'instaurer un climat de confiance avec les RSV afin de privilégier l'échange d'informations pertinentes. Les défis concernant le partage des informations portent sur quatre points principaux (Robert and Morabito, 2008) :

- L'aspect propriété ainsi que la valeur des données géoréférencées freine le partage des informations ;
- La mise à jour et le traitement d'une quantité toujours plus importante de données ;

- Le caractère confidentiel des données qui alors pourraient être utilisées à mauvais escient, pour mener à des actes de malveillance ;
- Une mauvaise interprétation des informations cartographiées peut influencer négativement la prise de décision de la part des gestionnaires de la sécurité civile.

Pour relever l'ensemble de ces défis, il a été nécessaire de développer une démarche méthodologique cohérente basée sur les principes de cartographie souple (Robert *et al.*, 2007). L'intérêt de cette démarche est de rassembler des informations pertinentes relatives aux interdépendances sur un support cartographique qui soit en mesure de respecter les politiques de confidentialité des organisations. Les critères qui caractérisent cette méthode sont :

- Une donnée confidentielle ne doit pas être communiquée ;
- Aucune donnée géoréférencée ne doit être partagée ;
- Des résultats d'analyses ou d'expertises doivent être partagés.

La cartographie souple permet donc d'intégrer des connaissances sur des secteurs plutôt que des données géoréférencées. C'est-à-dire que, uniquement la synthèse des connaissances des différents réseaux relativement à leur fonctionnement sur chacun des secteurs sera utilisée. La figure 1.1 illustre de quelle façon le centre-ville de Montréal a été découpé en secteur pour éviter que les partenaires ne donnent des informations précises qui pourraient s'avérer confidentielles.

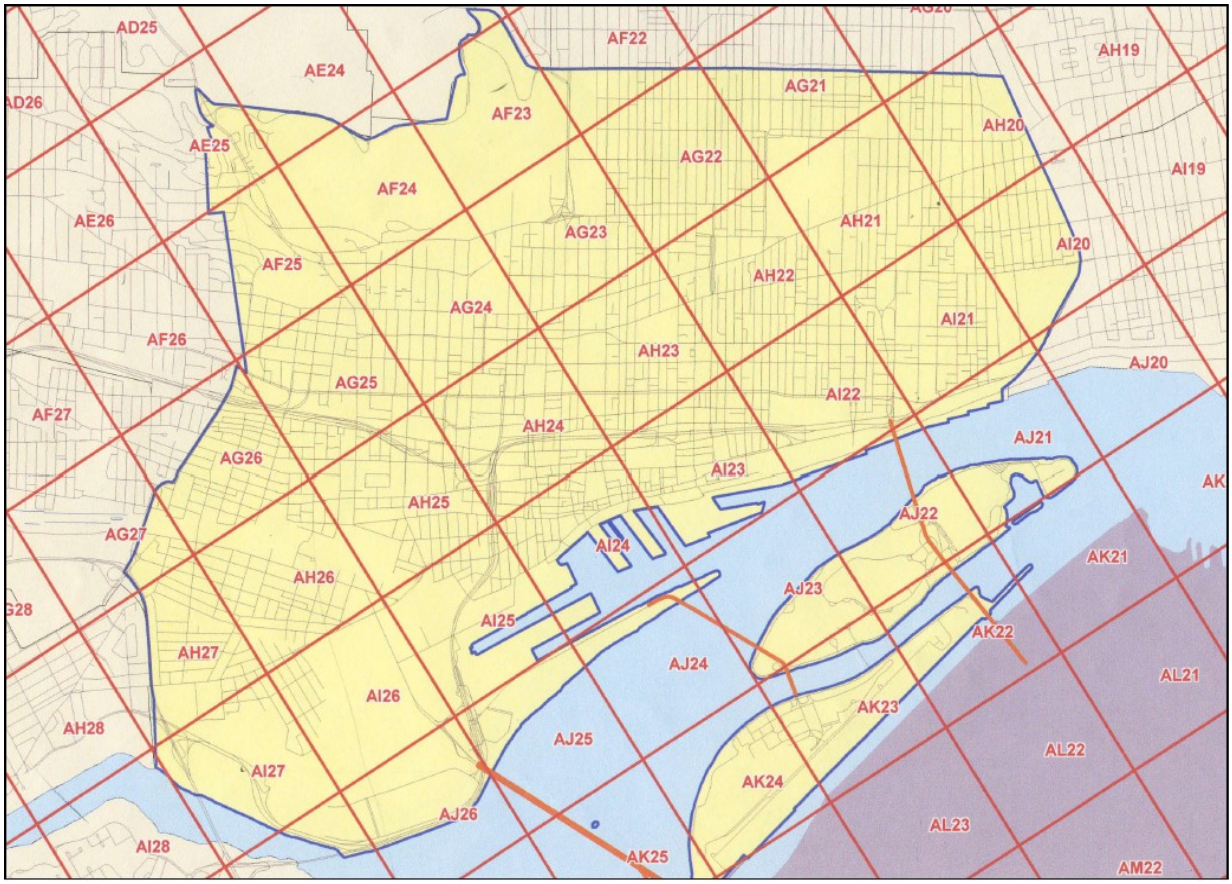


Figure 1.1 : Environnement socio-économique de la ville de Montréal, découpé en secteurs (Robert et Morabito, 2008)

La méthodologie présentée dans le guide et les outils développés par le CRP permettent d'évaluer de manière systématique les interdépendances entre les RSV et d'anticiper la propagation des ED dans le temps et dans l'espace géographique. Les explications complètes et détaillées des différentes étapes pour appliquer la méthode sont présentées dans le guide méthodologique : définir l'espace de coopération, définir la zone d'étude, caractériser les RSV, étudier les interdépendances fonctionnelles et géographiques, mettre en place les outils de gestion appropriés (Robert et Morabito, 2009b).

Robert et Morabito (2008) expliquent que, pour gérer au mieux les interdépendances fonctionnelles entre les RSV, les outils de gestion, et donc de représentation, doivent satisfaire deux exigences :

- Permettre d'évaluer les conséquences nées de l'utilisation par un RSV d'une ressource dégradée fournie par un autre RSV ;
- Permettre aux responsables des RSV d'anticiper les ED engendrés par la défaillance du RSV fournissant une ressource.

De plus, comme les paramètres à considérer varient en fonction du temps, il est impératif que les outils utilisés prennent en compte la durée. Ainsi, ces données donnent les délais mis à la disposition des gestionnaires d'un RSV pour faire face à la défaillance d'un autre RSV dont il est dépendant. Ils pourront alors mettre en place des mesures de prévention et de protection. L'outil de représentation qui a été développé est un graphique sur lequel on affiche des courbes de dépendances (voir figure 1.2).

Pour construire ces courbes de dépendances, il a été nécessaire de définir un code de couleur pour permettre au gestionnaire du RSV de déterminer les conséquences sur la mission du RSV utilisant une Ressources Utilisée (Ru) en mode dégradée, en fonction de la durée de la défaillance. Le tableau 1.1 détaille les quatre états qui ont été définis : état vert, état jaune, état orange, état rouge.

Tableau 1.1 : Différents états indiquant le niveau de dégradation d'un RSV (Adapté de Robert et Morabito, 2008)

Nom de l'état	Couleur correspondante	Description
Vert		Le RSV fonctionne tout à fait correctement avec les ressources utilisées habituelles.
Jaune		Le RSV utilise une Ru dégradée avec l'une ou plusieurs de ses infrastructures. A court terme, le RSV utilise et prend des mesures alternatives pour que la mission du RSV ne soit pas mise en danger.
Orange		Le RSV utilise une Ru défaillante pour une ou plusieurs de ses infrastructures. Les mesures pour palier à cette dégradation ne sont pas suffisantes. La mission du RSV est mise en péril.
Rouge		La mission du RSV n'est plus réalisée à cause d'une ou plusieurs infrastructures indisponibles de la zone d'étude. Une infrastructure appartenant à un autre RSV est privée de cette ressource.

L'avantage de présenter ces informations en fonction de la durée de défaillance est que cela permet au gestionnaire du RSV d'anticiper les ED, de donner la priorité à certaines interventions plutôt que d'autres et de prendre des décisions/actions à mener au bon moment. De plus, comme ces données sur l'état de défaillance sont issues d'une base commune à tous les RSV, il est possible de faire une estimation comparative entre différents RSV, de leur dépendance face à une ressource en particulier.

Sur la figure 1.2, le graphique fait ressortir l'impact de l'indisponibilité d'une ressource (de l'eau dans cet exemple), sur les RSV qui utilisent cette ressource. Ainsi, dans cet exemple, seulement les systèmes 1 et 2 ont des risques de voir leur mission affectée suite au problème de fourniture d'eau.

Ces courbes de dépendances prennent en compte à la fois les ressources utilisées par les RSV, la durée de défaillance des RSV, l'emplacement et les conséquences sur les autre RSV. Cet outil de

représentation répond adéquatement aux aspects « quoi », « quand » et « où » des interdépendances physiques entre RSV.

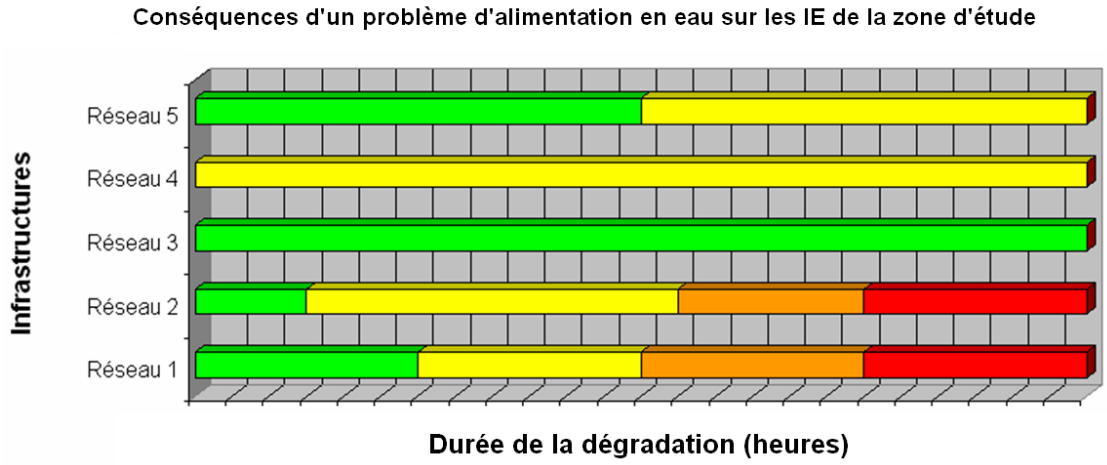


Figure 1.2 : Exemple de courbes de dépendances (Robert et Morabito, 2008)

La mise en relation des courbes de dépendances permet la création des courbes illustrant les ED. Ces courbes permettent d'anticiper les ED suite à la défaillance d'un RSV. La figure 1.3 illustre un exemple de courbes d'ED tiré des travaux du CRP lors de ce premier projet. Dans cet exemple, on peut constater que la défaillance du réseau d'eau dans le secteur AH23 du centre-ville de Montréal affecte d'abord le réseau de télécommunications puis le réseau des transports.

On appelle ED du premier ordre, les ED liés directement à la défaillance d'un RSV. Dans l'exemple de la figure 1.3, suite à la défaillance du réseau d'eau, un ED du premier ordre entraine la perte du service de télécommunications sur la zone. On appelle ED du deuxième ordre, les ED engendrés par la défaillance des infrastructures préalablement affectées par un ED du premier ordre. Dans l'exemple de la figure 1.3, suite à la perte du service de télécommunication sur la zone, cela engendre un ED du deuxième ordre qui entraine la fermeture d'un axe routier dans le secteur AH25. Les ED d'ordre supérieur à deux sont définis de la même manière. Ainsi, un ED d'ordre n (avec $n \geq 2$) est un ED qui a été engendré spécifiquement par un ED d'ordre inférieur : n-1.

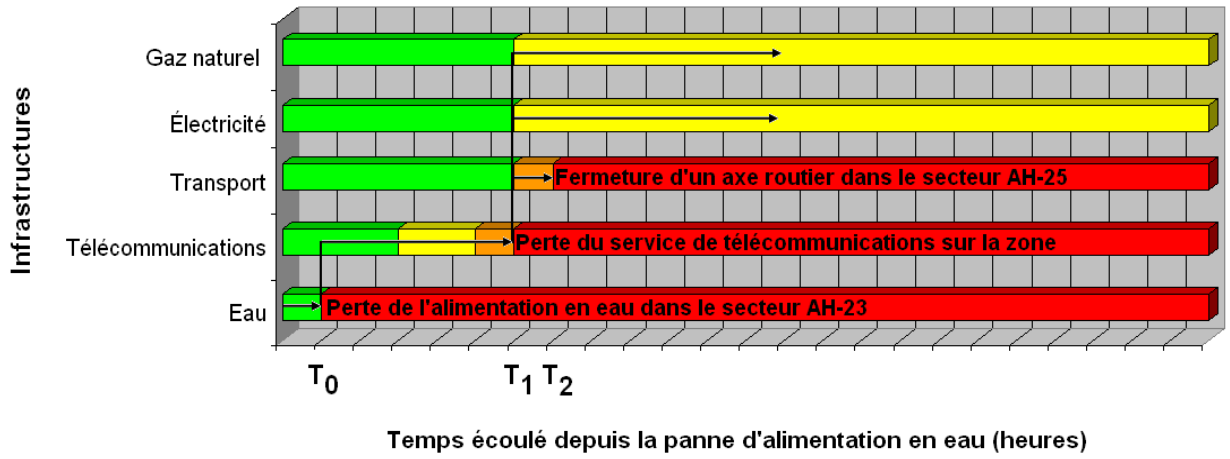


Figure 1.3 : Exemple de courbes d'effets domino
(Robert et Morabito, 2008)

Les outils développés par le CRP à l'issue de ce premier projet ont ouvert la voie au second projet sur lequel le CRP travaille actuellement.

1.2 Deuxième projet : mars 2008 à mars 2012

1.2.1 Présentation du deuxième projet

Le CRP a soumis au Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie (CRSNG) un projet portant spécifiquement sur la modélisation des ED entre les RSV. D'une durée évaluée à quatre années, les travaux consistent à développer un SAP permettant la gestion des interdépendances entre les RSV. Le projet porte sur les villes de Montréal et de Québec et vise trois principaux objectifs :

- La modélisation des ED entre les RSV (création d'un SE) ;
- La création d'un SAP ;
- La systématisation d'une approche visant la gestion de l'atténuation de la vulnérabilité des IE face aux ED.

Les travaux présentés dans ce mémoire porteront sur le premier objectif. La concrétisation de cet objectif passe par la réalisation de trois sous-objectifs :

- Le développement de la BC ;
- Le développement du SE ;
- La validation du SE.

Dans la section suivante, nous présenterons les travaux sur lesquels le présent mémoire se base et qui ont été réalisés par Guichardet (2009). Ces derniers traitent uniquement du premier sous-objectif : le développement de la BC. Ensuite, nous établirons la problématique à résoudre dans ce mémoire.

1.2.2 Développement et structuration de la base de connaissances

Tel que recommandé par de la Lande de Calan (2007), la modélisation des ED entre les RSV doit passer, d'abord et avant tout, par le développement et la structuration d'une BC répertoriant l'ensemble des informations nécessaires sur chacun des RSV présents sur les territoires à l'étude. À cet effet, les travaux de Guichardet (2009) ont permis d'établir un canevas afin de structurer une BC en fonction d'une analyse fonctionnelle des RSV. Ainsi, Guichardet (2009) a réalisé des travaux portant sur le développement de la BC et plus précisément sur la structuration et la modélisation des connaissances nécessaires à l'évaluation des interdépendances entre les RSV. Pour répondre à la nécessité d'opérationnaliser les recherches concernant l'anticipation des ED entre les RSV, les principaux aspects traitant du problème de modélisation des interdépendances entre les RSV qui ont été abordés par Guichardet (2009) sont :

- La détermination des données pertinentes et estimables (connaissances et expertises des partenaires) pour caractériser puis modéliser l'évolution de la mission des RSV face aux ED ;
- La récolte et la structuration de l'ensemble des informations données par les responsables des RSV dans la BC ;
- La validation des informations.

1.2.2.1 Détermination des données pertinentes et structuration de la BC

Les éléments suivants ont été pris en compte pour parvenir à construire et structurer une première base de connaissances :

- L'influence des réseaux de transports sur les ED ;
- Les modes de gestion de la dégradation ;
- Les cumuls des ressources utilisées défaillantes ;
- Les dépendances entre les modes de gestion eux-mêmes.

Les tableaux A.1, A.2, A.3 de l'annexe A illustrent de quelles manières une première BC a été structurée à l'aide du logiciel MS Excel.

Le tableau A.1 permet l'identification de l'infrastructure du RSV ou Ensemble Fonctionnel (EF). C'est à dire qu'il présente les informations concernant le type de Ressource Utilisée (RU) par l'EF, l'emplacement géographique (adresse, secteur, zone d'alimentation) de l'EF, à quel RSV il appartient, la/les fonction(s) du réseau auxquelles l'EF contribue et, le niveau de criticité de la ressource produite vis-à-vis du RSV.

Le tableau A.2 donne des informations concernant l'utilisation de la ressource produite par l'EF. Cela concerne la période d'utilisation de la RU par l'EF, divers renseignements sur la voie d'approvisionnement /le stockage de la RU et l'existence ou non d'un mode de gestion de la défaillance.

Le tableau A.3 quant à lui répond au besoin d'informations concernant le(s) mode(s) de gestion de la défaillance d'un RF s'il en existe un. Ainsi, sont donnés : le type de mode de gestion, les caractéristiques du mode de gestion, à savoir, le besoin d'équipement, le besoin en RA, la voie d'approvisionnement (si nécessaire) de l'équipement et/ou de la ressource, la quantité de stockage de la ressource possible, la quantité nécessaire, la durée de viabilité du mode de gestion et s'il existe un autre mode gestion de défaillance capable de prendre le relais du précédent. Il est également possible de spécifier, dans la mesure du possible, l'autonomie totale que le mode de gestion de la défaillance procure au RSV par rapport à son fournisseur principal.

Parallèlement, il a été nécessaire de porter une attention particulière à l'étude de l'utilisation des RA et au cumul de ressources défaillantes.

L'utilisation de RA entraîne une diminution de la vulnérabilité d'un RSV face à une ressource défaillante, mais crée une nouvelle dépendance. Par exemple, l'utilisation généralisée de génératrices lors d'une panne électrique crée alors un nouveau lien de dépendance vis-à-vis de la ressource « essence ». Ainsi, un accroissement de la demande en essence peut engendrer une pénurie et serait donc un facteur de vulnérabilité supplémentaire.

La figure 1.4 illustre l'argumentation du paragraphe précédent. Elle présente, sous forme de graphique, les informations concernant les RA contenues dans le tableau A.3. Ainsi, il est possible de visualiser la répartition des besoins en RA pour chaque infrastructure et de calculer les besoins cumulés. Dans l'exemple traité, les besoins cumulés en diesel pour la zone « centre-ville de Montréal » sont de 5306 litres de diesel par heure répartis entre les neuf infrastructures présentes sur cette zone.

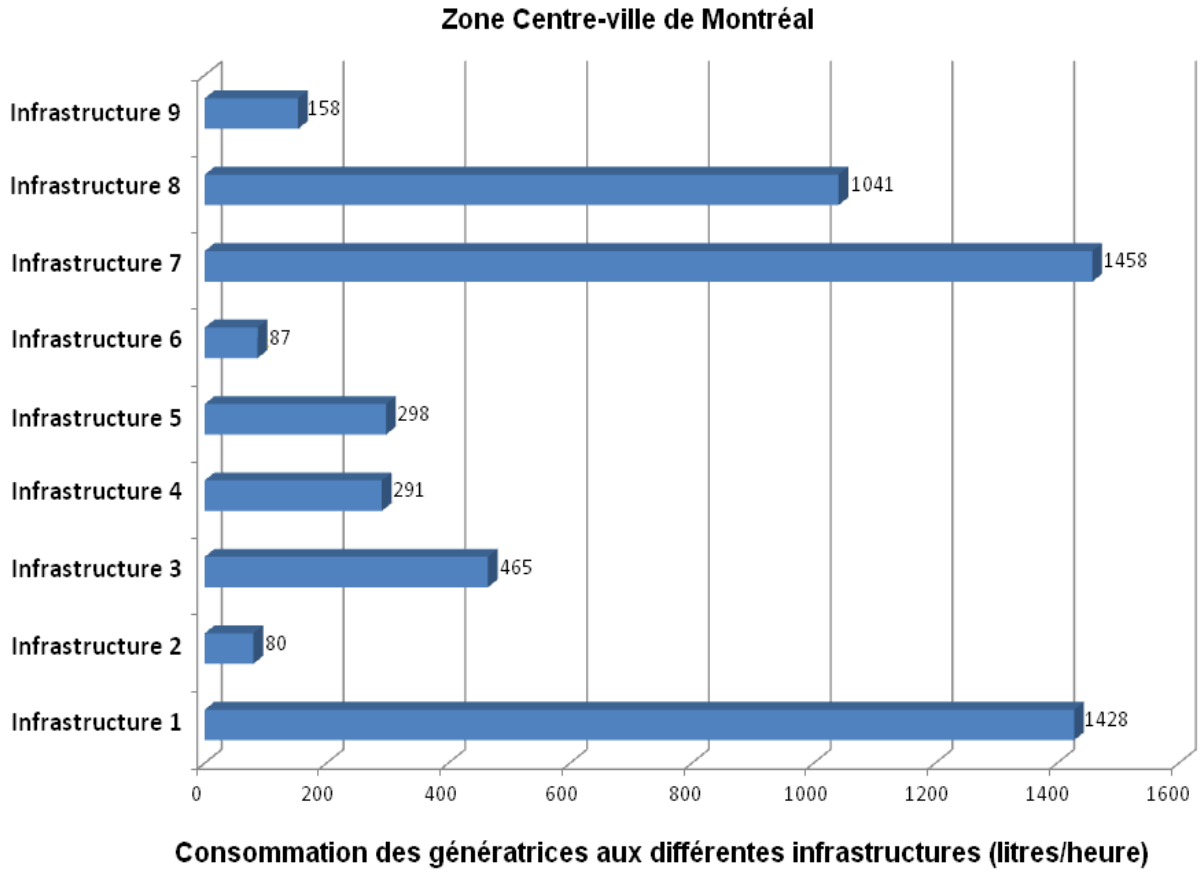


Figure 1.4 : Outil de visualisation : analyse des besoins en RA pour un effet domino anticipé (Robert et Morabito, 2009b)

Le cumul de RA peut engendrer un ED plus critique que celui engendré par la défaillance de chacune des ressources prises de manière isolée. Alors, il est nécessaire d'évaluer les conséquences sur les RSV de la dégradation de plusieurs ressources simultanément. L'un des exemples typiques permettant d'illustrer ce phénomène est l'utilisation de génératrices en situation de panne électrique. En effet, en situation de panne électrique, la plupart des infrastructures des réseaux possèdent des génératrices fonctionnant au diesel qui permettent de maintenir en activité les fonctions critiques du réseau. Les conséquences d'une panne d'électricité sur ces infrastructures sont donc mineures puisqu'elles sont compensées par l'utilisation de diesel. En situation de panne de diesel, ces mêmes infrastructures ne sont pour la plupart pas affectées puisqu'elles n'utilisent pas cette ressource pour fonctionner de manière courante. Donc, les conséquences d'une pénurie de diesel pour ces infrastructures sont nulles.

Or, si une panne d'électricité et une panne de diesel affectent simultanément ces infrastructures, le niveau de conséquences est beaucoup plus élevé puisqu'alors, il n'est plus possible de maintenir en activité les principales fonctions de l'organisation. Les conséquences du manque à la fois d'électricité et de diesel sont donc plus importantes que si uniquement une seule des ressources était venue à ne plus être fournie (Robert and Morabito, 2010b).

1.2.2.2 Récolte des informations pour remplir la BC

Guichardet (2009) montre que pour récolter les informations auprès des partenaires des RSV, le CRP a développé des questionnaires visant à récupérer les informations préalablement identifiées et nécessaires. Ensuite, une fois les questionnaires remplis par les RSV, il a été possible de remplir la BC en se conformant à la structure, toujours dans l'optique d'automatiser la modélisation des ED.

1.2.2.3 Validation des informations

Une fois remplie, la BC a été soumise aux experts des RSV pour valider les données récoltées. Il était important d'obtenir ce retour concernant la compréhension, de la part des experts, des informations et des critères qui ont été retenus afin de modéliser l'état de dégradation des RSV. En effet, les experts des RSV sont les seules personnes aptes à juger si la BC reflète au mieux la réalité à laquelle sont confrontés les réseaux interdépendants. Cela a aussi permis de juger l'applicabilité de la méthode dans l'obtention des informations requises. De plus, la pertinence des critères a pu être évaluée lors de l'application de la méthodologie. Il a aussi été possible de répertorier les éventuelles difficultés rencontrées lors de l'acquisition des données.

1.2.3 Identification de la problématique

Suite aux travaux concernant le développement de la BC qui se rapportent au premier sous-objectif de la modélisation des ED entre les RSV, Guichardet (2009) analyse l'utilisation possible de la BC dans un SE.

Le but premier de la BC est de permettre une automatisation du processus de modélisation des ED sur les RSV. C'est pourquoi elle a été structurée comme il a été montré précédemment. Deux

défis à relever sont mis en avant pour parvenir à automatiser le processus de modélisation c'est-à-dire pour utiliser la BC avec un SE :

- La création d'une interface permettant de saisir des informations dans la BC tout en se soumettant aux trois critères définissant la cartographie souple ;
- La modélisation de l'état de dégradation des RSV, donc des ED, faite de manière automatisée. Cela signifie modéliser les courbes de dépendances.

Bonnet *et al. (*1986) précisent que tous les problèmes ne nécessitent pas l'application d'une méthodologie de type SE. Mais, lorsque les paramètres sont trop nombreux et le temps d'analyse des solutions serait trop grand, des méthodes heuristiques constitueraient des raccourcis pertinents.

Giarratano et Riley (2005) précisent que selon le professeur Feigenbaum de l'université de Stanford, qui est un des pionniers dans la technologie des systèmes experts, un SE peut être défini comme un programme informatique intelligent qui utilise les connaissances et des processus de déduction pour résoudre des problèmes qui sont suffisamment difficiles pour nécessiter une expertise humaine très poussée pour trouver les solutions. Donc, un SE est un système informatique qui émule la capacité de prise de décision d'un expert humain. Le SE est supposé agir à tous les niveaux comme un expert humain.

Pour Fétiarison (2004), un SE est un programme qui utilise intensivement la connaissance humaine afin de résoudre des problèmes nécessitant l'expertise humaine.

Il découle de ces définitions qu'un SE doit être en mesure de reproduire le raisonnement fait par un (ou des) expert(s) dans un domaine pour fournir un résultat à un problème posé. Dans ce contexte, il est important de définir qui peut être considéré comme un expert. Selon Michael Negnevitsky (2002), un expert est une personne qui possède de l'expertise dans un domaine particulier. Cette personne a des connaissances et des compétences particulières qui sont très pointues et très peu développées pour la plupart des gens. L'expert peut résoudre un problème

que la majorité des gens ne peuvent pas résoudre ou alors que l'expert résoudra de manière plus efficace.

Les connaissances sur lesquelles se basent les SE peuvent venir d'expertises ou de connaissances issues de livres, magazines ou de personnes ayant de grandes connaissances dans un domaine en particulier (Giarratano and Riley, 2005).

Dans l'étude des interdépendances entre les RSV menés par le CRP, les experts humains qui possèdent à la fois les connaissances techniques et une grande expérience sur les réseaux, sont les gestionnaires des RSV. Ils connaissent très bien le fonctionnement de leur réseau et sont donc capables de prévoir comment il va se comporter en fonction d'un aléa. C'est auprès d'eux que les experts du CRP ont pu récupérer les informations à inclure dans la BC.

Le fonctionnement de base d'un SE est schématisé sur la figure 1.5. L'utilisateur fournit des faits ou d'autres types d'informations au système et il reçoit en réponse l'opinion d'un expert ou une expertise. La BC contient les connaissances à partir desquelles le processus d'inférence tire des conclusions. Ces conclusions sont les réponses du SE à la demande d'expertise de la part de l'utilisateur.

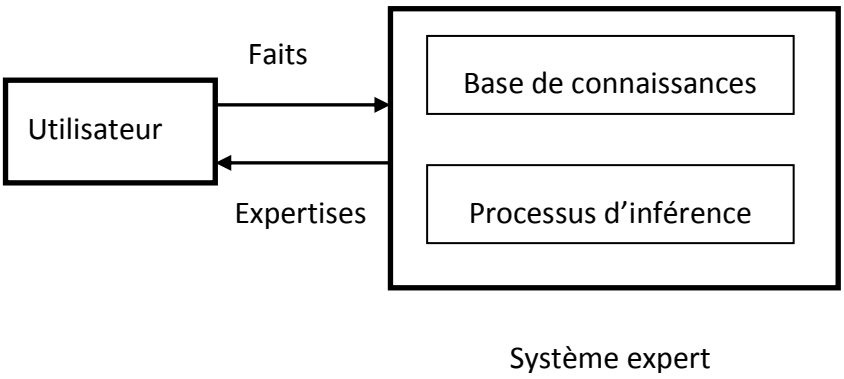


Figure 1.5 : Concept de base d'un système expert (Adapté de Giarratano and Riley, 2005)

Toujours selon Giarratano et Riley (2005), le processus de développement d'un SE est effectué par un cogniticien qui va récupérer, suite à de nombreuses interviews, sur une longue période, les connaissances qui doivent être extraites auprès des experts. Les phases principales de développement d'un SE sont présentées à la figure 1.6. Dans un premier temps, le cogniticien établit le dialogue avec l'expert humain dans le but de cibler les connaissances de ce dernier. Ensuite, le cogniticien programme les connaissances explicites détenues par l'expert dans la BC. Enfin, l'expert évalue le SE et soumet ses critiques au cogniticien. Il y a une itération du processus jusqu'à ce que la performance du système soit jugée satisfaisante par l'expert.

Dans les travaux d'identification des interdépendances entre les RSV, les cogniticiens sont les experts du CRP. Ils sont chargés de récupérer et d'analyser les informations données par les experts des RSV pour ensuite les intégrer à la BC.

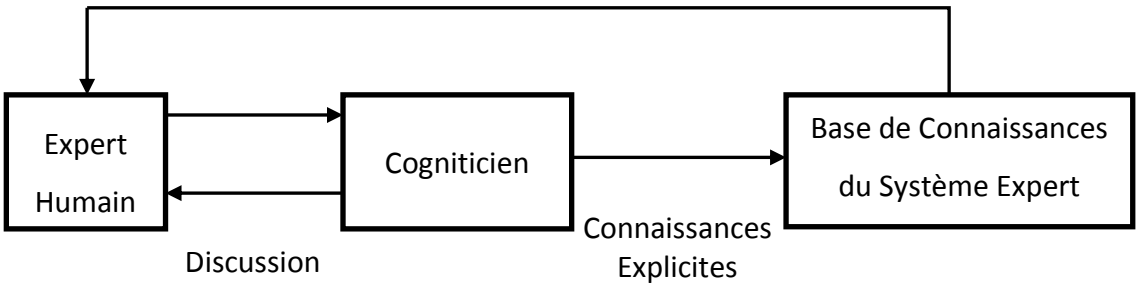


Figure 1.6 : Développement d'un système expert
(Adapté de Giarratano and Riley, 2005)

L'utilisation des SE est de plus en plus importante dans de nombreux domaines. La raison de ce succès provient du grand nombre d'avantages que possèdent les SE, à savoir (Giarratano and Riley, 2005) :

- Etablissement d'une expertise possible en tout temps ;
- Réduction des coûts ;
- Réduction du « hasard » dû à la composante humaine, donc du danger ;
- Longue période de fonctionnement de l'outil. Le SE résiste au temps ;
- Possibilités de générer de multiples expertises à partir des connaissances de plusieurs experts ;
- Augmentation de la confiance dans les résultats obtenus dans l'expertise ;
- Possibilité d'expliquer en détails les résultats en tout temps ;
- Rapidité de la réponse, ce qui est primordial quand des expertises en temps réel sont attendues ;
- Stabilité : le SE est non-émotionnel et capable de donner des réponses complètes en tout temps ;
- Tuteur intelligent : facilite l'apprentissage pour un novice ;
- Base de données intelligente : accès aux données facilité.

Au regard des recommandations de Guichardet (2009) et de la littérature, il apparaît clairement que l'outil le plus adapté pour satisfaire les attentes du premier objectif de ce nouveau projet est un SE. En effet, un SE est capable de traiter les connaissances et les expertises contenues dans la BC pour ensuite modéliser l'état de dégradation d'un RSV et anticiper les ED susceptibles de se produire. Il est donc indispensable d'utiliser un SE pour traiter la grande quantité d'informations contenues dans la BC sur les interdépendances autant fonctionnelles que géographiques entre les RSV pour ensuite en extraire des métadonnées et les utiliser dans la génération automatique des courbes de dépendances et dans l'anticipation des ED potentiels.

Ainsi, après avoir achevé le premier projet en proposant une méthodologie de réduction de la vulnérabilité des infrastructures essentielles et des outils opérationnels permettant l'anticipation des ED et la gestion des interdépendances, il est naturel que le CRP se soit lancé dans ce nouveau projet. Le but est, à terme, d'automatiser la modélisation des ED entre les RSV sur l'île de Montréal et la Ville de Québec. Le chapitre suivant présente la démarche méthodologique utilisée tout au long des travaux de cette maitrise pour développer le SE requis.

CHAPITRE 2 DÉVELOPPEMENT DU SYSTÈME EXPERT

Pour modéliser les ED entre les RSV, premier objectif du nouveau projet dans lequel le CRP s'est lancé, il faut atteindre trois sous-objectifs.

Le premier sous-objectif consiste à développer la BC pour la rendre facilement exploitable par un SE. La réalisation de ce sous-objectif passe par trois tâches principales : la structuration d'une BC uniforme pour l'ensemble des RSV et qui contiendra les expertises et connaissances provenant des experts de ces réseaux, la récolte des informations puis leur validation. Ce sous-objectif a été atteint par Guichardet (2009) et les résultats ont été présentés au chapitre 1. Les travaux de ce mémoire se basent sur ces résultats pour atteindre les deux sous-objectifs suivants.

Le deuxième sous-objectif consiste à développer un SE qui est un élément de base pour la réalisation future d'un SAP. À terme, l'objectif du SE sera de traduire les informations contenues dans la BC sous forme de courbes de dépendances afin d'identifier et d'anticiper les ED potentiels.

Le troisième sous-objectif, quant à lui, sera abordé aux chapitres 3 et 4. Il consiste à vérifier que le SE et la BC forment un produit final, fonctionnel, fiable et performant. La fonctionnalité et la fiabilité du SE seront déterminées en fonction de la capacité de l'outil à tirer les mêmes conclusions que les experts des réseaux partenaires du CRP pour une même problématique. La performance du SE sera quant à elle déterminée en fonction de la capacité de l'outil à produire des méta-connaissances résultant d'un croisement des connaissances possédées de manière individuelle par les experts de chaque réseau. Autrement dit, le SE devra être en mesure de générer des connaissances que les experts des réseaux de manière individuelle ne possèdent pas, mais que de manière collective, ils possèdent. Cela se traduira par la capacité du SE à identifier des ED d'ordre supérieur à 1. Ces derniers sont générés à la suite d'un premier ED, suite à la défaillance en cascade de multiples RSV.

Tout d'abord, il sera fait état des travaux sur les modifications faites sur la BC à partir des résultats de Guichardet (2009) pour obtenir la structure idéale de la BC en vue de son exploitation par le SE. Ensuite, seront abordées les différentes phases de développement du SE.

2.1 Développement de la base de connaissances

La BC utilisée par le CRP au début du nouveau projet, est celle développée par Guichardet (2009). La méthodologie utilisée pour la construire ayant déjà été présentée au chapitre 1, cette section n'abordera que le processus suivi pour la remplir.

Ainsi, le processus pour récupérer les informations était relativement simple : le CRP envoyait aux experts des RSV des questionnaires qui regroupaient l'ensemble des informations nécessaires pour remplir au mieux la BC. Ensuite, il a été possible de retranscrire toutes ces données dans les champs correspondants de la BC. Il a été nécessaire d'établir des critères communs pour regrouper les expertises des partenaires, mais aussi pour déterminer l'état d'un RSV en fonction de l'état des ressources qu'il utilise sur différents secteurs. Puis, une phase préliminaire de validation de cette BC auprès des experts a été lancée.

Suite à cela, plusieurs rencontres ont eu lieu avec la personne chargée du projet au niveau du CSC de la ville de Montréal pour discuter de l'utilisation à venir de la BC par un SE. Il fût alors convenu d'alléger la BC initiale pour éliminer le plus possible les informations de moindre importance. Il a fallu, dans un premier temps, ne conserver que les données permettant de déterminer au mieux l'état des RSV en fonction de l'état des ressources disponibles en vue d'identifier et d'anticiper convenablement les ED potentiels. Mais, il fallait aussi qu'à partir de ces données on puisse présenter les résultats sous forme de graphique c'est à dire tracer des courbes de dépendances et qu'ensuite, il soit possible d'en extraire des paramètres décisionnels.

Pour ne pas perdre l'ensemble des informations déjà récoltées dans la BC, il a été décidé de conserver toutes les informations dans un fichier de type MS Excel mais de ne transférer que les plus importantes dans un nouveau fichier pour une exploitation future par le SE.

Les informations nécessaires à la réalisation du projet ont déjà été identifiées dans les travaux précédents du CRP. Des critères ont été posés pour segmenter (en termes de RU, RF, SaL) les réseaux fournisseurs de ressources comme l'eau, l'électricité, le gaz naturel et les réseaux de télécommunications.

Ainsi, il est primordial que les critères conservés pour caractériser les interdépendances entre les RSV permettent de construire les courbes de dépendances, mais, surtout, qu'ils soient validés par les experts des RSV. Il est important de rappeler qu'uniquement les experts sont en mesure de juger si les informations qui seront fournies par le SE sont exactes et qu'elles sont à jour c'est à dire, de modifier les données erronées et de rajouter celles manquantes. De plus, il faut que les données présentées par le SE fournissent les informations qui permettront au gestionnaire de RSV de prendre les bonnes décisions relatives aux mesures à mettre en place pour palier à une défaillance de son RSV ou limiter les conséquences d'une défaillance d'un autre RSV sur son réseau.

Suite à la phase de développement de la première BC établie par Guichardet (2009) et présentée dans l'annexe A (Tableau A.1, A.2, A.3), le résultat obtenu est une BC avec une structure simplifiée. Les informations retenues vont permettre son utilisation future par un SE.

Une fois que la BC a été structurée dans le but de l'exploiter pour modéliser les ED sur les RSV, il a été nécessaire de se focaliser sur le développement du SE.

2.2 Développement du système expert

Le but du SE est de traduire les informations contenues dans la BC sous forme de courbes de dépendances et d'identifier et anticiper les ED potentiels. Le développement du SE passe par quatre tâches principales : l'analyse des besoins, le choix de la plateforme informatique, le design du SE, la programmation du SE.

2.2.1 L'analyse des besoins

Le SE à développer doit répondre à plusieurs attentes de la part des responsables des RSV et des gestionnaires responsables de la sécurité civile à Montréal et à Québec. Les responsables attendent des métadonnées ou méta-connaissances, issues des données contenues dans la BC

et traitées par le SE, qui puissent leur apporter les informations nécessaires à la planification des mesures d'urgence et de continuité opérationnelle pour faire face à d'éventuelles défaillances au niveau des RSV. Le but est de diminuer les ED et les conséquences qui en résultent. Le SE doit aussi respecter une contrainte majeure qui est de ne pas divulguer de données confidentielles propres à un réseau telle que la localisation géographique.

Le respect de cette contrainte passe par une analyse des besoins en informations de chacun des utilisateurs. Globalement, les utilisateurs peuvent être divisés en 3 grandes catégories. Les experts du CRP, les experts des RSV et les gestionnaires responsables de la sécurité civile (les responsables du CSC et du BSC).

D'un côté, les experts du CRP ont besoin d'avoir un accès complet aux données puisque ce sont actuellement eux qui envoient les questionnaires auxquels les experts de chaque RSV répondent et que ce sont eux-mêmes qui sont responsables d'entrer ces informations dans la BC. À terme, il faudra toutefois que les partenaires puissent entrer eux-mêmes les informations dans la BC en passant par une interface de saisie de données. Cela évitera que les informations transitent par une tierce entité et donc cela assurera une plus grande confidentialité des données et une meilleure autonomie du SE.

Les experts des RSV ont, quant à eux, besoin d'avoir des informations précises concernant leur réseau c'est-à-dire qu'ils doivent à la fois pouvoir entrer des informations sur leur réseaux, visualiser les infrastructures appartenant à leur réseau, visualiser les ressources utilisées par une infrastructure de leur réseau et connaitre les dépendances de leur réseau face aux ressources qu'il utilise pour ses diverses infrastructures.

Les gestionnaires responsables de la sécurité civile n'ont quant à eux pas besoin d'informations très précises sur les réseaux. Ils doivent uniquement connaître et pouvoir visualiser les dépendances des différents réseaux face à une ressource dans un secteur ou dans une zone d'alimentation pour avoir suffisamment d'informations pour prédire l'évolution d'une situation problématique afin de prendre, au besoin, les mesures nécessaires pour s'assurer que les propriétaires des RSV soient informés de la situation et posent les actions appropriées et

contacter, au besoin, les services d'urgence (les pompiers, la police, etc.). Cela, dans l'optique de limiter au minimum les conséquences néfastes de ces défaillances sur la population.

À terme, le SE devrait être utilisé à la fois par les responsables des RSV, du CSC et du BSC. Mais, comme la nature de l'information dont ils ont chacun besoin est différente, l'accès aux informations et autres données traitées sera différent suivant l'utilisateur. Pour répondre à leurs besoins spécifiques et pour que le SE corresponde au mieux à l'environnement dans lequel il est destiné à être utilisé, il a été nécessaire de rencontrer l'ensemble de partenaires des RSV et des gestionnaires du CSC et du BSC pour bien cerner leurs besoins et leurs attentes face au SE à développer. Les appréciations de l'ensemble des partenaires concernant les critères retenus sont développées dans le chapitre 3.

2.2.2 Le choix de la plateforme informatique

Comme il a été présenté dans le chapitre 1, la BC est constituée d'un ensemble de tableaux de données rassemblé dans un fichier MS Excel. Pour choisir la plateforme informatique avec laquelle le SE allait être développé, différents critères ont été retenus pour parvenir au choix final :

- Simplifier le transfert des données de la BC contenues dans le fichier MS Excel et la plateforme informatique ;
- Obtenir un prototype testé et validé par l'ensemble des partenaires. Ainsi, la programmation du SE définitif sur la plateforme informatique finale en sera facilitée ;
- Refléter au mieux les attentes des partenaires ;
- Possibilité de modifier facilement l'outil ;
- Ne pas requérir de compétences trop poussées en programmation pour faciliter la conception et répondre au plus près aux besoins des différents partenaires ;
- Minimiser le coût de la plateforme informatique qui supporte le prototype du SE. Il est important que ce soit une plateforme présente chez tous les partenaires et qui ne présente pas de difficultés particulières d'utilisation du prototype. Le SE

développé doit pouvoir être facilement utilisé et testé par les experts des RSV au sein même de leur réseau et par les gestionnaires du CSC et du BSC.

Plusieurs raisons sont à prendre en compte pour justifier le fait que les travaux réalisés dans ce mémoire ont développé le SE sous forme d'un prototype. Le but n'est pas d'obtenir une version du SE finalisée pouvant être directement intégrée dans un SAP. Le but premier de la plateforme informatique est de permettre le développement d'un SE en proposant une interface/un langage permettant à n'importe quel membre du CRP ou aux experts des RSV de facilement moduler l'architecture du SE et donc qui ne nécessite pas de connaissances très avancées en informatique. Ainsi, le besoin de former des personnes pour moduler l'outil est minime donc, cela donne la possibilité, sur les quatre ans de durée du projet, à un grand nombre de personnes de modifier le SE. En développant un prototype avec une plateforme facilement modulable il est aussi relativement accessible d'adapter le SE au plus près des besoins des utilisateurs. L'architecture ainsi que les fonctions développées dans le prototype pourront alors être utilisées comme éléments de base pour le développement du SE final.

Aussi, le SE final devra être facilement intégré à des plateformes informatiques déjà utilisées dans les organisations de sécurité civile c'est dire aux outils de gestion des défaillances propres au CSC et BSC. Il m'a alors été possible de rencontrer un gestionnaire du CSC familier avec l'objet du projet pour réfléchir aux différents choix possibles.

Suite aux différentes rencontres avec le CSC, il est clairement apparu que la plateforme informatique supportée par le logiciel Microsoft Office Access 2007 (MS Access) était la plus adaptée aux exigences du projet et remplissait les critères identifiés.

2.2.3 Le design du système

Pour designer le SE sous MS Access, il a fallu déterminer de façon claire l'architecture de l'outil et les fonctions à développer que le SE doit utiliser pour fournir les résultats attendus en fonction des données et paramètres qui lui sont fournis en entrée.

MS Access est une puissante application de base de données relationnelle qui permet la gestion, le suivi, et le partage d'informations (figure 2.1). Les utilisateurs disposent d'une vaste

bibliothèque de modèles d'applications professionnelles, avec ou sans l'aide d'un assistant pour créer des tables, des formulaires, des requêtes, des états et d'un éditeur graphique. De plus, MS Access prend en charge le partage d'informations avec d'autres programmes comme MS Excel, et il gère des langages tels que le SQL (pour la création de requêtes), HTML, XPS et PDF. Il donne aussi la possibilité de créer des applications de bases de données exécutables qui permettent de saisir et de visualiser des données sans avoir besoin de quelconque connaissance concernant le développement ou la conception de base de données. En cas de crise, Access peut être utilisé en monoposte (Lambert *et al.*, 2007).

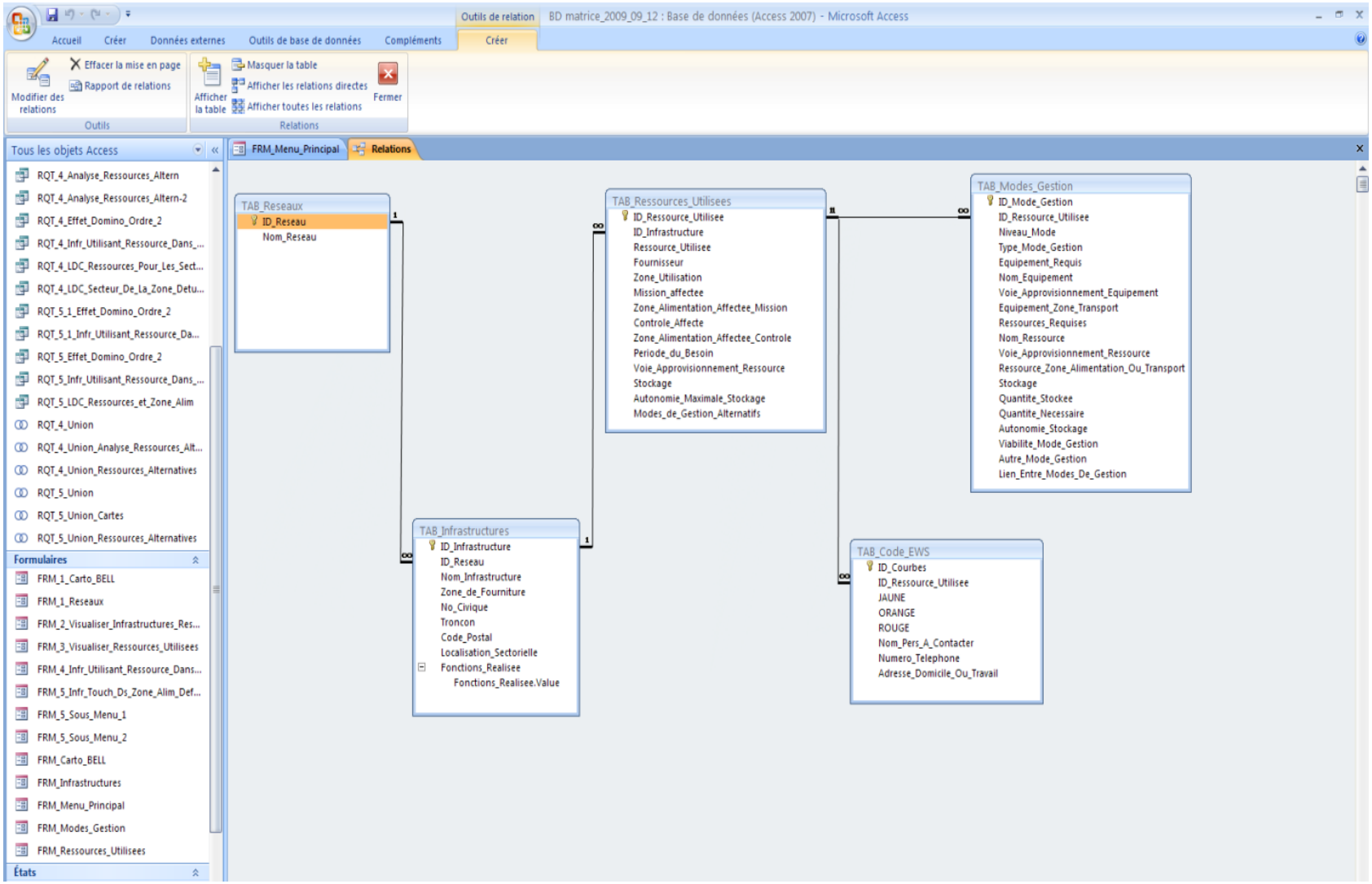


Figure 2.1 : Aperçu général de la structure du logiciel MS Access - Modèle relationnel de données

2.2.3.1 Architecture du système

À partir de la BC, il a été nécessaire de classer et regrouper les données dans des tables séparées dans l'optique de les relier sous MS Access deux à deux par des champs communs. La figure 2.2 illustre les liens existants entre les tables.

Il est nécessaire d'assigner une clé primaire à chaque table. La clé primaire est assignée à un champ défini dans sa table « père ». Cela signifie que, pour une ligne donnée, dans la table père du champ faisant partie de la clé primaire, ce champ assure l'unicité de cette ligne dans la table à laquelle cette ligne appartient. On peut remarquer, sur la figure 2.2 que, les champs ayant le symbole d'une clé présent sur la gauche de la table, sont les champs qui forment la clé primaire de la table à laquelle ils appartiennent.

De plus, pour assurer l'intégrité référentielle de la relation entre deux tables, le lien entre les tables doit être créé avec un champ qui est la clé primaire dans une des deux tables et qui est présent comme un champ ayant aucune spécificité par rapport aux autres champs dans la seconde table.

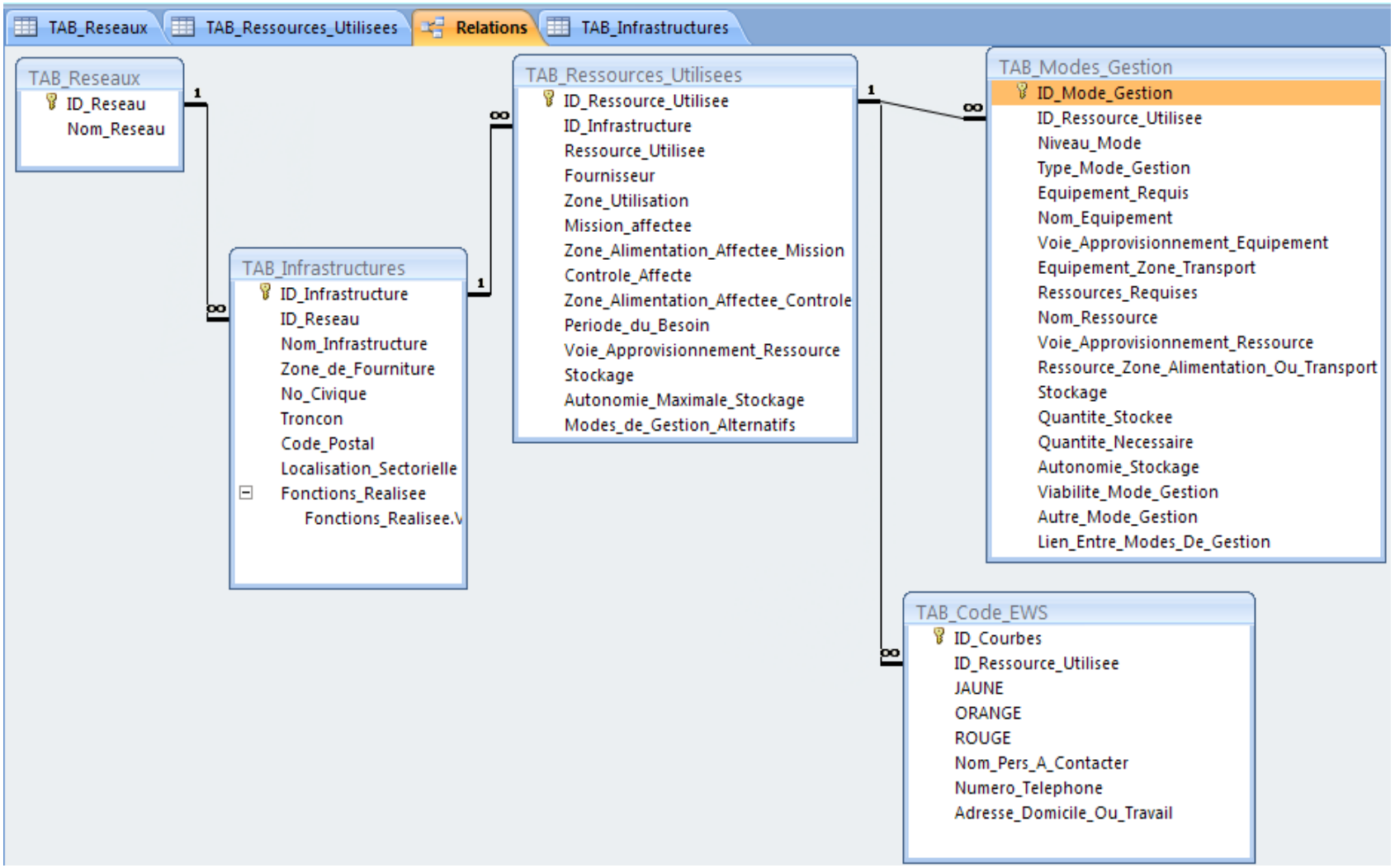


Figure 2.2 : Liens entre les tables constituant le système expert sous MS Access

Au total, les cinq tables suivantes contenant l'ensemble des données retenues suite aux entrevues avec les partenaires ont été créées :

- TAB_Reseau contient uniquement les noms des différents RSV auprès desquels des données ont été récupérées ;
- TAB_Infrastructures contient l'ensemble des informations concernant les infrastructures d'un réseau ;
- TAB_Ressources_Utilisees contient les données permettant de caractériser la(les) ressource(s) utilisée(s) par chaque infrastructure ;
- TAB_Modes_Gestion contient les données permettant de caractériser le(les) mode(s) de gestion de la défaillance d'un RSV ;
- TAB_Code_EWS contient les données concernant les délais, en heure, pour qu'un RSV entre dans un état différent de l'état de fonctionnement normal.

La figure 2.2 fait donc apparaître les relations entre les différentes tables. Toutes les relations entre les tables sont de type « un à plusieurs ». Ainsi, Tab_Reseau et Tab_infrastructures sont reliées par le champ ID_Reseau qui est la clé primaire de Tab_Reseau. Cela signifie que pour une ligne du champ ID-Reseau (de TAB_Reseau), on peut lui associer plusieurs lignes du champ ID-Infrastructure (de TAB_Infrastructure). Concrètement, cela traduit le fait qu'un réseau est composé de plusieurs infrastructures.

Il en est de même entre les tables TAB_Infrastructure et TAB_Ressources_Utilisées qui sont reliées entre elles par une relation de type « un à plusieurs » avec le champ ID_Infrastructure. Cela signifie qu'une même infrastructure peut utiliser plusieurs ressources différentes.

TAB_Ressources_Utilisée est reliée de la même manière avec TAB_Code_EWS par l'intermédiaire d'une relation un à plusieurs avec le champ ID_Ressource_Utilisee. Mais, conformément à la structure de la BC, pour une ressource donnée, on associe un seul code EWS.

TAB_Ressources_Utilisée est aussi reliée de la même manière avec TAB_Modes_Gestion par l'intermédiaire d'une relation de type « un à plusieurs » et toujours avec le champ

ID_Ressource_Utilisee. Cela signifie que, pour une ressource utilisée par une infrastructure appartenant à un réseau, il peut exister plusieurs modes de gestion de la défaillance.

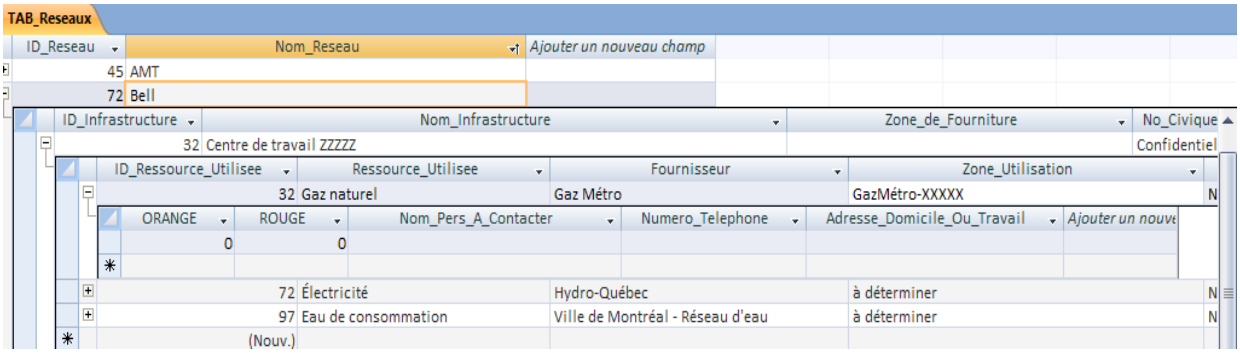


Figure 2.3 : Aperçu du mode tableau détaillé de la base de connaissances

La figure 2.3 montre de quelle façon les informations sont imbriquées les unes avec les autres.

2.2.3.2 Fonctions développées dans le SE

Au regard des besoins identifiés par les RSV, le CRP a développé avec MS Access des fonctions dont le but est de répondre au mieux aux besoins des partenaires. Dans un premier temps, des propositions ont été soumises aux partenaires. Les différentes fonctions identifiées et développées avant une rencontre avec les partenaires étaient les suivantes (figure B.1 de l'annexe B) :

- Saisir des données. Un formulaire permet d'ajouter toutes les données caractérisant une infrastructure d'un réseau : identification du réseau, identification des infrastructures, identifications des ressources utilisées de manière courante, identification des modes de gestion alternatifs ;
- Visualiser sous forme d'un rapport l'ensemble des infrastructures appartenant à un réseau ;
- Visualiser les ressources utilisées par une infrastructure d'un réseau sous forme d'un rapport ;

- Visualiser les infrastructures utilisant une ressource choisie dans un secteur choisi. Plus précisément :
    - Visualiser toutes les infrastructures utilisant la ressource dans le secteur choisi ;
    - Visualiser, sous forme de graphique (courbes de dépendances), les ED du premier ordre ;
    - Visualiser, sous forme de graphique (courbes de dépendances), les ED du deuxième ordre (générés suite aux ED du premier ordre) ;
    - Visualiser, sous forme de graphique (courbes de dépendances), à la fois les ED du premier ordre et ceux du deuxième ordre ;
    - Visualiser, sous forme de graphique (diagramme bâtons), les besoins en RA.
- Visualiser les infrastructures utilisant une ressource précise dans une zone d'alimentation choisie. Plus précisément, il est possible d'accéder aux informations en choisissant la zone d'alimentation soit par menu déroulant, soit en sélectionnant une zone d'alimentation sur une carte montrant les zones d'alimentation pour un réseau donné. Il est alors possible d'accéder aux mêmes types de données et de graphiques que dans l'option précédente.

Les modifications et améliorations apportées aux fonctions suite aux rencontres avec les partenaires seront présentées dans le chapitre 3.

2.2.4 La programmation du système

Une fois que l'architecture et les fonctions à développer ont été identifiées, il a fallu aborder la phase de programmation du système.

Comme il a été montré précédemment sur la figure 2.2, les relations entre les tables constituent l'architecture primaire de la BC. Après avoir modifié le fichier de la BC sous MS Excel, le transfert de l'ensemble des données recueillies sous MS Excel a été effectué vers les tables de MS Access.

Ce transfert a été grandement facilité grâce à la grande proximité de fonctionnement entre les deux logiciels car, ils sont tous les deux produits par un même fabricant et appartiennent à la Suite Office.

Suite à ce transfert de données, on a pu aborder la phase de construction et de mise en forme des fonctions dans MS Access.

Pour éviter d'alourdir le mémoire, uniquement la construction des principales fonctions du SE est développée :

- La saisie et la visualisation par l'utilisateur de données situées dans les tables du SE ;
- L'affichage de l'ensemble des ED (premier et deuxième ordre) en sélectionnant une ressource utilisée dans un secteur en particulier.

2.2.4.1 Saisie et visualisation de données

Par l'intermédiaire de formulaires de saisie de données il est possible d'ajouter, modifier ou visualiser les informations présentes dans les tables du SE.

Dans l'annexe B, les figures B.2, B.3, B.4 montrent les différents formulaires imbriqués les uns dans les autres. Lorsque l'utilisateur sélectionne un réseau dans "Section A - Identification du réseau", les flèches de défilement des trois autres sections donnent accès uniquement aux informations relatives au réseau sélectionné. Ensuite, lorsque l'utilisateur choisit une infrastructure dans " Section B - Identification des infrastructures ", les informations auxquelles il a accès dans les Section C et D concernent uniquement l'infrastructure sélectionnée. Il en est de même lorsque l'utilisateur choisit la ressource utilisée dans la section C. Alors les informations de la section D sont en relation uniquement avec la ressource sélectionnée.

Comme il a été montré précédemment (figure 2.2), les différentes données sont reliées entre elles par l'intermédiaire des tables suivantes : TAB_Reseaux, TAB_Infrastructures, TAB_Ressources_Utilisees et TAB_Modes_Gestion.

Pour créer cette fonction, il est nécessaire de construire dans un premier temps quatre formulaires indépendants, chacun étant relatif à une table donnée. Puis, il faut insérer le

formulaire «SectionD » relatif à TAB_Modes_Gestion dans le formulaire « Section C » relatif à « TAB_Ressources_Utilisees ». De même, il faut insérer le formulaire « Section C » dans le formulaire « Section B » relatif à TAB_Infrastructures qui lui-même est aussi inséré dans le formulaire « Section A » relatif à TAB_Reseaux.

Une fois construit, ce formulaire, qui contient quatre sous-formulaires, permet aux gestionnaires des réseaux d'entrer ou de modifier des données sur leur réseau respectif. Ces formulaires sont appelés à remplacer les questionnaires qui sont actuellement utilisés par le CRP pour colliger les informations des réseaux.

2.2.4.2 Identification des ED du premier ordre

Afficher l'ensemble des ED implique tout d'abord d'identifier les ED du premier ordre. Comme les ED du deuxième ordre sont basés sur ce résultat, il sera alors possible d'identifier les ED du deuxième ordre et ensuite d'afficher les résultats dans un même graphique sous la forme de courbes de dépendances. Concrètement, le raisonnement d'expert que l'on tente de reproduire par cette fonction est le suivant :

- Lorsqu'une ressource n'est plus disponible dans un secteur (ou zone d'alimentation) de la ville, quelles seront les infrastructures des réseaux affectés par l'indisponibilité de cette ressource (ED de premier ordre), comment ces réseaux seront-ils affectés et est-ce que l'affectation de ces réseaux peut elle-même affecter le fonctionnement d'autres infrastructures d'autres réseaux dans un avenir proche (ED de deuxième ordre).

Ce raisonnement d'expert se traduit par la construction d'un formulaire et de deux requêtes.

Premièrement, par l'intermédiaire d'un formulaire (figure B.5 de l'annexe B), l'usager doit choisir une ressource indisponible parmi les cinq suivantes: eau de consommation, eau de service, électricité, gaz naturel, liens téléphoniques fixes. Toujours dans ce même formulaire, il faut ensuite choisir le secteur dans lequel cette ressource n'est plus disponible parmi ceux définis par le concept de cartographie souple comme le montre la figure 1.1 : AE25, AF26, AG27, etc.

Ces deux paramètres d'entrée sont identifiés par l'intermédiaire de deux requêtes qui sélectionnent les informations choisies dans le formulaire, dans la table « TAB_Ressources_Utilisées » pour la ressource utilisée et dans la table « TAB_Infrastructures » pour le secteur.

Comme les deux requêtes de sélection du secteur et de la ressource utilisée conservent ce résultat dans des feuilles de données séparées (figure B.6 de l'annexe2), il est alors possible de baser la requête principale sur le résultat des deux requêtes précédentes.

La figure 2.4 montre l'architecture de la requête principale permettant de sélectionner la(les) infrastructure(s) affectée(s) par un ED du premier ordre. Pour la construire, il faut tout d'abord sélectionner les champs à retenir dans le résultat de la requête à partir des tables (partie supérieure de la figure 2.4). Dans la partie inférieure de la figure 2.4 sont affichés les champs qui seront dans le résultat du la requête.

La prise en compte de la sélection de la ressource utilisée et du secteur choisis précédemment dans le formulaire s'effectue dans la partie inférieure de la fenêtre. Il faut spécifier des critères au niveau des champs désirés comme le montrent les deux rectangles noirs de la figure 2.4. Les deux critères correspondent aux choix retenus dans le formulaire (figure B.5) pour la ressource utilisée d'un côté et pour le secteur de l'autre.

Lorsque cette requête est exécutée, les résultats retenus sont alors enregistrés dans une feuille de données avec toutes les informations correspondant aux champs retenus pour cette requête (figure B.6).

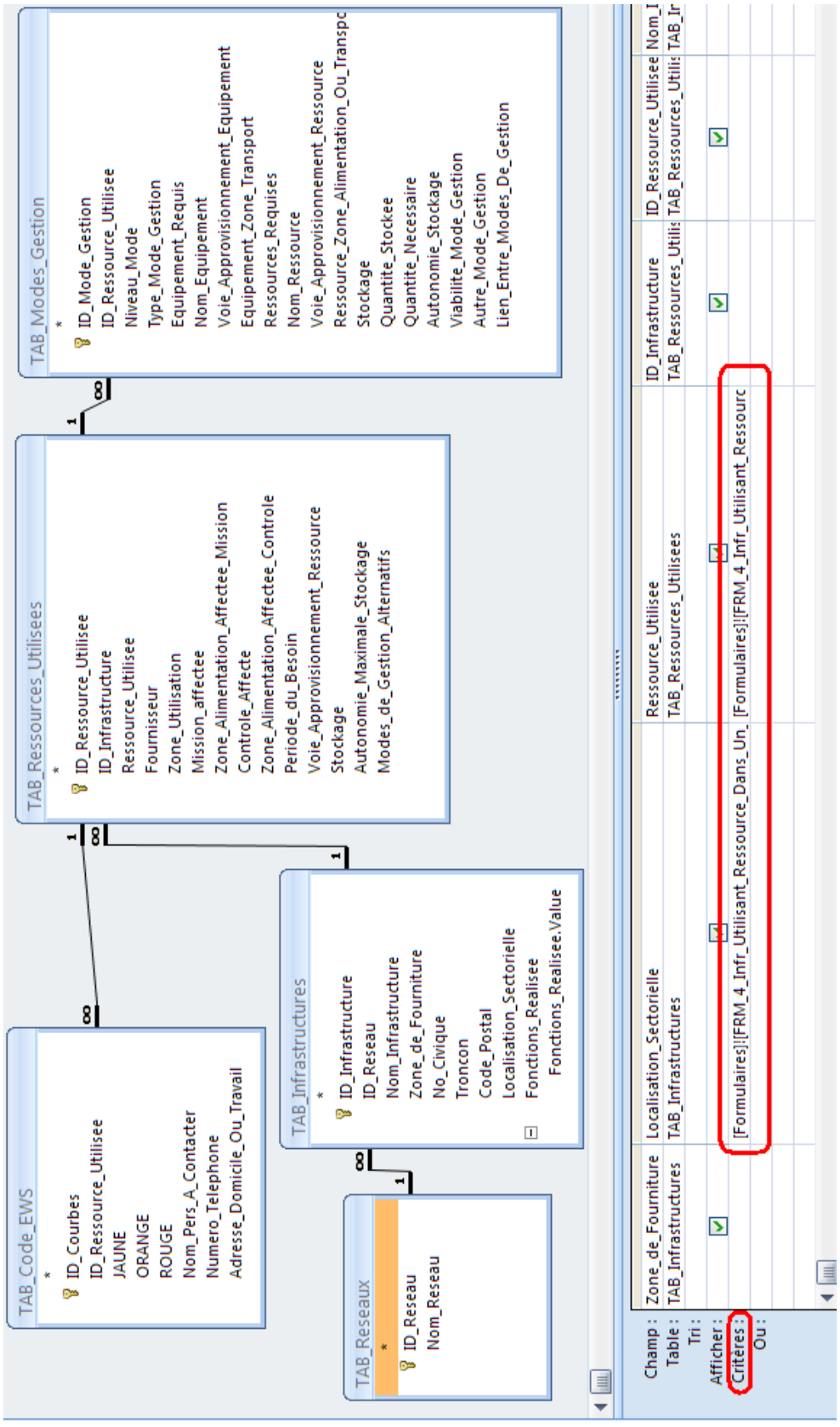


Figure 2.4 : Architecture de la requête permettant de sélectionner et d'afficher les ED du premier ordre

Avec les données correspondant au nombre d'heures pour qu'un RSV identifié par la requête (donc affecté par un ED du premier ordre) atteigne un état de défaillance donné (Jaune, Orange, Rouge), il est possible d'afficher les courbes de dépendances des ED du premier ordre en utilisant le mode « graphique croisé dynamique ». La figure 2.5 montre que suite à une défaillance du réseau d'eau dans un certain secteur de la zone d'étude (information confidentielle ne pouvant être divulguée), une infrastructure du MTQ et une autre du réseau Bell entrent en défaillance pendant quelques heures (état orange) avant de devenir inopérante (état rouge). Concrètement, cela se traduit par la fermeture d'un axe routier majeur au centre-ville de Montréal et par la perte des télécommunications dans le secteur desservi par l'infrastructure Central téléphonique 252118 de Bell, d'où possiblement des ED de deuxième ordre.

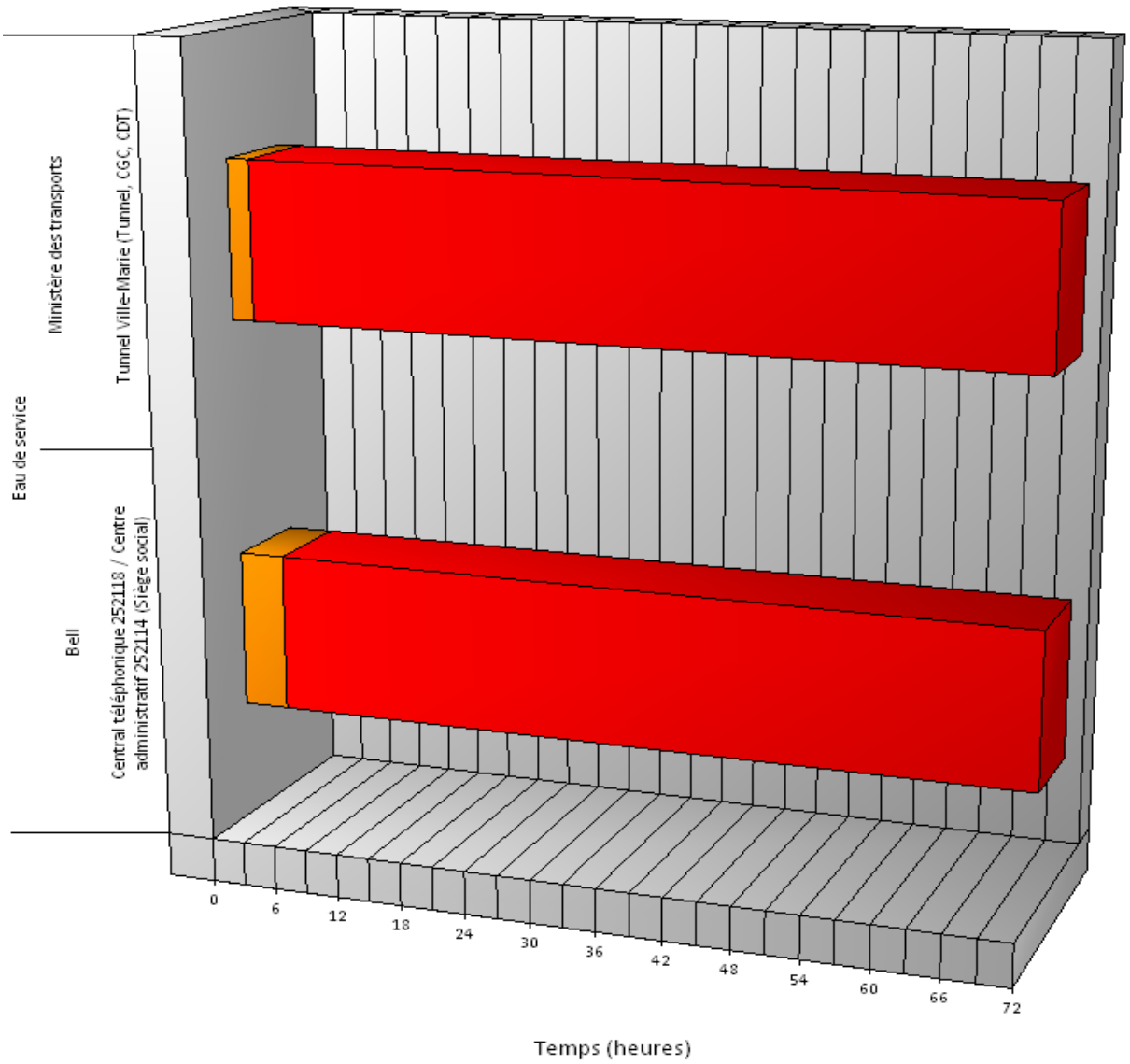


Figure 2.5 : Courbes de dépendances montrant les ED du premier ordre suite à une défaillance du réseau d'eau dans un secteur

2.2.4.3 Identification des ED du second ordre

Pour identifier les ED du second ordre, il faut se baser sur les RSV affectés par les ED du premier ordre. Ainsi, il faut construire une nouvelle requête dont les champs retenus sont les mêmes que ceux de la requête servant à identifier les ED du premier ordre mais qui ne sélectionne que les ED du deuxième ordre.

Comme il a été expliqué précédemment, les RSV affectés par les ED du second ordre sont ceux qui utilisent les ressources fournies par les RSV ayant été affectés par un ED de premier ordre. C'est-à-dire que ces RSV (de la deuxième requête) doivent être situés dans la zone d'alimentation d'une ressource fournie par un des RSV identifiés lors de la première requête. Il faut donc prendre en compte ce critère dans la requête.

Les résultats de cette deuxième requête sont eux aussi stockés dans une feuille de donnée qu'il est alors possible d'afficher sous forme de courbes de dépendances en utilisant le mode graphique de MS Access. La figure 2.6 montre que, suite à une indisponibilité des liens téléphoniques fixes (Réseau Bell affecté suite aux ED du premier ordre, cf. figure 2.5) dans la zone d'alimentation Bell 252118 (desservie par le central téléphonique 252128), des infrastructures de Hydro-Québec, du MTQ et du réseau d'eau (pas de courbes associées car manque de données) atteignent un état défaillant.

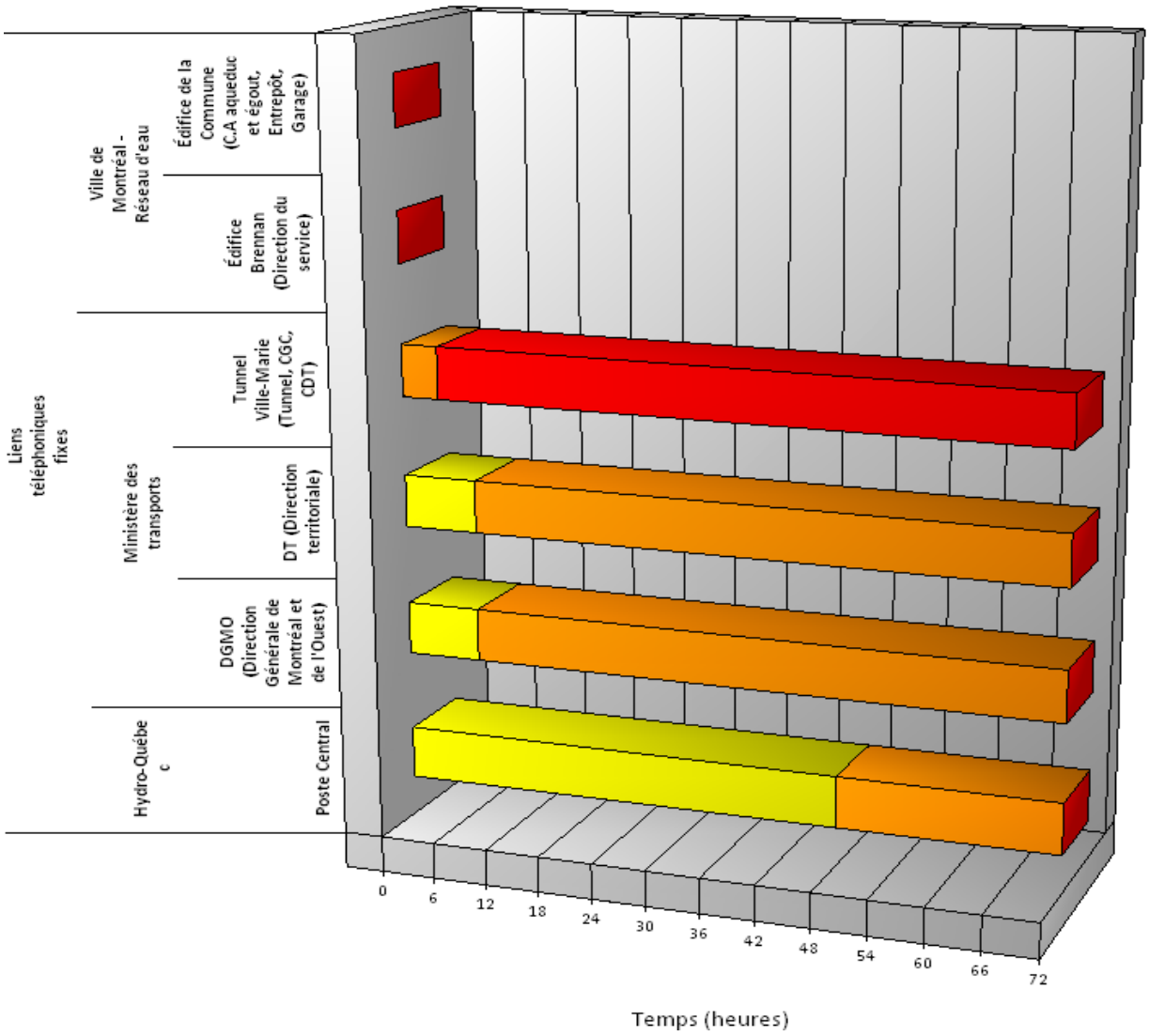


Figure 2.6 : Courbes de dépendances montrant les ED du deuxième ordre suite à une défaillance des liens téléphoniques après un ED du premier ordre

Il est à noter que, comme la requête pour identifier les ED du second ordre est basée sur la requête pour identifier les ED du premier ordre, il est nécessaire d'exécuter celle du premier ordre avant d'exécuter celle du second ordre.

2.2.4.4 Affichage de l'ensemble des ED

Pour obtenir une vision globale des ED, c'est à dire visualiser sur un même graphique à la fois les ED du premier ordre et les ED du deuxième ordre, il est absolument nécessaire d'exécuter les

deux requêtes. Le problème posé par MS Access est qu'il est impossible d'afficher dans un même graphique, le résultat de deux requêtes différentes en tant que deux objets distincts.

La solution trouvée pour contourner ce problème consiste à créer une requête dite « union ». Le principe de fonctionnement est le même que pour une requête de base sauf qu'il est possible d'exécuter deux requêtes dans une seule. Le seul bémol est qu'il n'est pas possible de la créer aussi simplement qu'une requête de base. Il faut programmer la requête directement en langage SQL que MS Access est capable de lire.

Comme le montre la figure B.7 (Annexe B), la requête identifie dans un premier temps les ED du premier ordre puis, en utilisant la fonction « UNION ALL », la seconde partie de la requête permet l'identification des ED du deuxième ordre. Il est important de remarquer que dans la programmation en langage SQL de la requête, les champs sélectionnés doivent être strictement les mêmes et exactement dans le même ordre entre la partie de la requête avant « UNION ALL » (correspondant aux ED du premier ordre) et la partie de la requête après « UNION ALL » (correspondant aux ED du deuxième ordre).

Comme pour une requête de base, les résultats sont stockés dans une feuille de données. Il en résulte l'affichage d'un graphique des courbes de dépendances avec, à la fois les ED du premier ordre et ceux du deuxième ordre. La figure 2.7 montre que les infrastructures associées aux courbes qui sont immédiatement dans une couleur autre que le vert sont celles affectées par les ED du premier ordre (courbes de la figure 2.5), alors que les infrastructures associées aux courbes qui sont d'abord dans le vert puis et qui entrent dans un état dégradé donc dans une couleur autre que le vert, sont les infrastructures affectées par les ED du deuxième ordre (courbes de la figure 2.6).

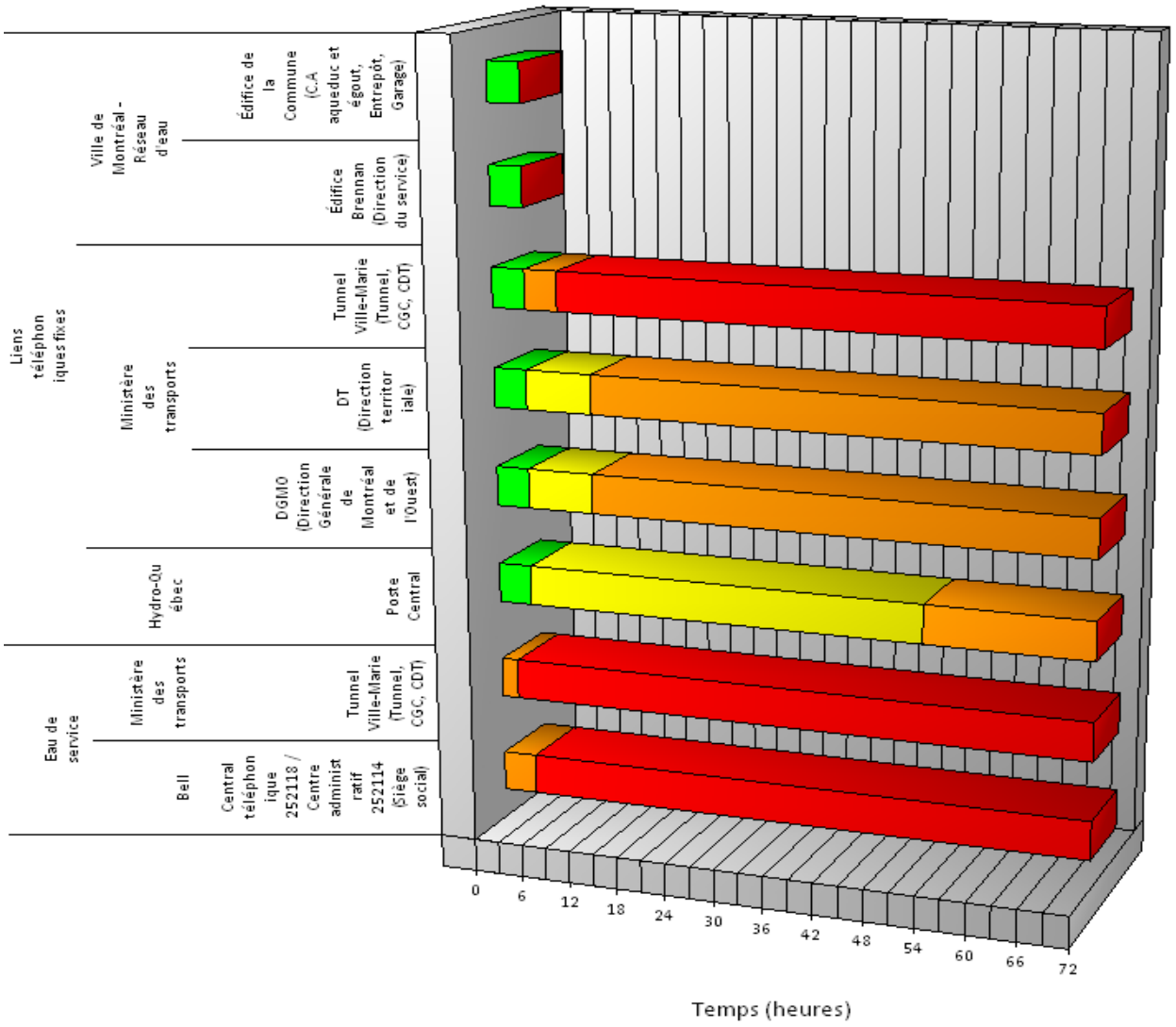


Figure 2.7 : Courbes de dépendances montrant les ED du premier ordre et ceux du deuxième ordre

La programmation de l'ensemble des fonctions définies dans la partie 2.2.3.2 nécessitant une exploitation des résultats à l'aide d'un graphique est similaire à la programmation utilisée pour construire la fonction d'affichage de l'ensemble des ED qui est détaillée dans les sections 2.2.4.2, 2.2.4.3 et 2.2.4.4. Il faut sélectionner les données nécessaires par l'intermédiaire d'une ou plusieurs requêtes pour ensuite exploiter les champs voulus dans un graphique.

Pour ce qui est de la visualisation des courbes de dépendances en sélectionnant une zone d'alimentation directement sur la carte géographique d'un réseau (cf. partie 2.2.3.2) il est

nécessaire d'assigner, sur la carte, un bouton à chaque zone permettant de la sélectionner ou non dans la requête.

Pour ce qui est des autres fonctions, elles nécessitent uniquement l'affichage des résultats des requêtes. Il sera développé dans le chapitre 3 que pour mieux exploiter les résultats contenus dans les feuilles de données, il est possible de créer et de personnaliser des rapports permettant de présenter les résultats de manière plus adaptée aux besoins des gestionnaires des RSV, du CSC et du BSC.

Pour conclure, l'objectif de modélisation des ED est en grande partie réussi étant donné l'atteinte de plusieurs sous-objectifs :

- Le développement et l'adaptation de la BC pour permettre au mieux son exploitation future dans le SE créé avec le logiciel MS Access ;
- La réalisation de quatre tâches : l'analyse du besoin, le choix de la plateforme informatique, le design du système, la programmation du système

Pour atteindre pleinement le premier objectif du projet qui est la modélisation des ED, il reste à valider le fonctionnement du SE puis à le faire évaluer par les experts des RSV pour s'assurer que les résultats obtenus pour un scénario donné sont conformes aux résultats trouvés par les experts. Il est aussi nécessaire de s'assurer que le SE réponde parfaitement aux besoins des experts des RSV et des responsables de la sécurité civile. Ainsi, dans le chapitre suivant, nous aborderons la phase de validations effectuées à l'interne puis les tests effectués avec les partenaires, ensuite nous discuterons des modifications et des améliorations apportées au SE suite aux rencontres qui ont eu lieues à cet effet et enfin nous traiterons des difficultés rencontrées lors le développement de l'outil.

CHAPITRE 3 TESTS ET VALIDATIONS

Comme il a été exposé précédemment, le SE développé avec MS Access est un prototype en vue de développer un SE final (avec ou non la même plateforme informatique) qui sera ensuite inséré dans un SAP. Une fois le prototype développé et approuvé par les partenaires, il sera plus facile de décider si MS Access est bien l'outil qu'il faut pour le SE ou alors si une migration vers une nouvelle plateforme est souhaitable. Le cas échéant, le prototype servira de base de référence pour le développement du nouveau SE.

Le SE doit être en mesure d'interpréter les connaissances et les expertises contenues dans la BC afin de déterminer les ED susceptibles d'être engendrés par toute situation qui lui sera soumise. L'atteinte du premier objectif du projet sera déterminée en fonction de la capacité du SE à tirer les mêmes conclusions que les experts des RSV pour les différentes situations qui seront testées.

Ainsi, pour s'assurer du bon fonctionnement du SE auprès des partenaires, dans un premier temps, nous présenterons les validations effectuées en interne puis les tests effectués avec les partenaires. Ensuite, nous montrerons les améliorations requises par ces derniers et enfin nous aborderons les difficultés rencontrées lors du développement de l'outil.

3.1 Validations à l'interne des résultats obtenus par le SE

Suite à la programmation du SE et, dans le but de présenter un outil fonctionnel à faire tester par les experts des RSV, il a fallu procéder à une première phase de validations au sein du CRP. C'est-à-dire qu'il a fallu vérifier l'absence de problèmes informatiques dans l'exécution de l'ensemble des fonctions telles que visualiser des courbes de dépendances, des rapports ou saisir des données par l'intermédiaire des formulaires.

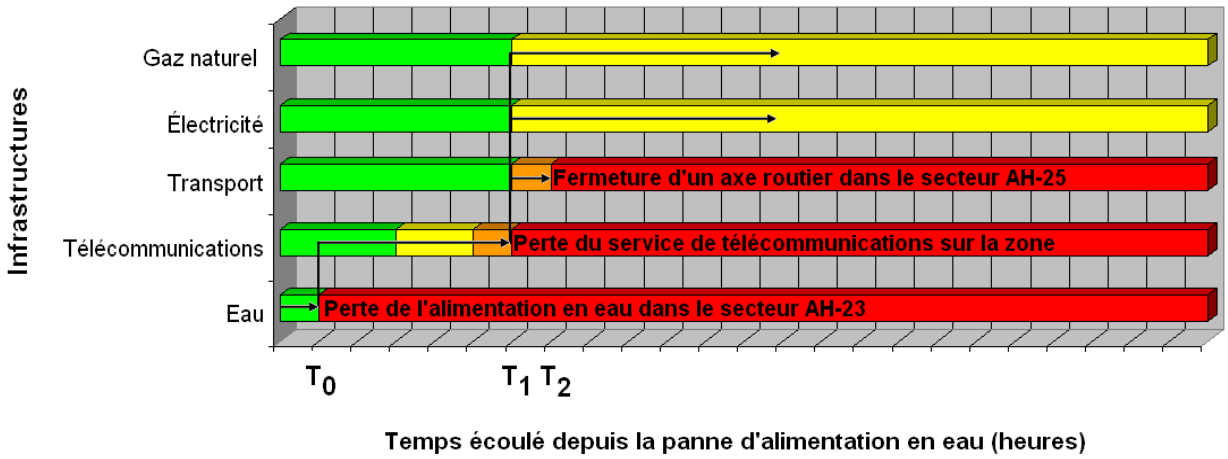


Figure 3.1 : Exemple de courbes d'effets domino (cf.figure 1.3)

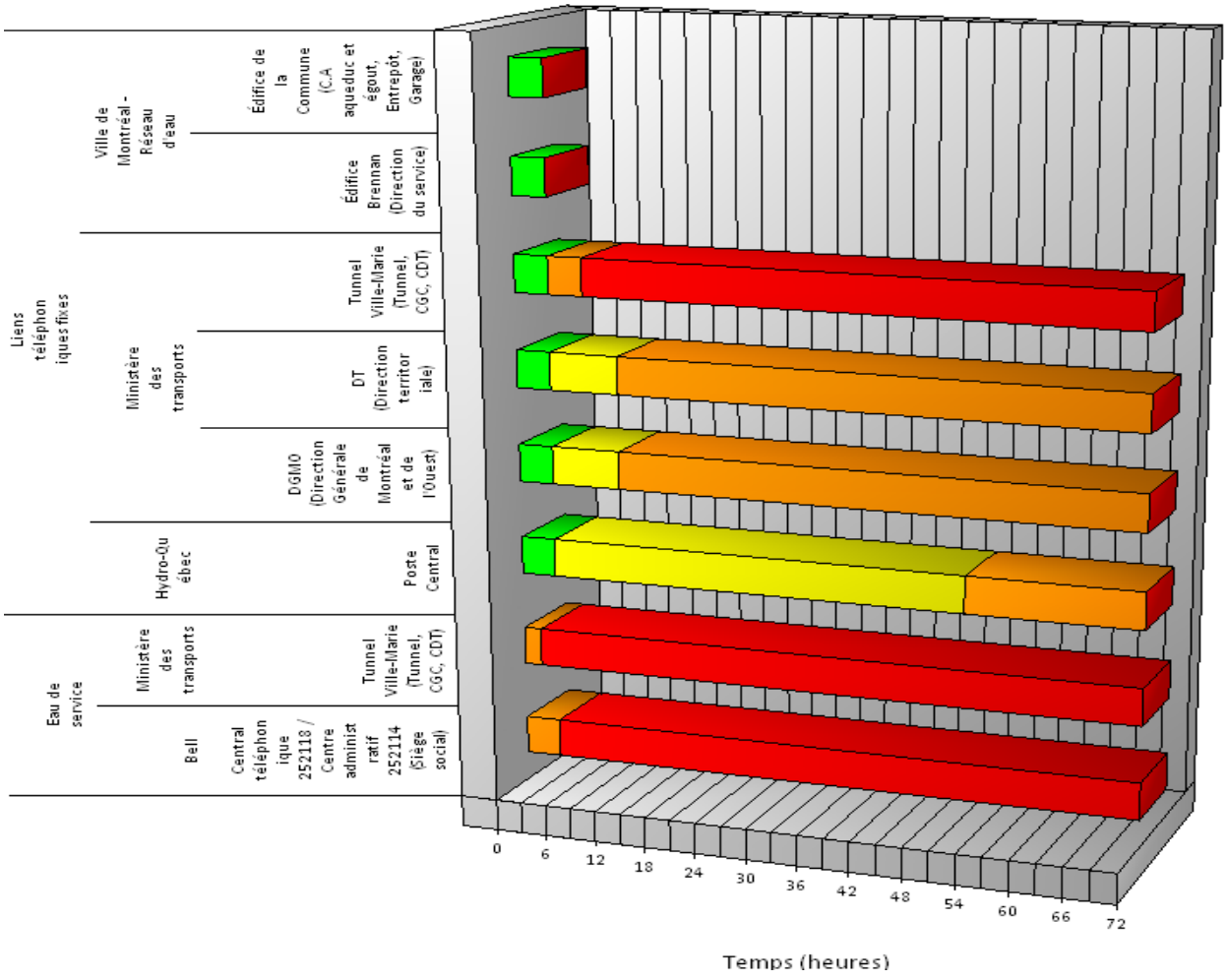


Figure 3.2 : Courbes de dépendances montrant les ED du premier ordre et ceux du deuxième ordre (cf. figure 2.7)

Voici un exemple de validation qui a pu être effectuée : dans la simulation présentée dans la section 1.1 et qui définit les ED, on considère la défaillance du réseau d'eau en centre-ville (secteur AH23). Alors, l'ED du premier ordre engendré entraine la défaillance du service de télécommunications sur la zone. Suite à cette défaillance des télécoms, cela engendre un ED du deuxième ordre qui entraine à son tour la fermeture d'un axe routier (le Tunnel Ville-Marie). Les courbes d'ED obtenues suite à une analyse des données en appliquant le résonnement d'expert (sans le SE) sont présentées sur la figure 3.1. Ensuite, les paramètres d'entrée identiques ont été utilisés avec le prototype du SE. Les courbes d'ED alors obtenues sont présentées sur la figure 3.2. Sur ce graphique, les ED du premier et les ED du deuxième ordre sont présentés.

Ainsi, il est possible de constater, sur les deux graphiques, qu'une défaillance de l'eau de service donne lieu à une défaillance du central téléphonique Bell-252118 au bout de 4 heures, qui entraine la défaillance du Tunnel Ville-Marie au bout de 8 heures.

Mais, on peut aussi observer des différences dans la présentation des résultats obtenus sur les deux graphiques :

- Sur la figure 3.1, qui correspond aux résultats obtenus sans le SE, l'enchainement en cascade des ED est représenté par les différentes flèches. Cela montre clairement, de manière visuelle, les différents ED engendrés suite à la défaillance du réseau d'eau. Alors que sur la figure 3.2, qui correspond aux résultats obtenus avec le SE, ces informations ne sont pas montrées clairement. Il est nécessaire d'analyser l'ensemble des courbes pour identifier les différents ED engendrés ;
- La figure 3.1 affiche textuellement les ressources correspondant aux réseaux qui entrent en défaillance suite aux différents ED et les secteurs concernés. Ces informations ne sont pas présentes sur la figure 3.2 ;
- La figure 3.2 présente clairement le nom des différentes infrastructures appartenant aux différents réseaux affectés par les ED ;
- Le graphique de la figure 3.2 montre les infrastructures affectées par un ED du premier ordre (Tunnel Ville-Marie et Bell-252118) et il présente aussi les infrastructures susceptibles d'être affectées par un ED du deuxième ordre. Cela

signifie que les six courbes de la partie supérieure du graphique (avec du vert) sont celles des infrastructures utilisant soit le Tunnel Ville-Marie et/ou Bell-252118. Dans cette simulation, les ED du deuxième ordre sont uniquement engendrés par la défaillance des liens téléphoniques fixes (Bell-252118). Il est alors possible de constater qu'un édifice d'Hydro-Québec et deux du Ministère des Transports sont affectés. De plus, il est possible de voir que le Tunnel Ville-Marie est lui aussi affecté car il utilise aussi Bell-252118. Il possède alors une autonomie de quatre heures (orange) puis il devient défaillant. Mais, comme il a été expliqué précédemment, le Tunnel Ville-Marie est déjà défaillant car il utilise l'eau de service. Ainsi, il ne faut pas prendre en compte la deuxième courbe le concernant. Cette courbe permet de savoir que le Tunnel Ville-Marie utilise (en plus de l'eau de service) des liens téléphoniques fixes (Bell-252118). Concernant l'Édifice Brennan et celui de la Commune, un manque de données ne permet pas de compléter le graphique mais on sait que ces deux infrastructures utilisent Bell-252118 ;

- La figure 3.1 ne donne pas d'information concernant l'utilisation de l'eau de service par le Tunnel Ville-Marie et donc ne permet pas d'identifier que la perte de l'eau de service dans le secteur AH23 engendre un ED du premier ordre qui affecte directement le Tunnel Ville-Marie.

Le constat final que l'on peut tirer concernant les résultats obtenus d'un côté par le raisonnement d'un expert et de l'autre par le SE est qu'ils permettent d'arriver à la même conclusion : une défaillance du réseau d'eau en centre-ville entraine l'indisponibilité de liens téléphoniques (Bell-252118) et du Tunnel Ville-Marie.

Au regard des quelques exemples d'ED (du premier et du deuxième ordre) issus de situations de référence recueillies et validées auprès des experts lors du premier projet réalisé par le CRP, il a été possible de vérifier et valider le bon fonctionnement du SE. Il a aussi été possible d'effectuer des simulations au sein du CRP en testant l'ensemble des fonctions et en modifiant les paramètres en entrée pour vérifier que les résultats étaient similaires à ceux obtenus par les experts des RSV.

Mais, les données qui ont été récupérées dans la BC par Guichardet (principalement au centre-ville de Montréal) ne sont pas suffisamment complètes pour modéliser des ED entre les RSV à un ordre supérieur à deux et dans une zone autre que le centre-ville. Pour identifier des ED d'un ordre trois ou plus, cela implique d'avoir suffisamment de données dans l'ensemble des zones entourant le centre-ville. Comme ce n'est pas le cas, le SE n'a pas suffisamment de données pour évaluer et vérifier les critères entrés dans les requêtes et qui s'appliquent aux champs des tables. C'est pourquoi, actuellement, les simulations pour valider le fonctionnement du l'outil ne concernent que le centre-ville de Montréal.

3.2 Tests effectués auprès des partenaires

Une fois que la vérification et la validation du bon fonctionnement du SE ont été effectuées au sein du CRP, il a été nécessaire de présenter l'outil aux partenaires : les experts des RSV et les gestionnaires du CSC et du BSC.

Différentes rencontres ont été organisées entre les experts du CPR et les partenaires, d'abord avec ceux de Québec puis avec ceux de Montréal. Les objectifs de ces rencontres étaient à la fois de faire un retour sur la méthodologie développée par le CRP afin que tous les partenaires présents comprennent la base à partir de laquelle a été développé l'outil puis de présenter le prototype du SE développé dans le cadre ce mémoire. Il a été possible d'effectuer des démonstrations des différentes fonctions dont l'outil dispose et qui ont été développées au regard des besoins exprimés par les partenaires. Ces besoins reposent sur la nécessité pour les RSV, le CSC et le BSC de disposer d'outils leur permettant de répondre à leurs besoins croissants d'informations en temps réel pour décider rapidement des mesures (de prévention ou de protection) à prendre en situation de besoin.

Suite à ces diverses présentations et à l'aide des commentaires émis par les partenaires, les constats suivants ont pu être établis :

- Les experts des RSV ne veulent pas que les gestionnaires du CSC et du BSC aient accès et/ou modifient les données des réseaux. Ces données sont confidentielles et doivent le rester. Seules les informations traitées et analysées relatives aux interdépendances entre les réseaux et les besoins en RA peuvent être divulguées;

- Les fonctions proposées dans le SE sont développées principalement pour répondre aux besoins des gestionnaires du CSC et du BSC. Ainsi, les experts des RSV ne perçoivent pas l'intérêt de l'outil si ce dernier n'est pas en mesure de fournir plus de connaissances et d'expertises que celles déjà contenues dans la BC. Cela signifie que le SE doit leur fournir des informations sur leur réseau et leurs interdépendances qu'ils ne possèdent pas déjà.

Un certain nombre d'autres points abordés par les partenaires ont révélé leur inquiétude concernant le mode courant d'utilisation d'un tel outil :

- Qui sera responsable de la gestion du SE ? Entrera les informations dans le système en temps réel lorsqu'une situation se présentera ? Assurera la communication des informations transmises par le SE aux autres partenaires ?
- Qui sera responsable de la mise à jour des informations contenues dans la BC ?
- Par quel moyen sera-t-il possible d'accéder à l'outil pour mettre à jour, consulter ou rajouter des informations : Faudra t-il se connecter sur internet ? Envoyer les informations par courriel ? Héberger l'outil avec la BC au sein du CSC et du BSC ?

L'ensemble de ces interrogations pourra être résolu uniquement lorsque le projet sera plus avancé. En effet, plusieurs de ces questions se rapportent au SAP et non au SE. Toutes les questions de logistique autour de la gestion de l'outil devront être résolues au cours du projet et dépassent le cadre des travaux présentés dans ce mémoire. Toutefois, il sera présenté dans le dernier chapitre, des pistes de réponse.

3.3 Modifications et améliorations apportées au SE suite aux rencontres avec les partenaires

Suite aux différentes rencontres avec les partenaires, l'outil a été modifié et adapté afin de répondre aux besoins formulés par les RSV, le CSC et le BSC.

3.3.1 Sécuriser l'accès aux données

Pour faire face aux problèmes de privilèges et d'accès aux informations, il a été décidé, dans un premier temps, de sécuriser l'accès aux fonctions disponibles. Contrairement à la version présentée aux partenaires, deux étapes d'identification ont été rajoutées : une pour le choix de l'utilisateur et une autre pour saisir le mot de passe correspondant à l'utilisateur en question (figures C.1 et C.2 de l'annexe C). Chaque utilisateur s'est donc vu assigner un mot de passe qui lui donne accès aux informations relatives à son propre réseau et à certaines autres options le renseignant sur les dépendances de son réseau face aux ressources qu'il utilise ainsi que sur les dépendances des autres réseaux face à la ressource que lui-même fournit. Donc, en plus d'entrer des données sur son réseau ou d'effectuer des mises à jour de ces données, chaque utilisateur peut, par exemple connaître rapidement les ressources qu'il utilise, pour quelles infrastructures et dans quels secteurs de la zone d'étude. Il peut aussi rapidement identifier les utilisateurs de la ressource qu'il fournit dans les différents secteurs de la zone d'étude et connaître le niveau de criticité de ces dépendances.

Pour renforcer l'apport de l'outil du point de vue des experts des RSV, il a été nécessaire de développer de nouvelles fonctions. La figure B.1, de l'annexe B, présente l'interface initiale avec les fonctions développées avant la rencontre avec les partenaires. Les fonctions proposées ainsi que l'accès aux données brutes et aux métadonnées sont identiques quelque soit l'identité de l'utilisateur du SE.

Dès lors, une modification de l'interface du SE a été nécessaire pour sécuriser l'accès et l'écriture des données. D'un côté, la figure C.3 (annexe C) présente l'interface pour les gestionnaires du CSC et du BSC et de l'autre, la figure C.4 (annexe C) présente l'interface pour les experts des RSV.

3.3.2 Création de fonctions adaptées aux besoins des RSV

Les figures C.3 et C.4, montrent les différentes fonctions qui ont été développées suite aux rencontres avec les partenaires. Comme il a été énoncé précédemment, l'objectif de ces nouvelles fonctions est de s'adapter au mieux d'un côté aux besoins des gestionnaires du CSC et du BSC et de l'autre aux besoins des experts des RSV.

De plus, étant donné la réticence de la part des partenaires quant au réel apport de cet outil dans la gestion des conséquences des ED sur leurs infrastructures, il a été nécessaire de repenser à la fois l'affichage de certaines données et, pour certaines fonctions, de sélectionner des données différentes.

3.3.2.1 Restriction de l'accès aux données pour le CSC

Le principe de développement des nouvelles fonctions est de donner des informations sur les secteurs considérés comme étant critiques. Cela correspond à renseigner les RSV sur les interdépendances géographiques, les interdépendances physiques ainsi que les dépendances.

La figure C.3 présente les trois fonctions principales auxquelles le gestionnaire a accès :

- Visualisation des dépendances (courbes de dépendances) face à une ressource dans un secteur. Cette fonction permet d'afficher les ED engendrés suite à la défaillance d'une ressource dans un secteur spécifique. Les sous-fonctions sont celles présentées dans la section 2.2.4.2 et sur la figure B.1 de l'annexe B ;
- Visualisation des dépendances (courbes de dépendances) face à une ressource dans une zone d'alimentation. Cette fonction permet d'afficher les ED crées suite à la défaillance d'une ressource dans une zone d'alimentation spécifique. Comme décrit dans la section 2.2.4.2, les sous-fonctions associées permettent, en sélectionnant une zone d'alimentation pour une ressource particulière, de visualiser les ED engendrés ;
- Visualisation de la criticité des secteurs face à une panne d'une ressource. C'est à dire que le gestionnaire a la possibilité de recenser, pour un réseau particulier, l'ensemble des infrastructures des RSV qui seraient affectées suite à la perte d'une ressource. Il est alors possible, pour chaque secteur, de spécifier le nombre d'infrastructures qui deviennent indisponibles (état Rouge : criticité élevée) et celles qui entrent dans un été dégradé (état Jaune : criticité faible).

Le changement majeur apporté aux deux fonctions de visualisation de la dépendance pour les responsables de la sécurité civile concerne le filtrage des informations mises à leur disposition.

Pour garantir aux experts des RSV le caractère confidentiel des données concernant leur réseau, il a été nécessaire de limiter au maximum les informations mises à la disposition du CSC et du BSC. Les informations restantes doivent uniquement permettre aux gestionnaires du CSC et du BSC d'avoir une idée d'ensemble de la situation et leur permettre de fournir une réponse adéquate en termes de sécurité civile. Par exemple, lorsqu'une situation d'ED est identifiée par le SE, le CSC et le BSC doivent rapidement identifier quels sont les RSV affectés, comment et dans quels secteurs et quelles conséquences sont à venir sur les autres RSV (ED de deuxième ordre). L'objectif est que le CSC et le BSC soit capable de prendre les mesures de prévention et de protection nécessaires. Il est donc nécessaire que les métadonnées apportent une vision d'ensemble de la situation actuelle et de son évolution temporelle.

Pour une meilleure visualisation et exploitation des métadonnées produites par le SE, il a été nécessaire de créer des rapports. Les rapports sont des objets de MS Access, au même titre que les requêtes ou les formulaires, qui permettent de personnaliser la présentation des données en vue d'afficher les résultats d'une requête pour les conserver en archive ou pour les exploiter en temps réel. Pour faciliter la visualisation de la dépendance d'un réseau face à une ressource, dans un secteur précis, différents rapports ont été créés en accompagnement des courbes de dépendances qui affichent à la fois les ED du premier ordre et ceux du deuxième ordre (figure 2.7). Les trois nouveaux rapports créés sont :

- Interprétation et analyse des infrastructures d'un RSV affectées par la défaillance d'un réseau. La figure C.5 (annexe C) montre, dans la partie supérieure du rapport, les infrastructures qui sont seulement affectées par la défaillance d'une ressource, puis dans l'encadré, les infrastructures ainsi que le nombre d'heures correspondant pour qu'elles deviennent défaillantes. La figure C.6 (annexe C), qui représente la suite de la figure C.5, présente quant à elle les infrastructures qui sont affectées ou qui entrent en défaillance suite aux ED d'ordre deux ;
- Les actions à prendre suite à la non-fourniture d'une ressource dans un secteur. Pour faciliter la prise de décisions par les responsables de la sécurité civile, il est important de fournir des renseignements tels que les coordonnées de la personne capable de prendre des mesures suite à la défaillance d'une

infrastructure (figure C.7 de l'annexe C). De plus, la quantité en ressource alternative à prévoir, si nécessaire, est affichée pour mieux gérer une défaillance à venir ;

- Les besoins spécifiques en ressource alternative, si nécessaire, pour chaque infrastructure affectée par la non-fourniture d'une ressource (figure C.8 de l'annexe C). Il est important de donner le besoin total, pour chaque type de ressource alternative, dans l'optique de donner une vision globale au gestionnaire. Ce rapport s'ajoute donc au graphique initial représentant uniquement les besoins en ressource alternative d'un seul type, pour l'ensemble des infrastructures affectées (figure C.9 de l'annexe C).

La manière dont ces rapports analysent et retranscrivent les informations répond mieux à une utilisation de l'outil par les gestionnaires du CSC et du BSC.

3.3.2.2 Nouvelles fonctions adaptées aux besoins des responsables des RSV

Pour susciter un intérêt notable de la part des responsables des RSV et pour les inciter à se positionner par rapport à l'utilisation du SE, il a fallu modifier les fonctions ainsi que les métadonnées initialement développées.

La figure C.4 (annexe C) montre les nouvelles fonctions développées spécifiquement pour les besoins des RSV. Ainsi, elles sont :

- Un accès unique pour chaque RSV aux données le concernant (figure C.10 de l'annexe C). Contrairement à la version initiale du formulaire de saisie des données, un expert peut mettre à jour ou simplement visualiser des données concernant uniquement son réseau. Il n'a aucun accès aux données des autres RSV. Cela permet d'accroître le caractère confidentiel des informations ;
- La visualisation, sous forme de rapport, de l'ensemble des informations relatives à la localisation des infrastructures appartenant à un seul réseau. Le but de cette fonction est de donner une vue d'ensemble du réseau et de sa répartition dans l'espace géographique ;

- La visualisation des ressources utilisées par une infrastructure du réseau sélectionné. Ce rapport donne de nombreuses informations se rapportant aux différentes ressources utilisées par l'infrastructure sélectionnée : zone d'utilisation, mission assurée par l'infrastructure, période du besoin, etc. Cela apporte à l'expert du RSV une vue détaillée de l'interdépendance d'une infrastructure particulière face au(x) ressource(s) qu'elle utilise ;
- La visualisation de la dépendance du réseau par rapport à une ressource particulière. Ce rapport permet de recenser les infrastructures du RSV utilisant une ressource particulière, par secteur ou pour l'ensemble de la zone géographique.

Les différentes fonctions développées ci-dessus donnent, aux experts des RSV, la certitude que leurs données resteront confidentielles et leur apportent à la fois une vision globale de la situation de leur réseau par rapport à l'ensemble des réseaux avec lesquels il est interdépendant, et une vision centrée sur des éléments précis du réseau.

3.4 Difficultés rencontrées

Lors du développement du SE, et tout en s'attachant à répondre au mieux aux besoins des utilisateurs potentiels, certaines limites ont été identifiées concernant les fonctionnalités offertes par MS Access.

Il a été montré précédemment que le logiciel MS Access remplissait les différents critères identifiés pour le bon développement d'un prototype de SE. Mais, après avoir initiée la phase de présentation auprès des partenaires, des limites concernant l'exploitation des métadonnées ont été révélées.

3.4.1 Génération de graphiques dynamiques

L'un des principaux intérêts de l'exploitation des données par un SE est sa capacité à établir les ED du premier et du deuxième ordre en construisant des graphiques représentant les courbes de dépendances et les ED.

Dans un premier temps, les tentatives pour créer les mêmes graphiques sous MS Access que ceux obtenus avec MS Excel se sont avérées un échec à cause d'un manque de flexibilité du générateur de graphiques de MS Access. Ensuite, au vue de la proximité entre les deux logiciels, il a été envisagé de recueillir les métadonnées créées avec MS Access pour les envoyer ensuite vers MS Excel et les utiliser pour tracer les courbes de dépendances. Plusieurs problèmes ont empêché le succès de cette méthode :

- Nécessité, pour le chemin crée entre le fichier Excel et le fichier Access, de rester toujours le même. C'est à dire qu'il est impossible de déplacer les deux fichiers vers un autre ordinateur sous peine de devoir redéfinir à chaque fois le chemin entre les deux fichiers ;
- Impossibilité de créer un lien dynamique entre les deux fichiers. Cela signifie que, une fois que les données du fichier Access sont importées dans le fichier Excel, il est possible de tracer les graphiques désirés. Mais, il est impossible de remplacer par un processus automatique les nouvelles données Access issues d'une nouvelle simulation, pour les importer dans le fichier Excel. Ainsi, il est impossible de générer de nouvelles courbes de dépendances propres à chaque simulation ;
- Manque de flexibilité concernant la personnalisation des graphiques avec MS Access. En effet, le générateur de graphique n'est pas aussi performant sous MS Access que ne l'est celui de MS Excel. Les défauts majeurs sont l'impossibilité de créer des cellules dynamiques dans la zone de graphique et le manque de lisibilité lorsque le nombre de données est trop important.

Pour pallier aux différentes contraintes rencontrées lors de l'utilisation du générateur de graphiques, c'est à dire au manque d'informations et de clarté dans la zone du graphique, il a été nécessaire d'accompagner les courbes de conséquences avec des analyses supplémentaires contenues dans des rapports (cf. figure C.5, C.6, C.7, C.8 de l'annexe C). Chaque fois que le SE génère un graphique, il génère automatiquement des rapports qui accompagnent le graphique et qui expliquent la situation représentée par le graphique. Ce faisant, on évite de surcharger le graphique avec les informations s'y rattachant.

De plus, la visualisation des graphiques a montré une autre limitation de MS Access: il est impossible de faire apparaître sur un même graphique, pour une même simulation, les besoins pour deux sortes (ou plus) de RA. La solution est alors de tracer un graphique se rapportant à chaque sorte de RA. Pour faciliter la compréhension des liens entre les différents tableaux obtenus, il est alors nécessaire de joindre un rapport fournissant de plus amples renseignements.

3.4.2 Autres problèmes identifiés

Concernant les fonctions pour lesquelles il est nécessaire de sélectionner un secteur ou une zone d'alimentation, il semble évident qu'il est plus pratique de sélectionner les secteurs à prendre en compte dans la requête directement sur une carte représentant l'ensemble des secteurs. Cette option a déjà été développée pour la fonction qui permet l'étude des dépendances d'un RSV face à une ressource dans une zone d'alimentation (cf. section 2.2.3.2). Il est donc intéressant de développer cette approche mais cela implique de disposer de cartes des zones d'alimentation fournies par les partenaires. Or, comme il a été mentionné, il faut limiter la quantité d'informations présentes sur la carte au risque de perdre en lisibilité. Il est important que la carte soit suffisamment grande et précise pour assurer un maximum de clarté.

En développant le SE, il est rapidement apparu qu'il n'était pas possible, simplement, de construire des fonctions, c'est à dire des requêtes, faisant appel à de nombreux paramètres, eux-mêmes issus d'autres requêtes. En effet, dès que l'objet de la fonction devient complexe, il faut créer des requêtes particulières pour isoler uniquement certaines données, pour ensuite réunir l'ensemble des résultats dans une requête union donc, être rigoureux sur les champs à choisir et sur l'ordre dans lequel ils doivent disposer. La structure du logiciel est telle que pour contourner certaines limitations, cela amène à un regroupement de requêtes qui complexifie et alourdit l'architecture du prototype.

Dans le chapitre suivant sera abordé le processus à suivre pour s'assurer de la fiabilité de l'outil. Puis des recommandations seront proposées à la fois pour améliorer le SE et pour faciliter son intégration future dans un SAP.

CHAPITRE 4 DISCUSSION

4.1 Fiabilité de l'outil

Il est primordial que le SE et la BC soient soumis à un ensemble de tests dans le but de livrer un produit final fonctionnel, fiable et performant. Tel qu'il l'a a été mentionné en ce début de mémoire, la fiabilité du SE sera déterminée en fonction de sa capacité à tirer les mêmes conclusions que les experts des réseaux partenaires pour une même problématique. La performance de l'outil sera déterminée en fonction de sa capacité à générer des méta-connaissances. Plus précisément, le SE doit être capable, en triant le grand nombre de connaissances auxquelles il a accès, de générer des connaissances croisées que les experts à eux seuls ne possèdent pas, mais qui découlent de l'ensemble des connaissances de tous ces experts réunis. Concrètement, cela se traduira par la capacité du système à identifier les ED de deuxième ordre et plus.

Étant donné que l'amélioration constante du prototype est nécessaire pour mener à bien la vérification de la validité de l'outil, il faut que, au sein du CRP ainsi qu'au sein des réseaux, soit vérifié le bon fonctionnement du SE. Concrètement, cela signifie que :

- Les experts du CRP se doivent de récupérer, auprès des partenaires les données manquantes à Montréal et à Québec pour identifier de nouveaux scénarios. Ces derniers permettront d'identifier de nouvelles situations d'ED potentiels qui, une fois validées par les partenaires, permettront de s'assurer du bon fonctionnement du prototype ;
- Les experts des RSV ainsi que les gestionnaires du CSC et du BSC doivent tester l'outil au sein de leur structure à la fois pour vérifier son bon fonctionnement et, pour avoir un regard critique quant aux fonctionnalités offertes par l'outil, mais aussi pour s'approprier l'outil. Cette appropriation de l'outil est fondamentale puisqu'elle permettra d'identifier de nouvelles possibilités pour le SE et marquera le succès du projet.

4.2 Recommandations

L'outil issu des travaux présentés dans ce mémoire est un prototype. Le but est donc de parvenir à une ébauche fonctionnelle la plus aboutie possible du SE qui permettra ensuite de développer la version définitive du SE qui ne sera pas obligatoirement développée sous MS Access.

Par conséquent, il est évident qu'un certain nombre de critiques peuvent être émises quant à la capacité du SE à répondre parfaitement aux besoins des différents partenaires. Il est donc plus constructif de faire des remarques pour améliorer au maximum le prototype développé pour ensuite faciliter le transfert de l'architecture du SE vers la plateforme informatique définitive.

Ainsi, le prototype du SE doit être développé en continu avec les partenaires, c'est-à-dire avec les utilisateurs futurs du SE et donc du SAP. Il faut être sans cesse à l'écoute et identifier au mieux les besoins des partenaires pour continuer le processus itératif d'amélioration continue du SE et obtenir une validation finale par les experts des RSV. Suite aux diverses réunions avec ces derniers, des améliorations de la version actuelle ainsi que des critères pour le choix du futur SE ont pu être identifiés :

- Il faudra trouver un moyen de donner la possibilité à l'usager de choisir plusieurs ressources défaillantes sur un ou plusieurs secteurs. Actuellement, les fonctions développées ne prennent en compte qu'une seule ressource dans un seul secteur (ou zone d'alimentation). Il est intéressant de connaître les ED engendrés si, dans une zone d'étude correspondant à un ou plusieurs secteurs ou zones d'alimentation, plusieurs ressources entrent en défaillance ;
- Il est nécessaire de géoréférencer les infrastructures des RSV dans l'optique d'identifier plus précisément l'endroit sur une carte où les RSV sont défaillants suite à un ED. Cela va aussi permettre l'affichage d'un nombre conséquent de données se rapportant aux RSV, directement sur des cartes géographiques, donc simplifier la prise de mesures pour gérer des ED. Il sera alors possible de développer de nouvelles fonctionnalités importantes pour le développement du SAP ;

- Il est primordial que le SE, puis éventuellement le SAP, puissent être intégrés avec les outils existants déjà au sein des RSV. Par exemple, à la Ville de Québec, le système Neptune 4 est utilisé ; à Montréal, le CSC développe actuellement le portail de sécurité civile qui est essentiellement une application web ; les RSV utilisent le plus souvent des systèmes de contrôle propre à leur réseau. Il faut donc assurer un maximum de capacité d'intégration de l'outil à développer dans les systèmes actuellement utilisés par les partenaires. Si cela n'est pas possible, les partenaires risquent de devenir réticents à l'implantation d'un nouvel outil qui les obligerait alors à modifier leurs méthodes de travail et de gestion et à dédoubler les systèmes qu'ils possèdent déjà. Cela pourrait être un frein au développement, à l'implantation et, éventuellement, à l'utilisation de l'outil final ;
- Concernant la crainte des partenaires sur les moyens pour accéder aux données utilisées par l'outil ou pour utiliser l'outil, plusieurs solutions sont envisageables :
    - Possibilité d'héberger la BC chez les responsables de la sécurité civile (le CSC à Montréal et le BSC à Québec) qui seraient aussi responsables de mettre à jour le SE donc le SAP. Les partenaires accèderaient à l'outil en se connectant à un site sécurisé permettant d'utiliser le SE ;
    - Possibilité que la BC soit hébergée sur un site internet et que les RSV mettent directement à jour les informations concernant leur réseau en se connectant au site.
- Pour le CSC et le BSC, il est intéressant d'avoir connaissance de l'étendue de la population affectée pour un évènement. Cela permettrait d'adapter l'intervention à la situation. De nouvelles données relatives à la population touchée dans les secteurs de la zone d'étude devront donc être intégrées à la BC pour tenir compte de cet élément.

De plus, lors du développement de l'outil, il faudra considérer que la durée à prendre en compte dans l'étude des ED n'a pas besoin d'être de 72 heures. En effet, il est extrêmement difficile, même pour les experts des RSV, de prédire l'évolution d'une situation au-delà des

premières 24 à 48 heures. Les métadonnées créées au delà de cette durée ne sont pas assez précises. Elles ne se révèlent donc pas pertinentes pour les responsables de la sécurité civile ni même pour les responsables des RSV.

Il serait par contre intéressant de pouvoir, éventuellement, tenir compte du rétablissement des RSV après une défaillance afin de prédire la durée nécessaire à un retour à la normale après un ED. Les données actuelles ne permettent pas d'obtenir cette information, ni même une approximation sommaire de cette information. Or, pour les responsables en sécurité civile et pour les gestionnaires des RSV il apparait que cette information est très importante. De futurs travaux sur le rétablissement des réseaux pourraient donc être entrepris et leurs résultats pourraient éventuellement être intégrés au SE.

Après les limites décelées suite à l'utilisation de MS Access, il apparaît évident que la plateforme informatique future pour le développement du SE devra faire preuve d'une grande flexibilité pour satisfaire au mieux les besoins des partenaires et donc traiter avec succès l'ensemble des données. Un logiciel de gestion de base de données comme Oracle serait idéal pour le développement final du SE car il permet à la fois la gestion de très grandes quantité d'informations (plusieurs dizaines de gigaoctets), la création de fonctions complexes impliquant elles mêmes d'autres fonction, une grande marge de manœuvre pour la création de graphiques et pour la mise en commun de données sur internet.

Dans sa version la plus évoluée, le SE devra permettre de modéliser, en termes de propagation géographique et temporelle, des ED en intégrant des mécanismes de gestion de RA et des mécanismes de gestion du cumul de vulnérabilité (plusieurs ressources défaillantes sur un ou plusieurs secteurs ou zones d'alimentation) conformément aux raisonnements des experts ayant participé à sa création. Il devra aussi permettre d'intégrer les considérations relatives à la population, aux réseaux dépendants et aux interdépendances géographiques entre les RSV qui sont elles aussi d'importants générateurs d'ED. À plus long terme, des informations concernant le rétablissement des RSV après une défaillance pourraient s'avérer utiles pour les gestionnaires des RSV et pour les responsables de la sécurité civile.

CONCLUSION

Les RSV jouent un rôle primordial tant au niveau du développement économique que du développement social de nos sociétés actuelles. Ces systèmes complexes deviennent de plus en plus indispensables au développement de l'être humain. Au regard des évènements d'ampleur majeure qui, ces dernières années, ont frappé toutes les régions du globe, il est aisé de constater une augmentation de la dépendance de nos sociétés face aux ressources fournies par ces infrastructures.

De par leur nature complexe et dynamique et, de leurs interrelations, les RSV sont enclins à subir des défaillances en cascade pouvant nuire au fonctionnement, au bien-être et à la santé de la société. Les interdépendances croissantes entre les RSV représentent une vulnérabilité supplémentaire pour le fonctionnement de nos sociétés. L'ampleur de ces nouveaux phénomènes est telle qu'il est primordial d'en tenir compte dans les processus de gestion et de prévention des risques.

Dans ce contexte, le CRP s'est attardé à développer une méthodologie qui aborde différemment la gestion des risques dans le domaine des RSV. Cette nouvelle méthodologie d'évaluation des interdépendances entre les RSV, qui n'est pas basée sur les probabilités d'occurrence des évènements, est simple dans son application et permet de répondre de manière précise aux questions telles que « qu'arrivera-t-il si…? » et « que faut-il faire si…?». En analysant les conséquences possibles d'évènements appréhendés, sans tenir compte de leur probabilité d'occurrence, il est possible d'obtenir des réponses précises à ces questions et des résultats concrets et opérationnels quant à leur exploitation.

Étant donné la facilité d'exploitation des résultats, Il est possible de les intégrer dans des outils de gestion des interdépendances entre les RSV. C'est dans cette optique que le CRP s'est lancé dans un nouveau projet de modélisation des ED entre les RSV. Pour y parvenir, il est nécessaire de remplir trois objectifs majeurs : 1) Permettre la modélisation des ED entre les RSV ; 2) Créer

un Système d'Alerte Précoce (SAP) qui gère les interdépendances entre les RSV ; 3) Systématiser une approche visant la gestion de l'atténuation de la vulnérabilité des RSV face aux ED.

Les travaux menés jusqu'à présent par le CRP ont permis de formaliser cette approche de gestion des risques basées sur les conséquences afin d'anticiper les ED entre les RSV pour mieux protéger nos sociétés et leurs RSV et, les rendre à la fois moins vulnérables et plus résilientes face aux défaillances.

Dans les travaux présentés dans ce mémoire, seul le premier objectif a été traité. Il a été nécessaire de trouver un moyen pour informatiser et automatiser les processus d'identification des interdépendances entre les RSV et de détermination des ED. Alors, il a été décidé de créer un SE qui, en ayant accès à une BC se rapportant aux interdépendances fonctionnelles entre les RSV, génère automatiquement des métadonnées dont les courbes de dépendances anticipent de possibles ED.

Le SE développé au cours des travaux exposés dans ce mémoire permet désormais d'effectuer ce travail d'identification et d'anticipation des ED de manière automatisée. En ayant accès à une BC dont les connaissances proviennent directement des gestionnaires des RSV, les résultats fournis par ce système sont le reflet des analyses qui auraient été faites par les experts des RSV eux-mêmes dans des conditions d'étude similaires.

Dans un premier temps, en se basant sur la BC développée lors de travaux précédents, il a fallu modifier cette BC pour l'adapter aux besoins des futurs utilisateurs du SE et à la nécessité d'exporter l'ensemble des données vers une plateforme informatique en vue du développement du SE.

Une fois la nouvelle BC établie, plusieurs étapes ont été nécessaires pour mener à bien le développement du prototype du SE. Tout d'abord, il a été nécessaire d'étudier les besoins propres aux futurs utilisateurs du SE c'est à dire, d'un côté les responsables des RSV et de l'autre les gestionnaires du CSC et du BSC.

Ensuite, il a été nécessaire d'identifier les critères auxquels la plateforme informatique doit répondre pour un développement optimal du SE. Il s'avère que le logiciel MS Access soit celui qui réponde au mieux au cahier des charges.

Puis, le design du système a été défini c'est-à-dire l'architecture de l'outil, en identifiant les différentes fonctions à développer et en facilitant l'exploitation des métadonnées obtenues après les analyses faites par le SE. Une fois l'architecture définie, il a été possible de développer l'ensemble du SE avec MS Access.

Pour s'assurer du bon fonctionnement du prototype développé, le troisième chapitre relate la phase de tests interne au CRP qui a été lancée en se basant sur des simulations déjà connues.

À la suite de cette dernière phase, le prototype du SE étant fonctionnel, il a été possible de le présenter aux partenaires. De nombreuses remarques ont été formulées par ces derniers, aussi bien au niveau de la sécurité des données contenues dans la BC qu'au niveau de l'utilité du SE dans la gestion et la prévention des risques pour les RSV.

À partir de l'appréciation de l'outil par les partenaires, l'accès à certaines fonctions et à certaines données a été modifié. Notamment, le droit d'accéder et de modifier des données a été autorisé seulement aux experts des RSV qui peuvent voir ou mettre à jour uniquement leurs propres données. Puis, de nouvelles fonctions ont été développées, d'un côté pour un usage exclusif au CSC et au BSC et, de l'autre, pour un usage spécifique aux réseaux partenaires.

Puis, il est fait état des divers problèmes qui ont été rencontrés lors du développement de l'outil, à savoir, les limites du générateur de graphiques qui ne donne que très peu de libertés quant à l'exploitation des données. Un autre problème notable est survenu. Il s'est avéré être une limite de la part de la plateforme informatique : le caractère complexe de la construction de fonctions faisant appel à de nombreuses sous-fonctions. D'autres problèmes, qui ne se poseront qu'à plus long terme, ont été mentionnés par les futurs utilisateurs du SE. Pour les résoudre, il est préconisé que le SE final soit développé avec un logiciel comme Oracle, plus puissant dans la gestion des bases de données. Il est important de garder à l'esprit que le SE présenté et soumis dans un premier temps aux partenaires n'est en fait qu'un prototype. Il doit avant tout faciliter le transfert de la BC tout en conservant l'architecture développée à l'aide du prototype, vers la nouvelle plateforme informatique.

Mais, il est primordial que ce prototype du SE soit testé et validé pour être ensuite amélioré par l'entité qui le gère afin de fournir un outil final qui donne entièrement satisfaction à la fois aux experts des RSV et aux gestionnaires du CSC.

Une récente présentation de l'outil faite dans le cadre du *Modelling & Simulation of Public Safety & Security Operations* qui a eu lieu les 3 et 4 décembre 2009 à Ottawa (Ontario) a permis de constater qu'il existe un réel besoin et un intérêt prononcé pour ce type d'application dans les milieux de la sécurité civile (Morabito *et al.*, 2009).

À terme, la version finale du SE sera utilisée dans un cadre de planification des mesures d'urgence et de continuité opérationnelle dans le but de diminuer l'impact des ED entre les RSV et les conséquences associées. Dans un souci d'une meilleure gestion des risques associés à ces phénomènes, il est intéressant de considérer l'utilisation future du SE par un SAP qui permette la gestion des interdépendances en temps réel. Cela donnera aux utilisateurs des outils plus complets pour l'ensemble des secteurs de la prévention des ED.

Ainsi, le SAP donnera la possibilité de : a)- visualiser en temps réel les états présents et anticipés des RSV ; b)- intégrer des mécanismes de déclenchement des alertes ; c)- intégrer des protocoles de communications entre les organisations en favorisant la pertinence des échanges, la cohérence des interventions et la collaboration en situation d'urgence.

Pour finaliser complètement le projet dans lequel le CRP s'est engagé, il faudra ensuite trouver un moyen pour gérer l'atténuation de la vulnérabilité des RSV face aux ED. Les futurs travaux devront permettre d'intégrer au SE les réseaux dépendants, la population et de prendre en compte les interdépendances géographiques et le rétablissement des réseaux. Le développement et l'implantation d'un tel outil dans les organisations de sécurité civile et dans les RSV pourrait contribuer à rendre ces infrastructures moins vulnérables et, par la même occasion, pourrait contribuer à accroître la résilience de ces organisations et de la société en général.

RÉFÉRENCES

BONNET, A., HATON, J.et TRUONG-NGOC, J. (1986). *Systèmes experts, vers la maitrise technique* (InterEditions.). Paris, France.

BUREAU DE LA PROTECTION DES INFRASTRUCTURES ESSENTIELLES ET DE LA PROTECTION CIVILE. (2003). *Infrastructures essentielles nationales*. Bureau de la protection des infrastructures essentielles et de la protection civile, Division de la recherche et du développement. Site Internet du Portefeuille des Transports, de l'infrastructures et des Collectivités [En ligne], Canada.
http://www.infc.gc.ca/research-recherche/result/alt_formats/pdf/ocipep_f.pdf (consulté le 10 juin 2009).

COMFORT, L. K., DUNN, M., JOHNSON, D., SKERTICH, R. and ZAGORECKI, A. (2004). Coordination in complex systems: increasing efficiency in disaster mitigation and response. *Int. J. Emergency Management*, Vol. 2, No. 1-2, pp. 62-80.

COMMISSION DE RÉGULATION DE L'ÉNERGIE (2007). « Rapport d'enquête de la Commission de régulation de l'énergie sur la panne d'électricité du samedi 4 novembre 2006 », Commission de régulation de l'énergie (CRE), février 2007, 45 pages. Site Internet de la Société de l'Électricité, de l'Électronique et des Technologies de l'Information et de la Communication [En ligne], Paris, France.
http://www.see.asso.fr/bulletin/actu/2007/pdf/cre-rapport-8nov.pdf (consulté le 12 janvier 2009).

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES. (2005). *Livre vert sur un programme européen de protection des infrastructures critiques*. COM/2005/576 final. Site Internet du Portail de l'Union Européenne [En ligne], Bruxelles, Belgique. http://eur-lex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&lg=fr&type_doc=COMfinal&an_doc=2005&nu_doc=576 (consulté le 18 août 2009).

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES. (2006). *Communication de la commission sur un programme européen de protection des infrastructures critiques*. Site Internet du Portail de l'Union Européenne [En ligne], Bruxelles, Belgique. http://eurlex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&lg=fr&type_doc=COMfinal&an_doc=2006&nu_doc=786 (consulté le 18 août 2009).

DAVIS, I. and IZADKHAH, Y. (2008). Tsunami early warning system (EWS) and its integration within the chain of seismic safety. *Disaster Prevention and Management*, Vol. 17, No. 2, pp. 281-191.

DE LA LANDE DE CALAN, R. (2007). *Modélisation des interdépendances pour identifier et modéliser les effets domino*. Mémoire de maîtrise recherche, École Polytechnique de Montréal, Québec, Canada.

DUFOUR, D., NEAULT, J. et ROBERT, B. (2009). *Démarche gouvernementale de résilience des systèmes essentiels - Colloque sur la sécurité civile 2009 - Ministère de la Sécurité publique du Québec.* Sécurité civile Québec. Site Internet du Ministère de la Sécurité Publique, [En ligne], Canada. http://www.msp.gouv.qc.ca/secivile/secivile.asp?txtSection=colloques&txtCategorie=2009&txtSousCategorie=presentation_resumes&txtNomAutreFichier=p_demarche_gouvernementale_resilience_services_essentiels.htm (consulté le 29 août 2009).

FETIARISON, M. (2004). *L'intelligence artificielle au service de la gestion des connaissances : Les systèmes experts*. EIVD. Site Internet de l'Institut d'Informatique Appliquée [En ligne], Suisse. http://ina2.eivd.ch/collaborateurs/nfi/Teaching/PP0304/MF/Rapport-MF.pdf (consulté le 5 août 2009).

GIARRATANO, J. C and RILEY, G.D. (2005). *Expert Systems: Principles and Programming* (4 éd., 842 p.). Australia, Thomson Course Technology.

GROUPE DE TRAVAIL ÉTATS-UNIS-CANADA SUR LA PANNE DE COURANT (2004). « Rapport final sur la panne du 14 août 2003 dans le nord-est des États-Unis et au Canada : Causes et recommandations », avril 2004, 244 p.

GUICHARDET, G. (2009). *Structuration et modélisation des connaissances nécessaires à l'évaluation des interdépendances entre les réseaux de support à la vie*. Mémoire de maîtrise recherche, École Polytechnique de Montréal, Québec, Canada.

HILLS, A. (2005). Insidious environments: creeping dependencies and urban vulnerabilities. *Journal of contingencies and crisis management*, Vol. 13, No. 1, pp. 12-20.

KJELLÉN, S. (2007). *Survey of EU warning systems*. Krisberedskaps Myndigheten. Site Internet de la Swedish Civil Contingencies Agency [En ligne], Karlstad, Suède. http://www.krisberedskapsmyndigheten.se/upload/16369/EU%20warning%20systems.pdf (consulté le 8 juillet 2009).

KOUBATIS, A. and SCHONBERGER, J. (2005). Risk management of complexcritical systems. *Int. J. Critical Infrastructures*, Vol. 1, No. 2-3, pp. 195-215.

LAMBERT, S., DOW LAMBERT III, M. and PREPPERNEAU, J. (2007). *Microsoft Office Access 2007: Etape par étape* (326 p.). Washington, Etats-Unis, Microsoft Press.

LECOMTE, E. L., PANG, A. W. and RUSELL, J. W. (1998). *La tempête de verglas de 1998* (45 p.). Institute for Business and Home safety (IBHS) et Institut de Prévention des Sinistres Catastrophiques. Site Internet de l'Institute for Catastropphic Loss Resduction [En ligne], Toronto, Canada. http://www.iclr.org/images/ice_storm_report_french.pdf (consulté le 20 juin 2009).

MORABITO, L., PELLET, R. and ROBERT, B. (2009). *Critical Infrastructures Interdenpendency Modelling* , Modelling & Simulation of Public Safety & Security Operations, Defence Research and Development Canada Center for Security Science, Ottawa (Ontario),Canada, 3 et 4 décembre 2009.

MEDD, W. and MARVIN, S. (2005). From the politics of urgency to the governance of preparedness: a research agenda on urban vulnerability. *Journal of contingencies and crisis management*, Vol. 13, No. 2, pp. 44-49.

NEGNEVITSKY, M. (2002). *Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems* (394 p.). Harlow, England, Addison-Wesley.

NICOLET, R., TRUDEAU, N., DENIS, H., BERNIER, C., CLOUTIER, L., DICAIRE, A. *et al.* (1999). *Pour affronter l'imprévisible : les enseignements du verglas de 98. Rapport de la Commission scientifique et technique chargée d'analyser les évènements relatifs à la tempête de verglas survenue du 5 au 9 janvier 1998 (*442 p.). Québec, Canada, Les Publications du Québec.

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.* Etats-Unis, Government Printing Office 040-000-00699-1. Site Internet de la Federation of American Scientists [En ligne], États-Unis. http://www.fas.org/sgp/library/pccip.pdf (consulté le 18 septembre 2009).

RADIO CANADA. (2008). Le grand verglas de 1998. Les Archives de Radio-Canada. Site internet de Radio Canada [En ligne], Canada. http://archives.radio-canada.ca/environnement/catastrophes_naturelles/dossiers/265/ (consulté le 28 août 2009).

RINALDI, S. M. (2004). Modeling and Simulating Critical Infrastructures and their Interdependencies. Présenté au Proceedings of the 37th Hawaii International Conference on System Sciences, Hawaï, Etats-Unis.

RINALDI, S. M., PEERENBOOM, J. and KELLY, T. K. (2001). Identifying, understanding, and analyzing critical infrastructure interdependencies. *IEEE Control Systems Magazine,* Vol. 21, pp. 11-25, 2001.

ROBERT, B. (2005). La démarche de prévention : une gestion des risques reliée à l'interdépendance des infrastructures. Présenté au Congres international Urbistique : Les nouvelles tendances du développement urbain intégré, Montréal, Canada.

ROBERT, B., DE LA LANDE DE CALAN, R. and MORABITO, L. (2008). Modeling interdependencies among critical infrastructures. *International Journal of Critical Infrastructures,* Vol. 4, No. 4, pp. 392-408.

ROBERT, B. and MORABITO, L. (2008). The operational tools for managing physical interdependencies among critical infrastructures. *International Journal of Critical Infrastructures,* Vol. 4, No.4, pp. 353-367.

ROBERT, B. et MORABITO, L. (2009a). *Réduire la vulnérabilité des infrastructures essentielles. Guide méthodologique* (Éditions Tec & Doc.). Paris, France: TECHNIQUE & DOCUMENTATION.

ROBERT, B. et MORABITO, L. (2009b). Analyse de la dépendance face à l'électricité, *Choc*, Vol. 27, No. 2, pp. 36-39.

ROBERT, B. AND MORABITO, L. (2010a). An approach to identifying geographic interdependencies among critical infrastructures, *International. Journal of. Critical Infrastructures*, Vol. 6, No. 1, pp. 17-30.

ROBERT, B. AND MORABITO, L. (2010b) Dependency on Electricity and Telecommunications, Securing electricity supply in the cyber age: Exploring the risks of information, and communication technology in, tomorrow's electricity infrastructure, Chapitre 3. Springer, 185 p .

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

SECURITÉ PUBLIQUE CANADA. (2004). Énoncé *de position du gouvernement du Canada relativement à une stratégie nationale pour la protection des infrastructures essentielles.* Canada, Sécurité Publique Canada. Site internet de l'Association Canadienne des Eaux Potables et Usées [En ligne], Canada. http://www.cwwa.ca/pdf_files/CIP%20position%20paper_FRE.pdf (consulté le 18 septembre 2009).

SÉCURITÉ PUBLIQUE CANADA. (2006). Panne d*'électricité en Ontario et aux États-Unis — Impacts sur les infrastructures essentielles : Analyse d'incident. Canad*a: Sécurité Publique Canada. Site internet du Ministère de la Sécurité Publique Canada [En ligne], Canada. http://www.publicsafety.gc.ca/prg/em/_fl/ont-us-power-f.pdf (consulté le 2 septembre 2009).

SÉCURITÉ PUBLIQUE CANADA. (2008). Aller d*e l'avant avec la stratégie nationale et le plan d'action pour les infrastructures essentielles (p. 38*). Sécurité Publique Canada. Site internet du Ministère de la Sécurité Publique Canada [En ligne], Canada. http://www.securitepublique.gc.ca/prg/em/cip/_fl/nat-strat-critical-infrastructure-fra.pdf (consulté le 28 août 2009).

TRENDS.BE. (2009). La grippe A(H1N1) touchera aussi fortement l'économie. Trends.be. Site internet du Magazine Trends-Tendances [En ligne], Bruxelles, Belgique. http://trends.rnews.be/fr/economie/politique-economique/12-1635-48773/la-grippe-a-h1n1--touchera-aussi-fortement-l-economie.html (consulté le 11 septembre 2009).

UNITED NATIONS/ SECRETARIAT OF THE INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. (2006). Développement de systèmes d'alerte précoce : une liste de contrôle (p. 13). Présenté au Troisième conférence internationale sur les systèmes d'alerte précoce (EWC III), Bonn, Allemagne. Site internet des United Nations/International Strategy for Disaster Reduction [En ligne], Genève, Suisse.
http://www.unisdr.org/ppew/info-resources/ewc3/checklist/French.pdf (consulté le 5 mars 2009).

WORLD HEALTH ORGANISATION. (2009). Pandemic (H1N1) 2009 - update 73. *World Health Organisation.* Site Internet du World Health Organisation [En ligne], Genève, Suisse.
http://www.who.int/csr/don/2009_11_06/en/index.html (consulté le 5 novembre 2009).

WIMBISH, W. and STERLING, J. (2003). A National Infrastructure Simulation and Center (NISAC): Strategic Leader Education and Formulation of Critical Policies. *Centre for Strategic Leadership, US Army War College,* Vol. 06-03, Automne 2003.

ZHANG, J. (2007). Interdépendances des infrastructures au moyen d'une analyse des besoins et des compétences des intervenants ainsi que des risques auxquels ils doivent faire face. Présenté au Symposium du programme conjoint de recherche sur les interdépendances entre les infrastructures, Ottawa, Canada.

ANNEXE A – BASE DE CONNAISSANCES

Tableau A.1 : Identification de l'ensemble fonctionnel (Adapté de Guichardet, 2009)

Réseau fournisseur	Secteur de fourniture de la ressource fournie	Réseau utilisateur	Ensemble fonctionnel affecté	Localisation sectorielle de l'ensemble fonctionnel	Localisation précise de l'ensemble fonctionnel	Fonctions du réseau auxquelles l'ensemble fonctionnel contribue	Cette affectation peut-elle compromettre la fourniture de la ressource sur un secteur ou une zone d'alimentation ?	Si oui, indiquer le secteur ou la zone affecté
Ville de Montréal - Eau potable	à déterminer	Hydro-Québec	Poste XXXX	AW 23	YYYY, rue ZZZZ	Transport	Non	Ne s'applique pas

Tableau A.2 : Identification de la ressource utilisée (Adapté de Guichardet, 2009)

Contexte d'utilisation de la Ressource utilisée	Mode d'approvisionnement de la ressource du réseau fournisseur	S'il s'agit d'un approvisionnement avec stockage, autonomie maximale procurée par le stockage de la Ressource	S'il s'agit d'un approvisionnement par transport routier, indiquer la zone de transport potentiellement utilisée	Autonomie du réseau sans prendre en compte les modes de gestion (heures)
Constant	Continu sans stockage	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas	Élevée

Tableau A.3 : Identification du premier mode de gestion de la défaillance (Adapté de Guichardet, 2009)

Type de mode de gestion	Si le mode de gestion nécessite un équipement, indiquer le type d'équipement	Si le mode de gestion nécessite un équipement qui n'est pas déjà sur place, indiquer les zones de transport potentiellement utilisées	Si le mode de gestion nécessite une ressource alternative indiquer le nom de la ressource alternative	Quantité stockée de la ressource alternative	Quantité nécessaire de la ressource alternative	Autonomie procurée par le stockage de la ressource alternative	Mode d'approvisionnement de la ressource alternative	Zone de transport potentiellement utilisée pour l'approvisionnement de la ressource alternative/ ou pour l'acheminement de l'équipement dédié/ou pour le replis	Autonomie supplémentaire procurée par le mode de gestion (heures)	Lien entre mode de gestion 1 et mode de gestion 2
RA devant être acheminée sur place	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas	Eau embouteillée	Faible	XXX litres/jour	Faible	Routier avec stockage	à déterminer	Élevée	Série

ANNEXE B – INTERFACE DU SYSTEME EXPERT INITIAL

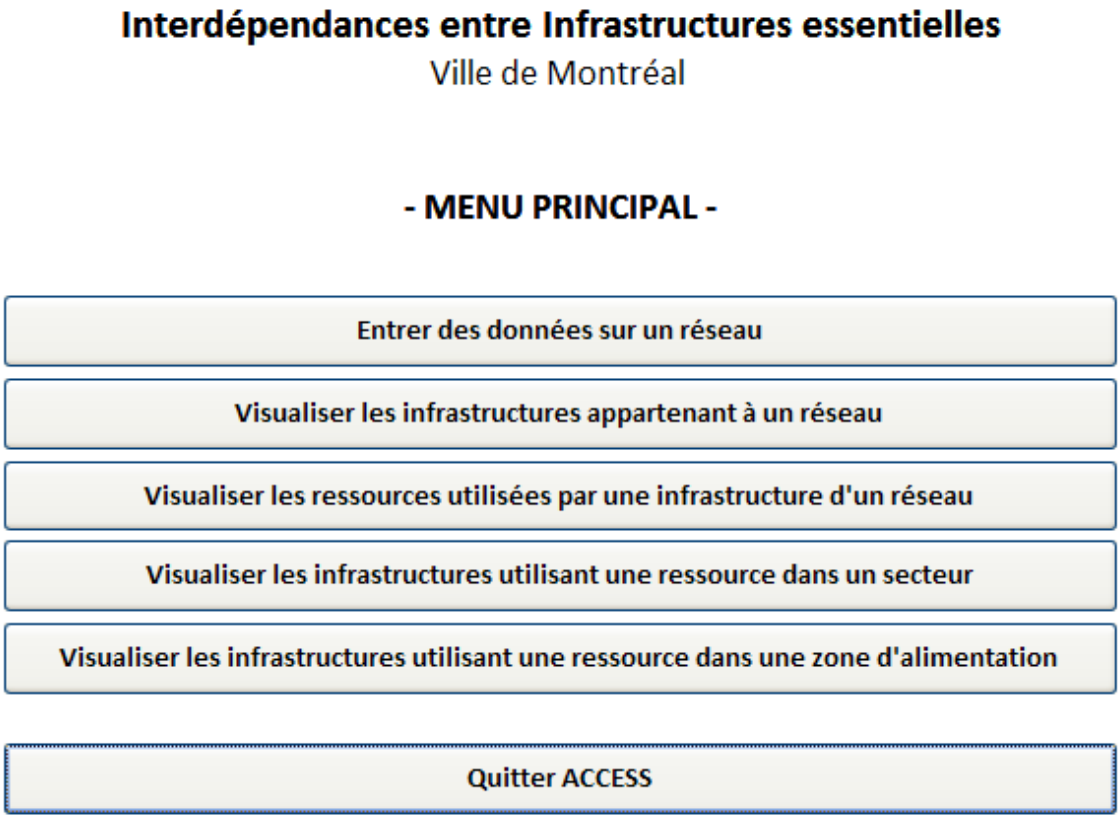


Figure B.1 : Interface initiale pour tous les utilisateurs avec accès à l'ensemble des fonctions

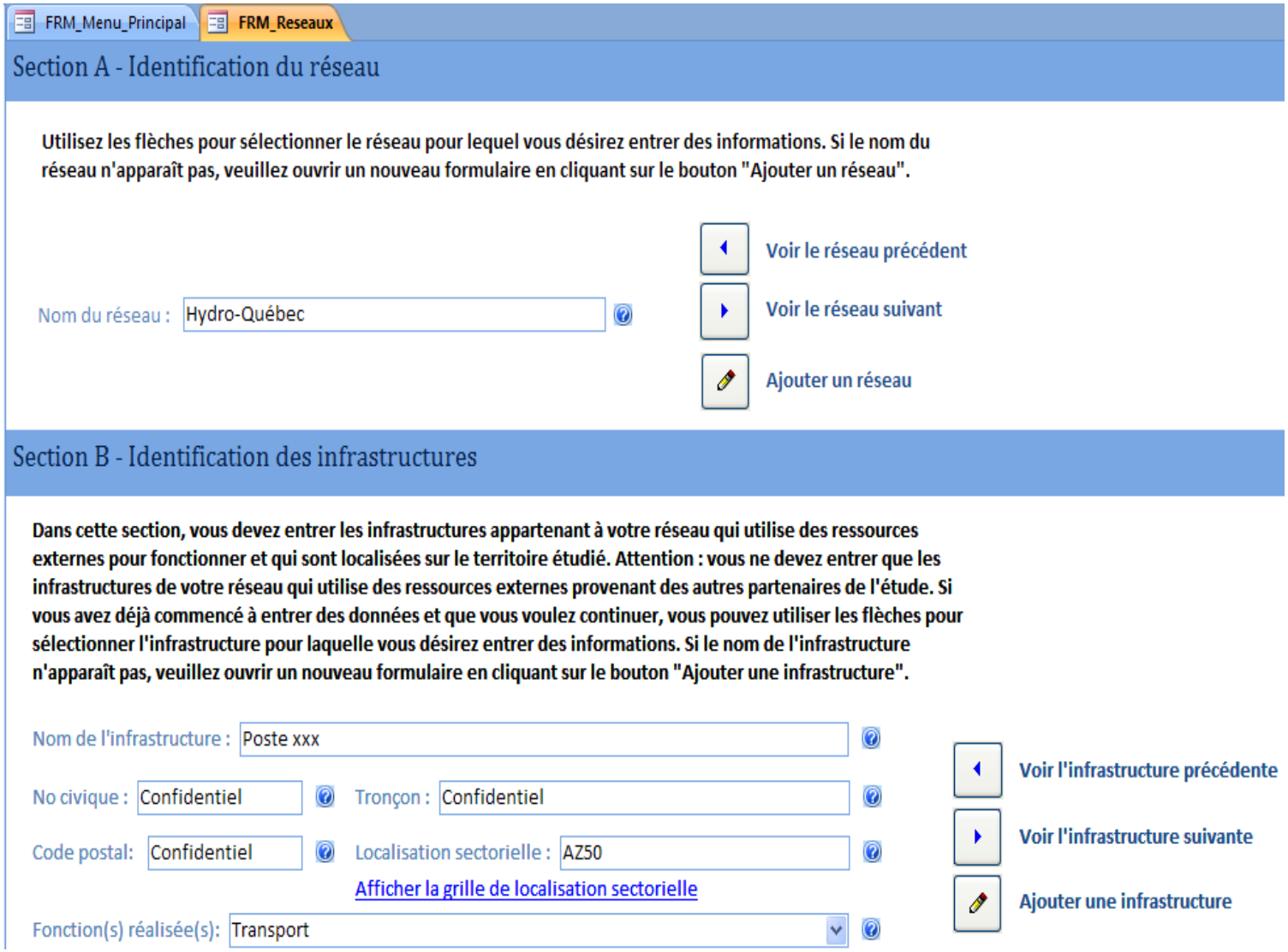


Figure B.2 : Sections A et B du formulaire de saisie de données se rapportant à un RSV

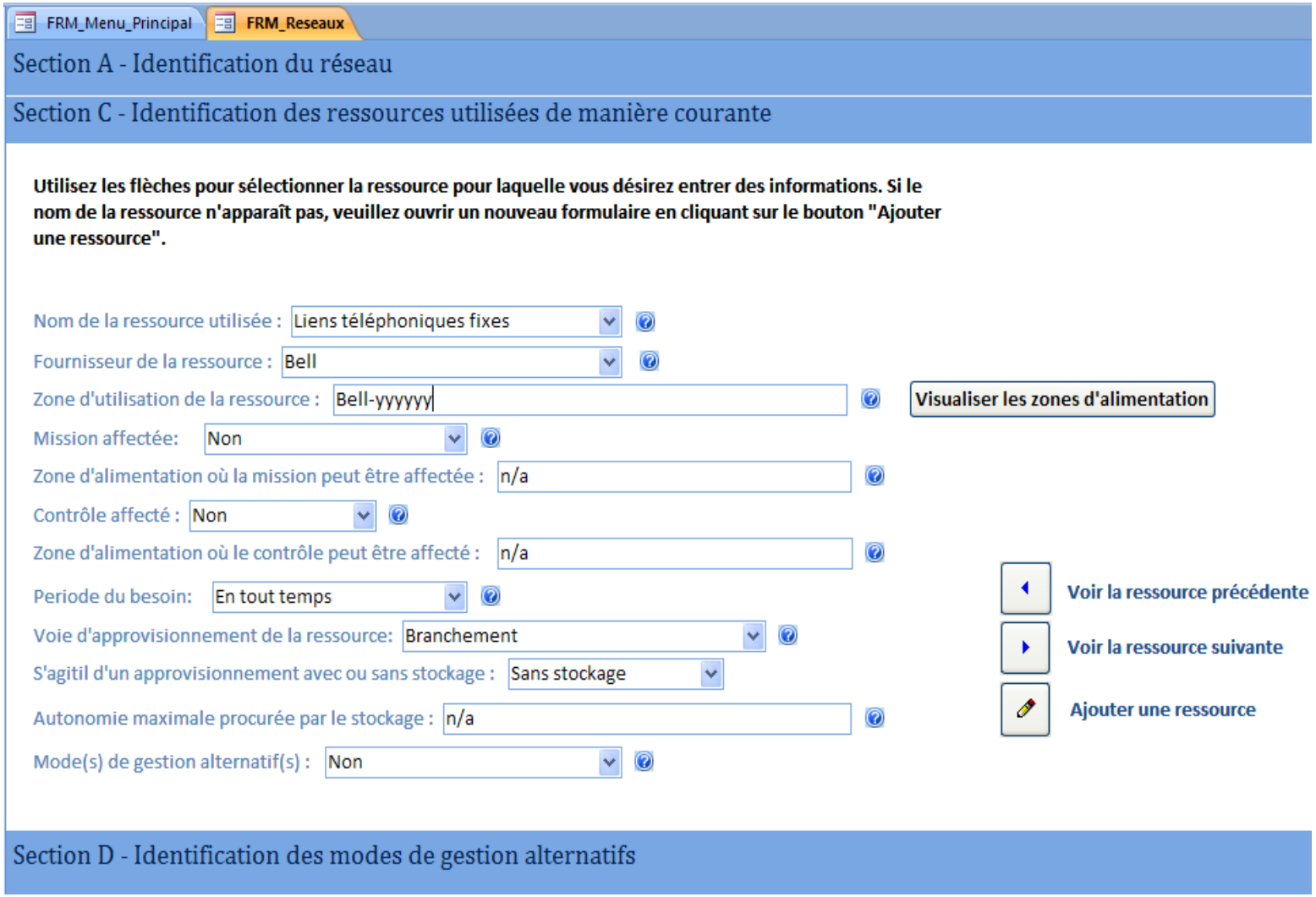


Figure B.3 : Section C du formulaire de saisie de données se rapportant à un RSV

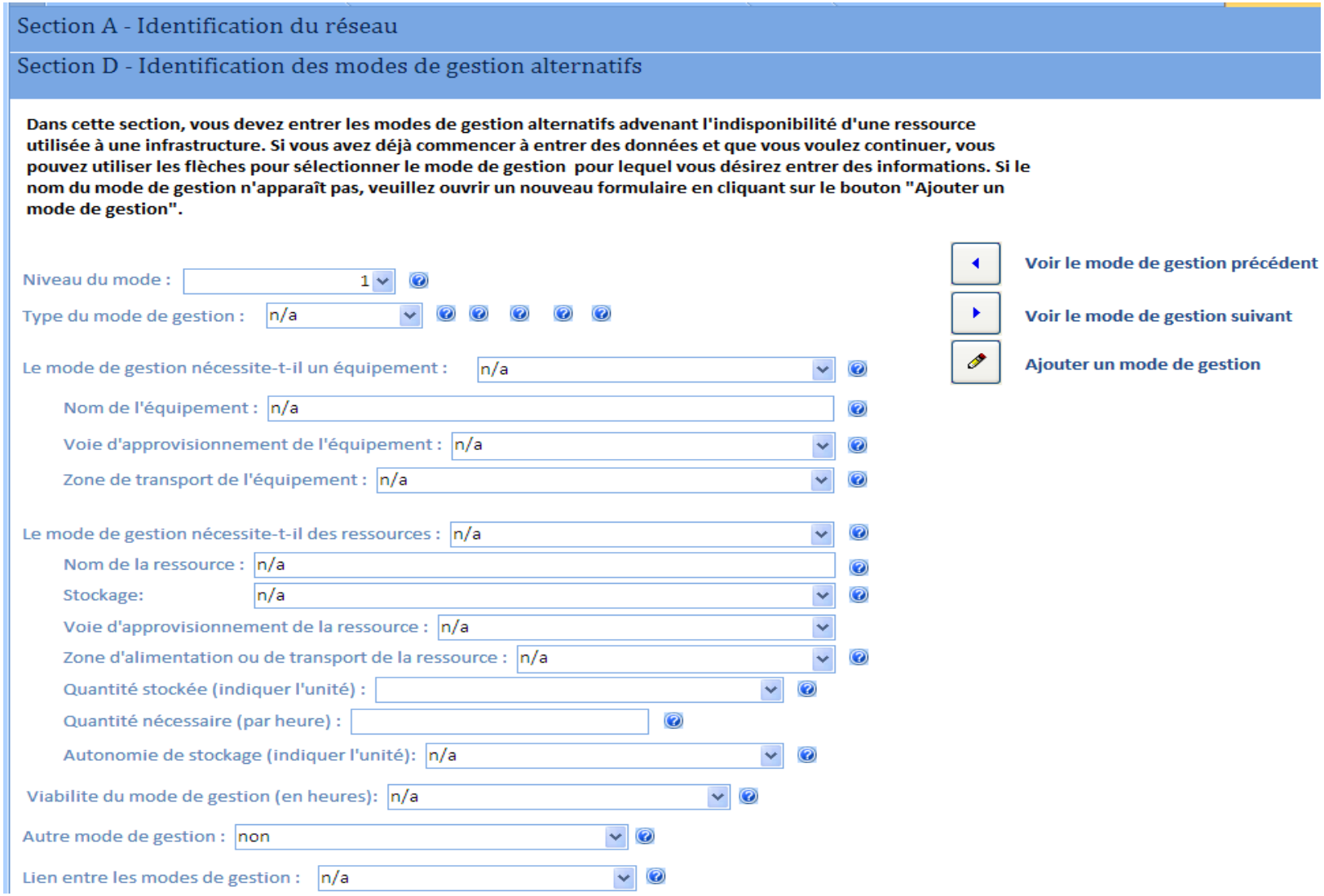


Figure B.4 : Section D du formulaire de saisie de données se rapportant à un RSV

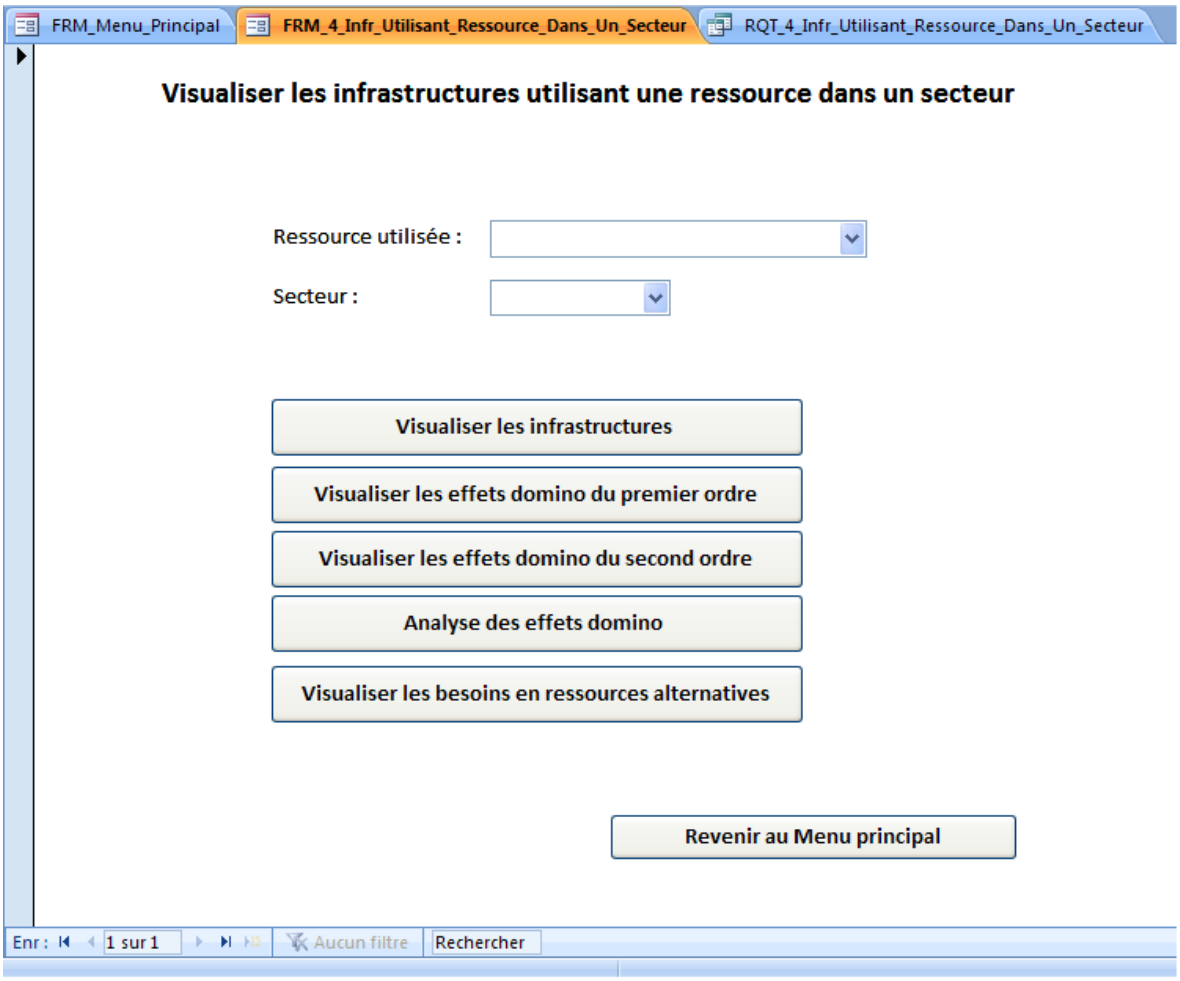


Figure B.5 : Formulaire permettant de visualiser les infrastructures utilisant une ressource dans un secteur

RQT_4_Infr_Utilisant_Ressource_Dans_Un_Secteur | ETAT_4_Analyse_Infr_ordre1 | ETAT_4_Pers_Contacter_1 | Etat_4_Analyse_Besoins_Ress_Altern_bis | RQT_4_Union

Zone_de_Fourniture	Localisation_Sectorielle	Ressource_Utilisee	ID_Infrastructur	ID_Ressource_Utilise	Nom_Infrastructure	Nom_Reseau
Bell-252118	AH24	Eau de service	36	88	Central téléphonique 252	Bell
MTQ-TVM	AH24	Eau de service	17	93	Tunnel Ville-Marie (Tunne	Ministère des transports

Figure B.6 : Feuille de données des ED du premier ordre

FRM_Menu_Acces_Aux_Dossiers | FRM_Menu_Acces_Gestionnaire | FRM_Menu_Principal_Gestionnaire | RQT_4_Union

```
SELECT TAB_Infrastructures.Zone_de_Fourniture, TAB_Ressources_Utilisees.Zone_Utilisation, TAB_Ressources_Utilisees.Ressource_Utilisee,
TAB_Infrastructures.Nom_Infrastructure, TAB_Reseaux.Nom_Reseau, TAB_Infrastructures.Localisation_Sectorielle, TAB_Modes_Gestion.Niveau_Mode, TAB_Code_EWS.JAUNE,
TAB_Code_EWS.ORANGE, TAB_Code_EWS.ROUGE, 0 AS VERT
FROM ((TAB_Reseaux INNER JOIN (TAB_Infrastructures INNER JOIN TAB_Ressources_Utilisees ON TAB_Infrastructures.ID_Infrastructure =
TAB_Ressources_Utilisees.ID_Infrastructure) ON TAB_Reseaux.ID_Reseau = TAB_Infrastructures.ID_Reseau) INNER JOIN TAB_Code_EWS ON
TAB_Ressources_Utilisees.ID_Ressource_Utilisee = TAB_Code_EWS.ID_Ressource_Utilisee) INNER JOIN TAB_Modes_Gestion ON TAB_Ressources_Utilisees.ID_Ressource_Utilisee =
TAB_Modes_Gestion.ID_Ressource_Utilisee
WHERE (((TAB_Ressources_Utilisees.Ressource_Utilisee)=[Formulaires]![FRM_4_Infr_Utilisant_Ressource_Dans_Un_Secteur]![Modifiable10]) AND
((TAB_Infrastructures.Localisation_Sectorielle)=[Formulaires]![FRM_4_Infr_Utilisant_Ressource_Dans_Un_Secteur]![Modifiable12]) AND ((TAB_Modes_Gestion.Niveau_Mode)=1))

UNION ALL

SELECT TAB_Infrastructures.Zone_de_Fourniture, TAB_Ressources_Utilisees.Zone_Utilisation, TAB_Ressources_Utilisees.Ressource_Utilisee,
TAB_Infrastructures.Nom_Infrastructure, TAB_Reseaux.Nom_Reseau, TAB_Infrastructures.Localisation_Sectorielle, TAB_Modes_Gestion.Niveau_Mode, TAB_Code_EWS.JAUNE,
TAB_Code_EWS.ORANGE, TAB_Code_EWS.ROUGE, [RQT_4_Infr_Utilisant_Ressource_Dans_Un_Secteur]![VERT_Total] AS VERT
FROM RQT_4_Infr_Utilisant_Ressource_Dans_Un_Secteur, ((TAB_Reseaux INNER JOIN (TAB_Infrastructures INNER JOIN TAB_Ressources_Utilisees ON
TAB_Infrastructures.ID_Infrastructure = TAB_Ressources_Utilisees.ID_Infrastructure) ON TAB_Reseaux.ID_Reseau = TAB_Infrastructures.ID_Reseau) INNER JOIN TAB_Code_EWS ON
TAB_Ressources_Utilisees.ID_Ressource_Utilisee = TAB_Code_EWS.ID_Ressource_Utilisee) INNER JOIN TAB_Modes_Gestion ON TAB_Ressources_Utilisees.ID_Ressource_Utilisee =
TAB_Modes_Gestion.ID_Ressource_Utilisee
WHERE (((TAB_Ressources_Utilisees.Zone_Utilisation)=[RQT_4_Infr_Utilisant_Ressource_Dans_Un_Secteur]![Zone_de_Fourniture]) AND ((TAB_Modes_Gestion.Niveau_Mode)=1));
```

Figure B 7 : Requête « union » sous forme SQL pour sélectionner les ED du premier et du deuxième ordre

ANNEXE C – INTERFACE DU SYSTEME EXPERT AVEC LES MODIFICATIONS

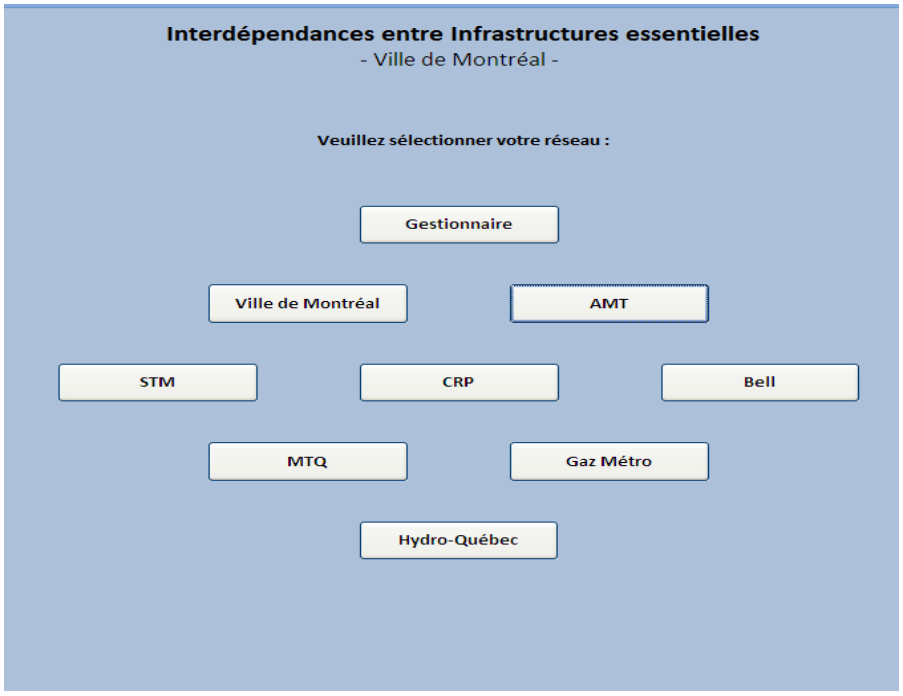


Figure C.1 : Interface pour choisir l'identité de l'utilisateur.

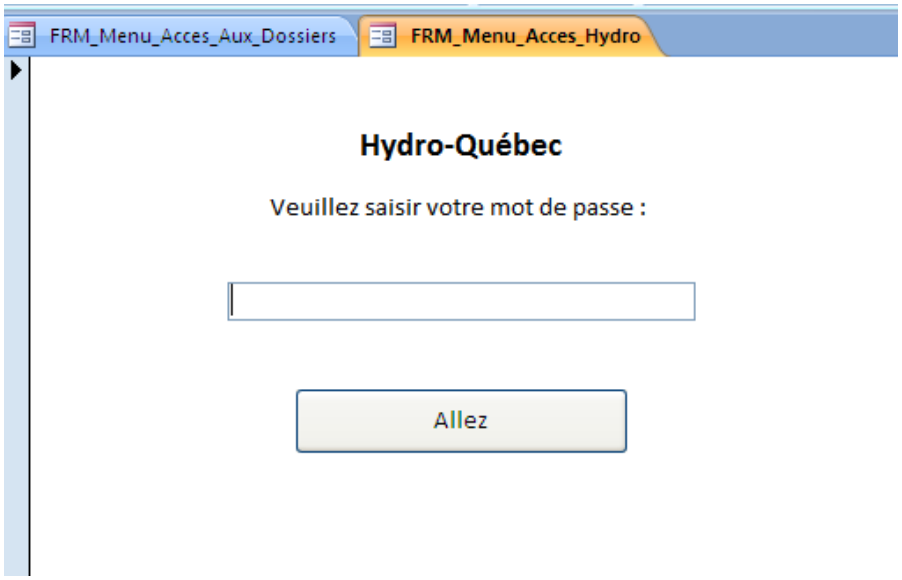


Figure C.2 : Saisie du mot de passe pour l'utilisateur correspondant pour qu'il accède aux données et fonctions qui lui sont réservées

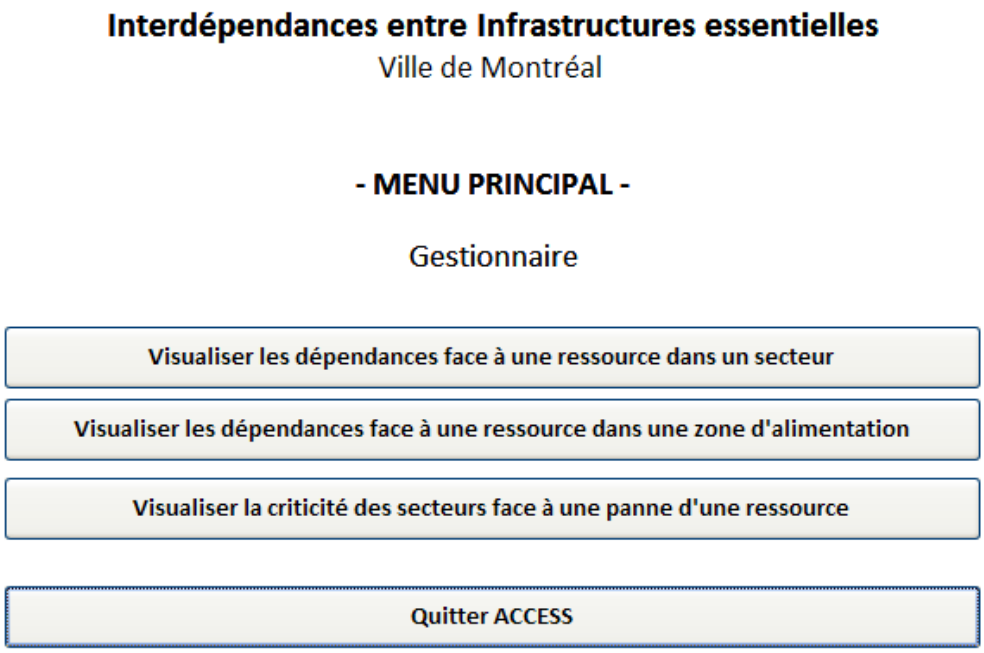


Figure C.3 : Choix des fonctions pour le gestionnaire du CSC et du BSC

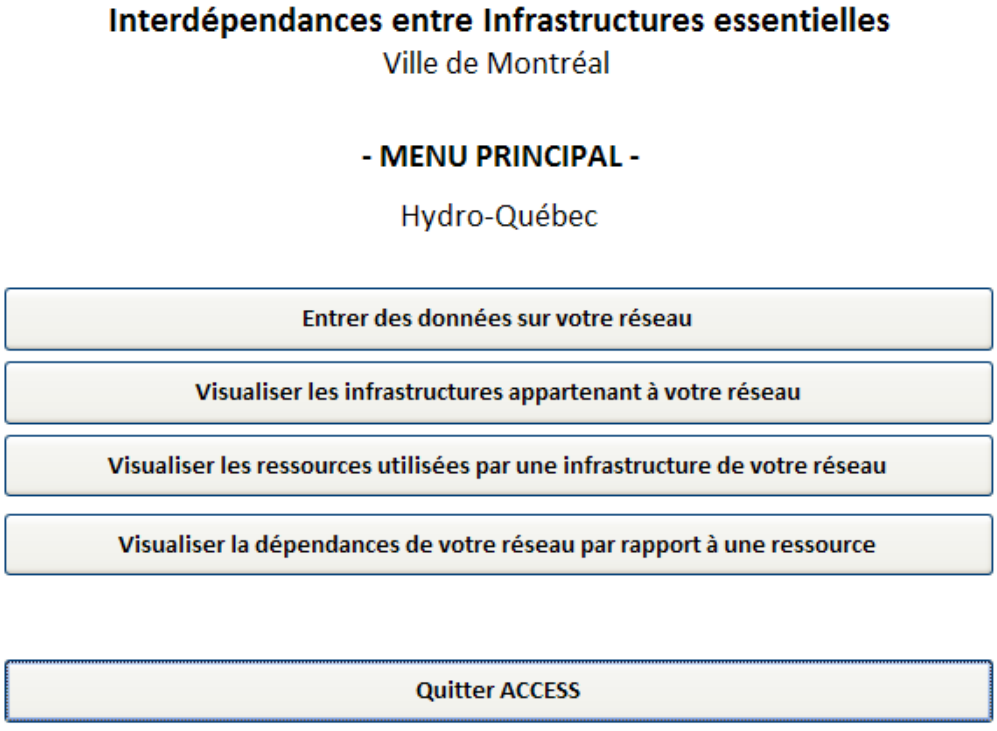


Figure C.4 : Choix des fonctions pour l'expert d'un RSV (Hydro-Québec)

lundi 9 novembre 2009
18:04

Interprétation et analyse des infrastructures affectées par la défaillance d'un réseau

Une défaillance de la ressource : **Eau de service** dans le secteur : **AH24** affecte les infrastructures suivantes :

- Tunnel Ville-Marie (Tunnel. CGC. CDT)
- Central téléphonique 252118 / Centre administratif 252114 (Siège social)

La/Les infrastructure(s) suivante(s) entre(nt) en défaillance :

Tunnel Ville-Marie (Tunnel, CGC, CDT)	après	2	heure(s)
Central téléphonique 252118 / Centre administratif 252114 (Siège social)	après	4	heure(s)

Figure C.5 : Analyse des ED du premier ordre suite à la défaillance de l'eau de service

Anticipation des effets domino d'ordre 2

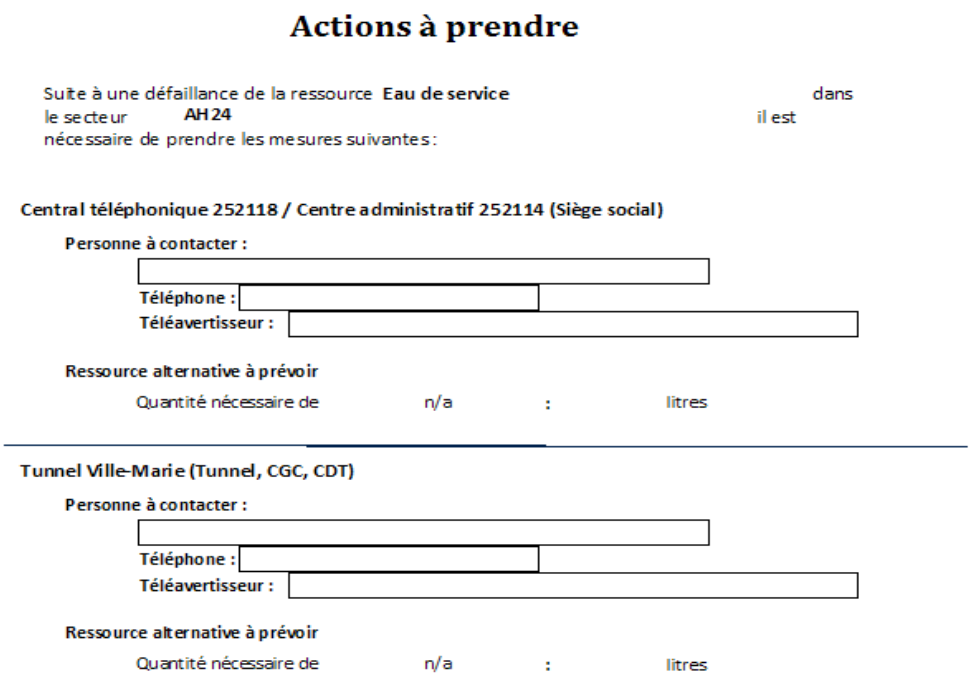
Une défaillance de la ressource : **Liens téléphoniques fixes** dans la zone d'alimentation : **Bell-252118** affecterait les infrastructures suivantes :

- Édifice Brennan (Direction du service)
- Poste Central
- Tunnel Ville-Marie (Tunnel, CGC, CDT)
- DT (Direction territoriale)
- DGMO (Direction Générale de Montréal et de l'Ouest)
- Édifice de la Commune (C.A aqueduc et égout, Entrepôt, Garage)

Ordre 2 : La/Les infrastructure(s) suivante(s) entre(nt) en défaillance :

Tunnel Ville-Marie (Tunnel, CGC, CDT)	après	4	heure(s)

Figure C.6 : Analyse des ED du deuxième ordre suite à la défaillance des liens téléphoniques



Actions à prendre

Suite à une défaillance de la ressource **Eau de service** dans le secteur **AH24** il est nécessaire de prendre les mesures suivantes :

Central téléphonique 252118 / Centre administratif 252114 (Siège social)

Personne à contacter :

Téléphone :

Téléavertisseur :

Ressource alternative à prévoir

Quantité nécessaire de n/a : litres

Tunnel Ville-Marie (Tunnel, CGC, CDT)

Personne à contacter :

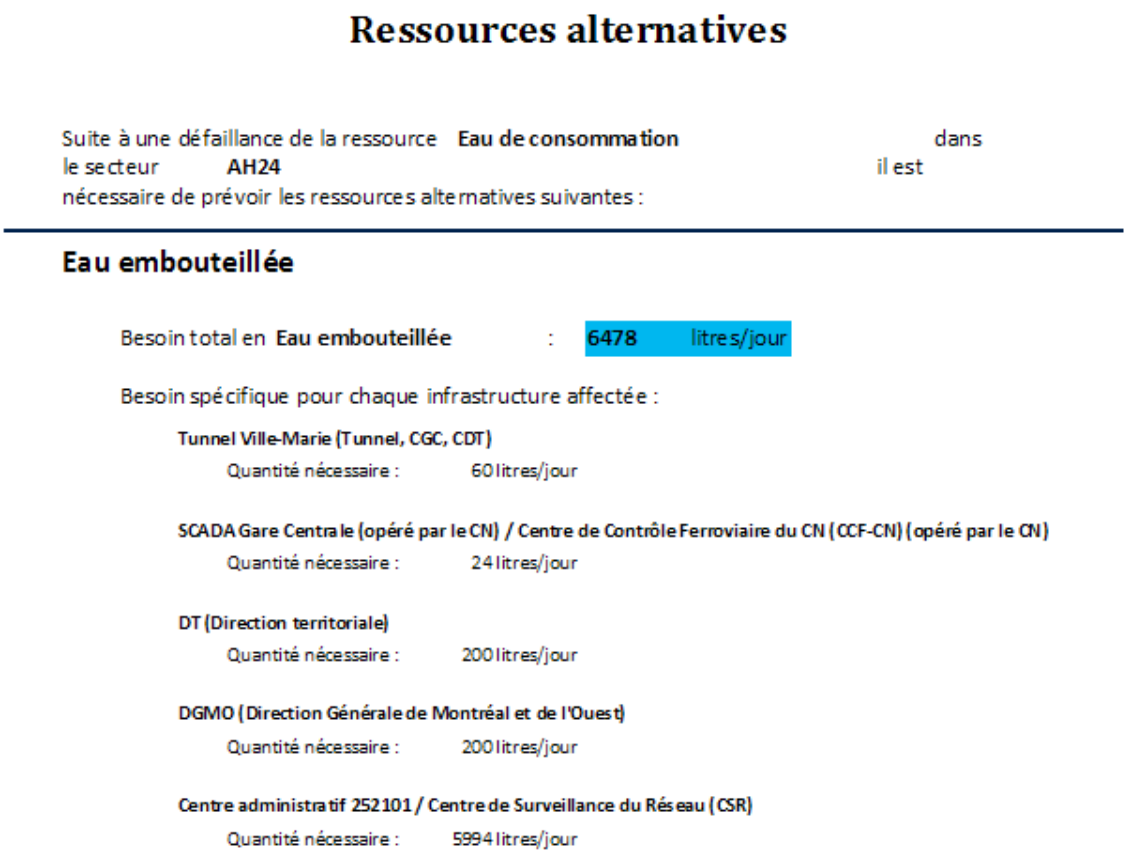
Téléphone :

Téléavertisseur :

Ressource alternative à prévoir

Quantité nécessaire de n/a : litres

Figure C.7 : Analyse de l'ensemble des ED concernant les actions à prendre



Ressources alternatives

Suite à une défaillance de la ressource **Eau de consommation** dans le secteur **AH24** il est nécessaire de prévoir les ressources alternatives suivantes :

Eau embouteillée

Besoin total en **Eau embouteillée** : **6478** litres/jour

Besoin spécifique pour chaque infrastructure affectée :

Tunnel Ville-Marie (Tunnel, CGC, CDT)

Quantité nécessaire : 60 litres/jour

SCADA Gare Centrale (opéré par le CN) / Centre de Contrôle Ferroviaire du CN (CCF-CN) (opéré par le CN)

Quantité nécessaire : 24 litres/jour

DT (Direction territoriale)

Quantité nécessaire : 200 litres/jour

DGMO (Direction Générale de Montréal et de l'Ouest)

Quantité nécessaire : 200 litres/jour

Centre administratif 252101 / Centre de Surveillance du Réseau (CSR)

Quantité nécessaire : 5994 litres/jour

Figure C.8 : Analyse de l'ensemble des RD concernant les ressources alternative

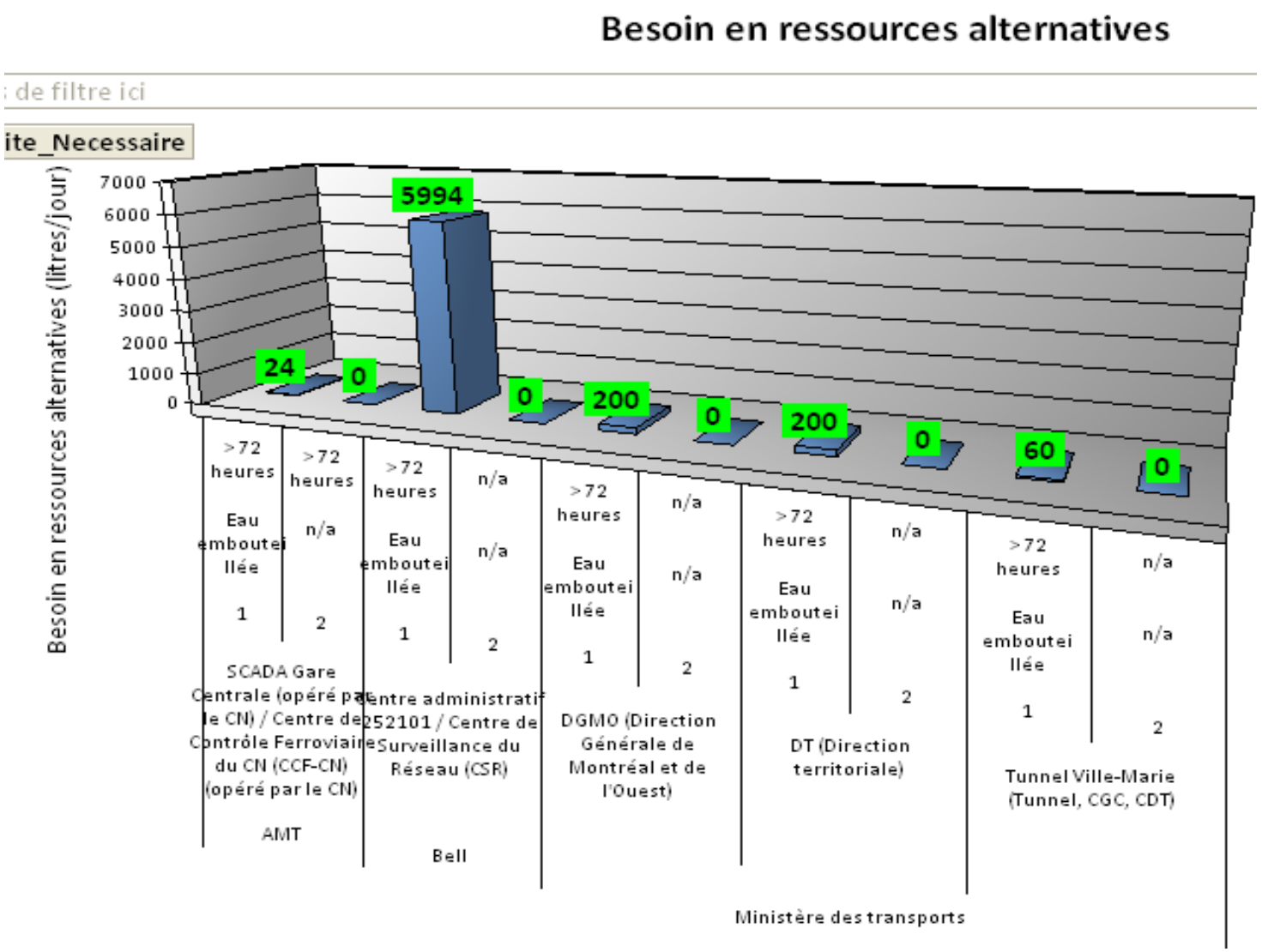


Figure C.9 : Graphique représentant les besoins en ressources alternatives

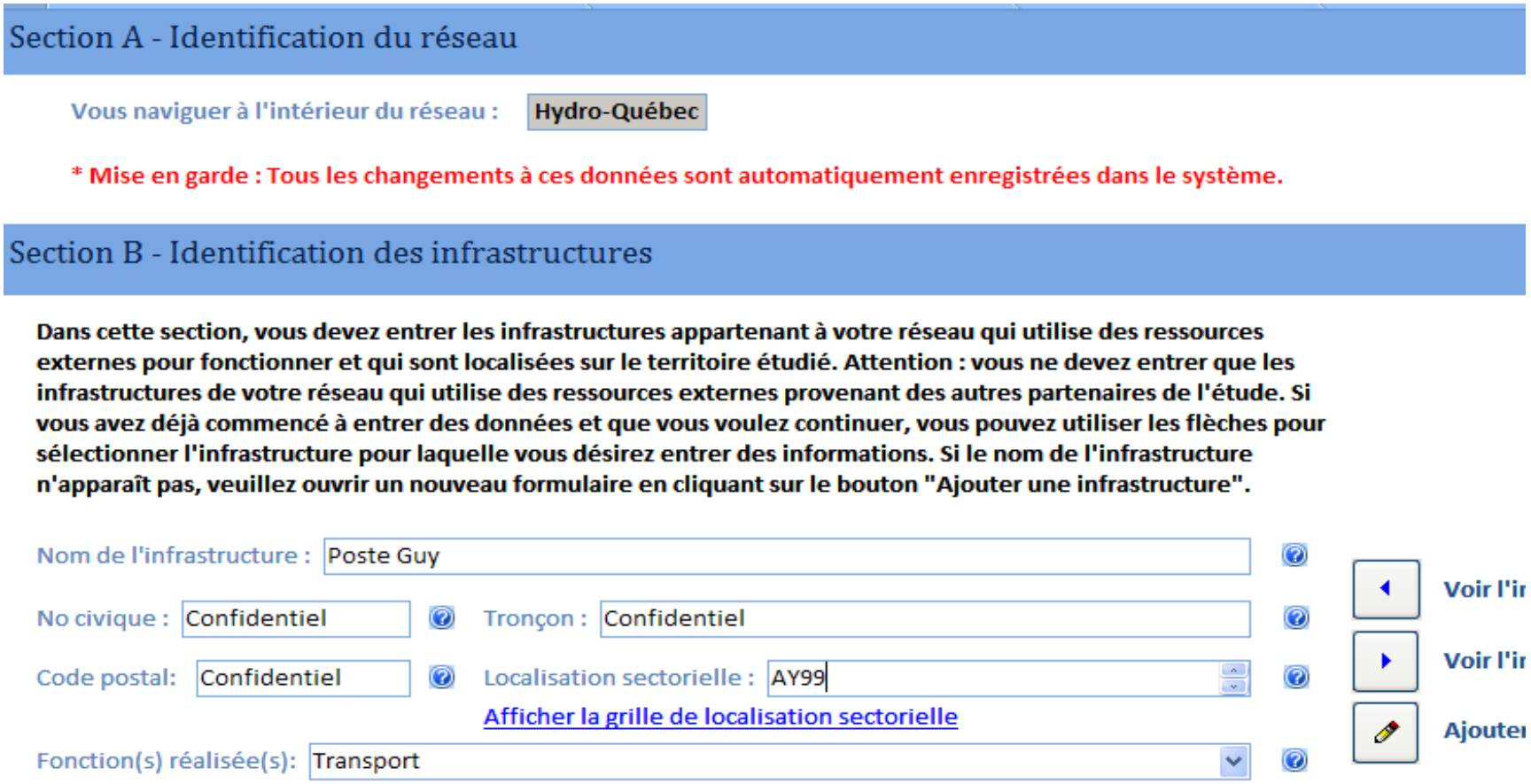


Figure C.10 : Formulaire de saisie des informations relatives à un seul réseau