

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉVALUATION DE LA DÉPENDANCE DES RÉSEAUX DE SUPPORT À LA VIE  
FACE AU RÉSEAU ROUTIER

YANNICK HÉMOND

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL  
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

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

AOÛT 2008



Library and  
Archives Canada

Bibliothèque et  
Archives Canada

Published Heritage  
Branch

Direction du  
Patrimoine de l'édition

395 Wellington Street  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

395, rue Wellington  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

*Your file* *Votre référence*  
*ISBN: 978-0-494-46056-6*  
*Our file* *Notre référence*  
*ISBN: 978-0-494-46056-6*

**NOTICE:**

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

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

**AVIS:**

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

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

---

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

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

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

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

  
**Canada**

**UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL**

**ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL**

Ce mémoire intitulé :

**ÉVALUATION DE LA DÉPENDANCE DES RÉSEAUX DE SUPPORT  
À LA VIE FACE AU RÉSEAU ROUTIER**

présenté par : HÉMOND Yannick

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

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

M. AGARD Bruno, Doctorat, président

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

Mme TREMBLAY, Line, M.P.A., membre

*« Il y a deux genres de personnes, ceux qui font le travail et ceux qui en prennent le crédit. Tentez d'être du premier groupe ; il y a moins de compétition. »*

Indira Gandhi

## REMERCIEMENTS

Le travail entourant l'écriture d'un mémoire ne peut se faire sans l'aide précieuse de certaines personnes. J'aimerais remercier dans un premier temps mon directeur de recherche, Benoît Robert, pour son soutien et son aide tout au long du processus et de manière plus générale, pour les chances qu'il m'a offert de m'impliquer dans le milieu de la sécurité civile.

Je ne pourrais passer sous silence la contribution de Frédéric Petit et Luciano Morabito avec qui j'ai pu avoir de nombreuses discussions. Par leurs recommandations, commentaires et réflexions, ils m'ont souvent sortie de situations difficiles.

J'aimerais également remercier les membres du jury pour leur temps consacré à l'évaluation de ce mémoire.

D'un point de vue plus personnel, j'aimerais remercier Marie-France Monette, pour son soutien moral et sa grande patience pendant le processus d'écriture qui a mené à ce mémoire.

## RÉSUMÉ

Chaque réseau de support à la vie utilise le réseau routier pour son fonctionnement, que ce soit pour recevoir des ressources ou pour exécuter des activités de supports. Le réseau routier peut défaillir à tout moment et cela peut avoir des répercussions sur ces utilisations. Ce mémoire propose une manière simple de prendre en compte le réseau routier dans l'évaluation des interdépendances entre réseaux de support à la vie. Partant de la méthodologie du *Centre risque & performance*, des recommandations sont formulées afin que cette méthodologie puisse intégrer le réseau routier.

En identifiant deux types d'utilisation et en caractérisant la défaillance par une approche basée sur les conséquences, il a été possible de proposer une manière simple de considérer le réseau routier. Cela a également permis d'évaluer la dépendance des réseaux de support à la vie face au réseau routier.

Les recommandations formulées dans ce mémoire sont orientées en fonction des travaux du *Centre risque & performance*. Premièrement, elles concernent les travaux actuels sur la modélisation des interdépendances. Les recommandations en ce sens permettront d'inclure le réseau routier dans les différents outils de modélisations qui ont été développés. Deuxièmement, les recommandations concernent les futurs travaux sur la mise en place d'un

système d'alerte précoce. Elles constituent une base pour les premiers travaux qui seront entrepris sur ce système.

Ce mémoire a permis de constater que la considération du réseau routier dans les travaux du Centre peut être possible, et ce, de manière simple et efficace. Lorsque le Centre mettra en application les recommandations, plusieurs gestionnaires de réseaux de support à la vie pourront se questionner sur les deux types d'utilisation du réseau routier et leurs dépendances face à celui-ci. Il est possible de penser que des modifications dans les règles de gestion et dans le fonctionnement des réseaux seront apportées.

## ABSTRACT

Each lifeline network uses the road network for its operation, whether it is to receive resources or for other supportive activities. The road network can fail at any time and this may affect these uses. This thesis proposes a simple way to consider the road network in the assessment of interdependencies between lifeline networks. Based on the methodology of the *Centre risque & performance*, recommendations are made so this methodology can integrate the road network.

By identifying two types of use and by characterizing the failure by an approach based on the consequences, it is possible to propose a simple way to consider the road network in the approach developed by the Center. This has also helped to evaluate the dependence of lifeline networks towards the road network.

The recommendations contained in this thesis are directed towards the work of the *Centre risque & performance*. First, they involve ongoing work on modeling interdependencies. This first recommendation will include the road network in different modeling tools that were developed. Secondly, the recommendations will concern the future works of the Center regarding the establishment of an early warning system. These recommendations constitute a basis for the first work to be undertaken on this system.

This thesis reveals that the consideration of the road network in the work of the Centre is possible, simple and effective. When the Centre will implement these recommendations, several lifeline networks will have to identify their dependences towards the road network by analyzing the two types of use of the road network. It will then be possible for them to implement changes in the rules for management and operation of networks by taking into consideration this dependency.

## **TABLE DES MATIÈRES**

DÉDICACE .....	iv
REMERCIEMENTS.....	v
RÉSUMÉ.....	vi
ABSTRACT.....	viii
TABLE DES MATIÈRES .....	x
LISTE DES TABLEAUX.....	xii
LISTE DES FIGURES.....	xiii
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS.....	xv
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE 2 : CONTEXTE DE RECHERCHE.....	5
2.1 Historique et présentation du CRP.....	5
2.2 Terminologie .....	6
2.3 Méthodologie du CRP .....	12
2.4 Élaboration du système expert et du système d'alerte précoce.....	26
CHAPITRE 3 : REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	27
CHAPITRE 4 : SUJET DE RECHERCHE.....	32
4.1 Problématique.....	33
4.2 Postulats de recherche .....	35

4.3	Objectifs de recherche .....	36
CHAPITRE 5 : DÉPENDANCE FACE AU RÉSEAU ROUTIER.....		37
5.1	Caractérisation du réseau routier.....	38
5.2	L’approvisionnement en ressource .....	45
5.3	Activités de support.....	51
5.4	Recommandations .....	55
CHAPITRE 6 : DISCUSSION .....		58
CHAPITRE 7 : CONCLUSION.....		61
RÉFÉRENCES.....		64

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 2.1 – Indicateur du niveau de fonctionnement des RSV. ....	21
Tableau 5.1 – Liste des utilisations du réseau routier .....	37
Tableau 5.2 – Résumé des recommandations concernant la modélisation. ....	56
Tableau 5.3 – Résumé des recommandations concernant l’alerte. ....	57

## LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 – Représentation graphique du risque selon le CRP (Robert, 2008).	12
Figure 2.2 – Exemple de cartographie souple appliquée à une zone d'étude (Robert, Morabito et Quenneville, 2007).	13
Figure 2.3 – Exemple de cartographie souple appliquée à une zone d'étude (Robert & Morabito, 2008b).	17
Figure 2.4 – Exemple de zones d'alimentation pour trois RSV (Robert, De Calan & Morabito, 2008).	18
Figure 2.5 – Exemple de courbes de conséquences d'un problème d'alimentation en eau sur le fonctionnement des réseaux d'un environnement socio-économique (Robert & Morabito, 2008b).	20
Figure 2.6 – Exemple de courbes d'utilisation de la ressource alternative carburant dans le secteur AH-24 (Robert, 2008).	22
Figure 2.7 – Exemple de courbes d'effets domino provenant d'un problème d'alimentation en eau dans le secteur AH-23 (Robert & Morabito, 2008b).	23
Figure 4.1 – Schéma illustrant le rôle du réseau routier dans l'acheminement des ressources essentielles aux RSV.	33
Figure 5.1 – Schéma de l'influence du réseau routier sur un RSV.	39
Figure 5.2 – Exemple d'élément critique sur un territoire à l'étude.	41
Figure 5.3 – Exemple de zones d'impact sur un territoire à l'étude.	45

Figure 5.4 – Exemple de courbe d’effets domino avec les utilisations du réseau  
routier.....48

Figure 5.5 – Exemple de courbe d’effets domino avec des activités de support. 53

## LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

CRP : *Centre risque & performance*

IE : Infrastructure essentielle

RSV : Réseau de support à la vie

SPC : Sécurité Publique Canada

## CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

Les événements des dernières années démontrent que le réseau routier n'est pas à l'abri d'une défaillance. Par exemple, l'effondrement du viaduc de la Concorde (septembre 2006), l'affaissement d'une dalle de béton au centre-ville de Montréal (août 2007) et le problème d'approvisionnement en essence à Montréal (décembre 2007) en sont quelques-uns rappelant la fragilité de ce réseau.

Chaque jour, des milliers de personnes et d'entreprises utilisent le réseau routier pour déplacer des ressources (humaines et matérielles), dans un laps de temps prescrit, d'un point A à un point B. Par contre, ce trajet peut à l'occasion prendre plus de temps que prévu et générer un délai.

Le réseau routier est considéré comme étant une infrastructure essentielle (IE) (Sécurité Publique Canada [SPC], 2008a), au même titre que l'énergie, les soins de santé et l'eau. Ces infrastructures sont identifiées comme étant vitales pour la continuité des activités, le bien-être et le fonctionnement de l'État (SPC, 2008b). L'IE Transport a été étudiée de différentes manières. Que ce soit pour le transport de matières dangereuses, les enquêtes origine destination ou son importance économique, ces études abordent la vulnérabilité du réseau routier sous différents angles. Par contre, cette vulnérabilité peut s'étudier dans un autre contexte que ceux énumérés précédemment. Le Centre risques &

performance (CRP) étudie depuis plusieurs années la problématique des IE, plus particulièrement les interdépendances qui existent entre elles (Robert, 2008). Cette dimension d'interdépendance permet d'aborder l'importance du réseau routier d'un tout autre angle.

Jusqu'à maintenant, dans les travaux du CRP, le réseau routier a toujours été considéré comme étant un utilisateur de ressources. Ces travaux ont permis de constater que des problèmes de télécommunications pouvaient avoir des conséquences sur le fonctionnement du réseau routier (Robert & Morabito, 2008b). Par contre, aucune recherche n'a traité la suite, soit connaître ce que le dysfonctionnement du réseau routier pouvait avoir comme conséquences sur les autres IE. La problématique traitée dans ce mémoire ajoute aux travaux du CRP une nouvelle perspective concernant le réseau routier.

Le réseau routier n'est pas une ressource au même titre que l'électricité ou le gaz. Les différentes IE n'utilisent pas le réseau routier de la même manière que ces ressources. Le réseau routier est souvent utilisé par les réseaux de support à la vie (RSV) pour recevoir une ressource, par exemple, de l'essence nécessaire au fonctionnement des génératrices, ou même pour effectuer des opérations sur les infrastructures (entretien, réparations, etc.). L'angle sous lequel le réseau routier devra être abordé doit tenir compte de ces informations.

Ce mémoire commence par expliquer le contexte de recherche dans lequel ces travaux se sont déroulés. Ces travaux s'insèrent dans ceux que le CRP effectuent présentement. L'explication de ce contexte est nécessaire puisque les mêmes concepts, terminologies et méthodologies que le CRP a développés ont dû être utilisés dans ce mémoire.

Par la suite, une revue de la littérature dans le domaine de l'étude de la vulnérabilité et des conséquences de défaillances du réseau routier est exposée. Cette revue de la littérature permettra de constater qu'il existe beaucoup de travaux en lien avec le réseau routier, mais qu'aucun ne traite directement la problématique d'interdépendance étudiée.

Cette revue de la littérature servira de cadre pour situer les travaux de recherche qui permettront de traiter de la problématique soulevée par ce mémoire. Les postulats de recherche qui ont servi de base à cette recherche ainsi que les objectifs seront présentés.

La caractérisation du réseau routier avec toutes ses composantes sera ensuite présentée. Cette caractérisation permettra de mettre en lumière les deux utilisations par les RSV du réseau routier qui seront traitées. De ces utilisations, des recommandations seront formulées pour modifier la méthodologie existante du CRP et alimenter les futurs travaux du CRP dans ce domaine.

Pour terminer, une discussion sur les principaux points importants de ce mémoire sera exposée. Cela permettra de souligner les forces et les faiblesses de ce qui est proposé et permettra d'ouvrir sur de nouvelles orientations de recherches pour les années à venir.

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

Les travaux de recherche se sont déroulés dans le cadre des travaux du CRP. Ce chapitre met en place le contexte de recherche. Cette présentation est nécessaire puisque les résultats de ce mémoire doivent s'insérer dans ces travaux. Dans ce chapitre, un bref historique du CRP sera présenté pour poursuivre avec la terminologie utilisée et la méthodologie développée et terminer avec les résultats des travaux sur le développement d'un système expert.

### **2.1 Historique et présentation du CRP**

Le CRP travaille depuis 10 ans sur la problématique des interdépendances entre les IE. Plus précisément, le CRP s'intéresse à la propagation des défaillances à travers les IE, soit les effets domino. Les travaux ont permis de développer une méthodologie d'évaluation et de gestion des interdépendances entre IE. Les prochains travaux du CRP seront axés sur le développement d'un système expert pour modéliser les interdépendances et d'un système d'alerte précoce pour venir supporter la prise de décision en situation d'urgence (Robert, De Calan & Morabito, 2008).

Les travaux du CRP ont rassemblé un grand nombre de partenaires œuvrant dans le domaine des mesures d'urgence au sein d'IE. Ces partenaires sont :

Bell Canada, Gaz Métro, Hydro-Québec, ministère des Transports du Québec, ministère de la Sécurité publique du Québec, Sécurité Publique Canada, Tecsalt, Ville de Montréal (réseaux d'aqueduc et égouts, centre de sécurité civile), ville de Québec (Bureau de la sécurité civile, Travaux publics, Technologie de l'information et des télécommunications, Gestion des immeubles, Ingénierie, Aménagement du territoire, Environnement, Réseau de transport de la Capitale).

Ces travaux ont également mené à la caractérisation des interdépendances, fonctionnelles et géographiques, à l'anticipation d'effets domino et à la mise en place de mesure de prévention et protection (Robert, 2008).

## **2.2 Terminologie**

Pour ces travaux, le CRP utilise différents termes qui seront exposés dans cette section. La présentation de cette terminologie permettra d'éviter toute confusion sur certains termes qui sont utilisés différemment dans les écrits scientifiques. Les termes infrastructures essentielles et interdépendances seront explicités pour ensuite présenter les différentes définitions du CRP concernant les notions de risques.

### 2.2.1 Infrastructures essentielles

Les IE, au nombre de 10 au Canada, constituent les éléments les plus importants pour le bon fonctionnement de la société et la continuité des opérations des entreprises. Le SPC (2008a) définit les IE comme étant :

1. **Énergie et services publics** (systèmes de production d'énergie électrique, de gaz naturel et de pétrole ainsi que leurs réseaux de transport) ;
2. **Technologie de l'information et des communications** (systèmes, logiciel, matériel et réseaux de télécommunications et de radiodiffusion, y compris Internet) ;
3. **Finances** (opérations bancaires, valeurs mobilières et investissements) ;
4. **Soins de santé** (hôpitaux, établissements de soins de santé et de réserve de sang, laboratoires et produits pharmaceutiques) ;
5. **Nourriture** (sécurité, distribution, agriculture et industrie alimentaire) ;
6. **Eau** (eau potable et gestion des eaux usées) ;
7. **Transports** (voies aériennes, ferroviaires, maritimes et terrestres) ;
8. **Sécurité** (sécurité contre les armes chimiques, biologiques, radiologiques et nucléaires, matières dangereuses, recherches et sauvetages, secours d'urgence et barrages) ;
9. **Gouvernement** (services, installations, réseaux d'information, biens gouvernementaux et sites et monuments nationaux privilégiés) ;
10. **Fabrication** (base industrielle de la défense, industrie chimique).

Ce classement, qui diffère d'un pays à l'autre, est présenté à titre indicatif. Chaque pays définit ces infrastructures en fonction de ses besoins.

Le réseau routier, qui est le sujet d'étude de ce mémoire, se retrouve dans l'IE Transports. Le réseau routier constitue un élément très important pour la mobilité des ressources matérielles et humaines. Il intervient directement dans le fonctionnement des autres IE. Avec ce mémoire, il sera possible de mieux comprendre son importance et de pouvoir évaluer les conséquences sur les autres IE lorsqu'il y a des défaillances.

Pour le CRP, l'expression « infrastructures essentielles » ne permet pas d'illustrer correctement sa définition. Le CRP a plutôt opté pour l'expression « réseau de support à la vie (RSV) » pour mieux représenter ce qu'il définit (Robert & Morabito, 2007). L'expression RSV permet de mieux saisir la complexité et la composition de ces réseaux. En effet, le terme infrastructure peut porter à confusion, car il est également utilisé pour décrire, par exemple, un pylône, mais également l'ensemble des composantes opérationnelles du réseau intégrant les processus de gestion et de contrôle. Donc, dans le présent mémoire, l'utilisation du terme RSV sera privilégié.

### **2.2.2 Types d'interdépendances**

L'échange de ressources et d'informations entre différents RSV suppose qu'il existe entre eux un lien de dépendance, voire même d'interdépendance. Ces interdépendances, au nombre de quatre, ont été définies par Peerenboom, Fischer, Rinaldi et Kelly (2002). La première, interdépendance fonctionnelle (physique) existe lorsqu'il y a un échange de ressources directes entre deux RSV. Par exemple, le système d'eau potable a besoin d'électricité pour fonctionner et le réseau d'électricité a besoin d'eau pour fonctionner. La deuxième, interdépendance géographique existe par une proximité entre les infrastructures de deux RSV. Par exemple, le bris d'une conduite d'eau potable peut entraîner le bris d'une conduite de gaz se trouvant à proximité. La troisième, interdépendance cybernétique existe lorsqu'il y a un échange de données entre deux RSV. Par exemple, le contrôle des RSV est souvent effectué à distance par des systèmes de surveillance communiquant entre eux via des systèmes de télécommunications. La quatrième, interdépendance logique existe par le contexte économique et politique. Par exemple, le prix du pétrole qui fluctue en fonction des conditions sociopolitiques au Moyen-Orient.

Le CRP, dans ses travaux, s'est concentré sur les interdépendances fonctionnelles et géographiques. Les outils qui ont été développés permettent (Robert & Morabito, 2008b) :

- D'identifier, de caractériser et de hiérarchiser les interdépendances entre RSV ;
- D'identifier et d'anticiper les effets domino ;
- De mettre en place des mesures de prévention et de protection.

### **2.2.3 Définitions**

Pour s'assurer d'une meilleure compréhension des concepts de gestion du risque utilisés, le CRP les a définis de la manière suivante (Robert, 2008) :

#### *Aléa*

Événement naturel ou anthropique (interne et externe) susceptible de survenir.

#### *Conséquences*

Effets sur un environnement (humain, technologique, socio-économique, biophysique, etc.), des défaillances d'un système.

#### *Défaillance*

Altération, dégradation ou cessation de l'aptitude d'un système à accomplir sa ou ses missions requises avec les performances spécifiées.

#### *Risque*

Le risque se définit selon une combinaison des trois critères suivants : vulnérabilité, aléas et conséquences. Plus précisément : le risque

correspond à la vulnérabilité d'un système face à des aléas et susceptible d'engendrer des conséquences.

### *Vulnérabilité*

Propriété, évolutive dans le temps, d'un système à subir des défaillances en fonction de son état.

La figure 2.1 représente le risque tel que défini par le CRP ainsi que les différents concepts qui s'y rattachent. Cette figure présente un système qui peut avoir différents états qui engendreront des conséquences dans un environnement donné. S'il est soumis à des aléas, son état actuel changera pour devenir critique (en mode de défaillance). Ce changement sera caractérisé par une durée et un délai. Le risque est représenté par le regroupement de ces concepts, soit la vulnérabilité, les aléas et les conséquences.

Risque = combinaison (vulnérabilité ; aléa ; conséquences)

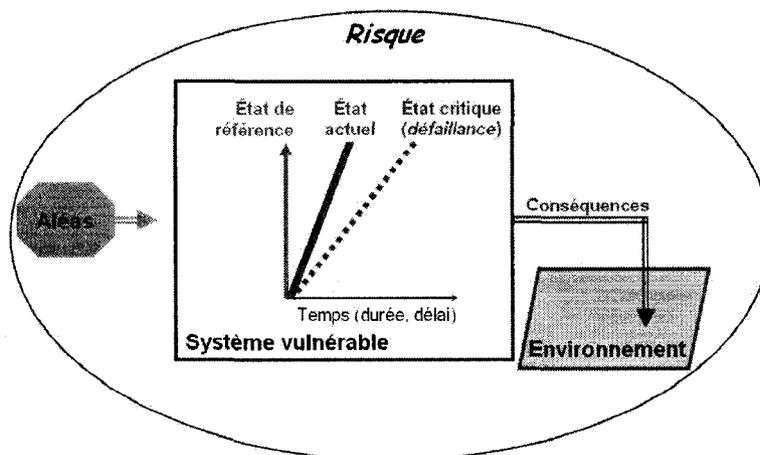


Figure 2.1 – Représentation graphique du risque selon le CRP (Robert, 2008).

## 2.3 Méthodologie du CRP

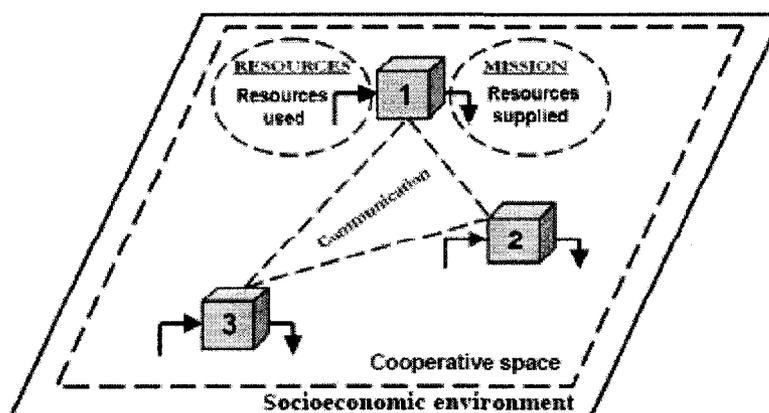
Pour évaluer et gérer les interdépendances entre RSV, le CRP a développé une méthodologie (Robert, Morabito & Quenneville, 2007; Robert, 2008, Robert & Morabito, 2008a). Cette section présente l'approche préconisée par le CRP et les différentes étapes de la méthodologie avec les outils qui ont été développés.

### 2.3.1 Démarche et approche

Se basant sur 3 principes de la Déclaration de Rio (Organisation des Nations Unies, 1992), le CRP a développé la Démarche de prévention (Robert, Morabito & Quenneville, 2007). Cette démarche a pour but d'encadrer une communication bilatérale entre différents acteurs à l'intérieur d'un territoire prédéfini. Elle prévoit, entre autres, que chaque acteur doit signaler toute défaillance de son RSV afin que les autres puissent prévoir ce qui se passera

dans le leur. Les avantages de cette démarche se situent principalement au niveau de la coopération entre les acteurs, de l'anticipation des effets domino et de la continuité dans la gestion du risque (Robert & Morabito, 2008b).

Pour compléter cette démarche de prévention, le CRP utilise une approche orientée client-fournisseur (figure 2.2). Elle permet de déterminer, pour chaque RSV, les ressources utilisées et les ressources fournies (missions). Par la suite, on identifie, pour chaque ressource utilisée, la conséquence sur la mission du RSV qui résultera de la dégradation de cette ressource.



**Figure 2.2** – Exemple de cartographie souple appliquée à une zone d'étude (Robert, Morabito et Quenneville, 2007).

La démarche de prévention et l'approche par conséquences permettent d'orienter la gestion des risques sur les conséquences plutôt que sur les causes de défaillances. L'objectif du CRP est de travailler à anticiper des situations

globales qui pourraient engendrer des effets domino. Ceci se fait à partir d'outils simples qui permettent d'intervenir rapidement avec un minimum d'informations.

Les sous-sections qui suivent présentent les différentes étapes de la méthodologie d'évaluation des interdépendances entre les réseaux de support à la vie.

### **2.3.2 Créer l'espace de coopération**

Basé sur la démarche et l'approche présentée précédemment, l'espace de coopération est nécessaire pour s'assurer du bon fonctionnement de l'ensemble de la méthodologie. Il est la base de la démarche de prévention en s'assurant de bien encadrer les communications entre les membres de l'espace. Lors de la création de l'espace de coopération, un responsable est nommé pour encadrer le déroulement de l'évaluation : le gestionnaire de l'espace de coopération.

Pour créer l'espace de coopération, on doit tout d'abord préciser les objectifs. Il faut s'assurer que tous les membres comprennent pourquoi cet espace a été créé et quels sont les objectifs poursuivis par l'étude. Il faut, par la suite, déterminer les ressources essentielles qui seront considérées dans l'étude. Il est important que les responsables de chacune des ressources essentielles qui seront étudiées soient membres de l'espace de coopération. Cela permettra de valider les travaux et de pouvoir bénéficier de leurs expertises.

L'étude doit s'effectuer sur un territoire bien défini. Ce territoire peut varier en taille (quartier, arrondissement, ville, province, etc.). La délimitation du territoire servira à baliser l'étude. Lorsque le territoire est défini, les différents intervenants présents dans ce territoire doivent être contactés pour solliciter leur participation, s'ils ne sont pas déjà membres de l'espace de coopération. Les différents intervenants techniques qui seront nécessaires pour l'évaluation doivent également être identifiés pour solliciter leurs expertises tout au long de l'étude.

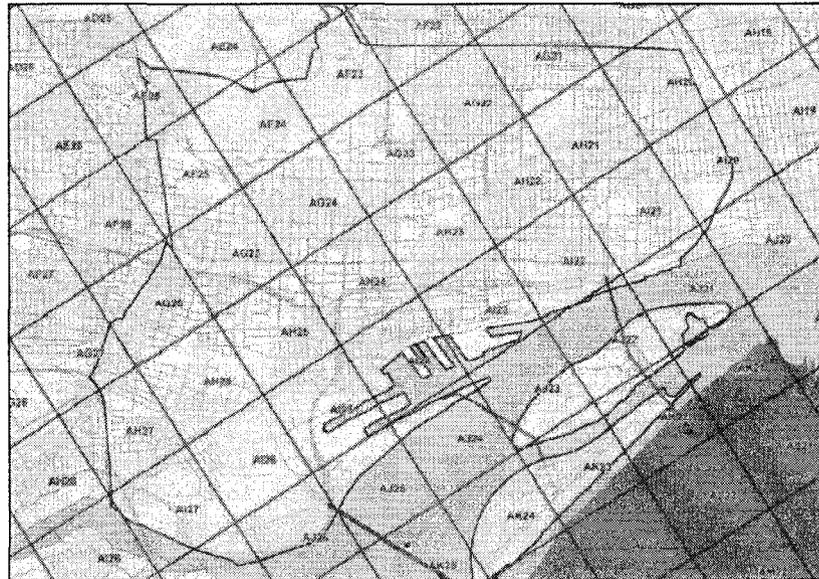
C'est à ce moment-ci que les règles de fonctionnement (réunion, convocation, compte-rendu, etc.), de communication et d'échange d'informations et d'expertises sont édictées. Suivant la démarche de prévention, il est important d'instaurer un climat de confiance à l'intérieur de l'espace de coopération pour que toutes les informations pertinentes soient communiquées aux bonnes personnes.

### **2.3.3 Caractériser le territoire**

Le territoire à l'étude doit être divisé pour faciliter l'étude des interdépendances et l'identification des conséquences. Deux actions sont nécessaires pour caractériser le territoire, découper le territoire à l'étude en secteurs identiques et se procurer les cartes de zones d'alimentation des RSV.

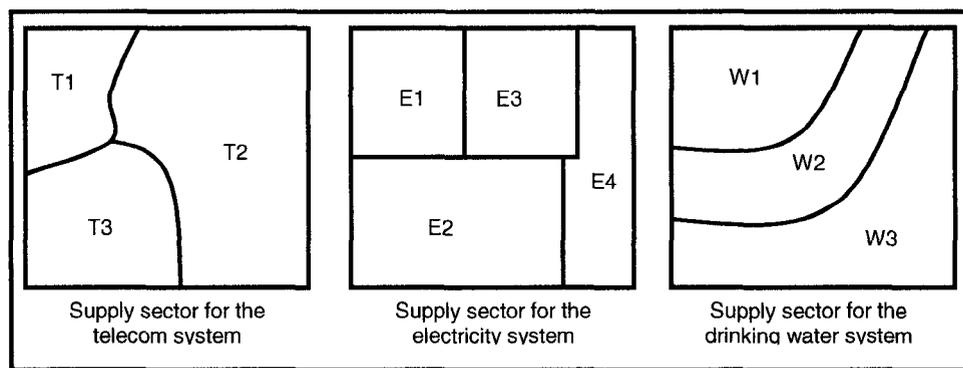
La division de la zone d'étude en secteurs est à la base du concept de la cartographie souple développé par le CRP (Robert & Morabito, 2008b). Cet outil permet de contourner le problème d'obtention des différentes cartes détaillées des réseaux des RSV en découpant le territoire en secteurs identiques. La figure 2.3 illustre un exemple de découpage en secteur sur un des territoires d'étude du CRP, le centre-ville de Montréal.

Ce découpage permet de contourner le problème qui peut résulter de la confidentialité ou de l'inexistence des cartes de zones d'alimentation. En fonctionnant par secteur d'alimentation, les RSV n'ayant pas de zones d'alimentation se basent sur les secteurs pour leurs zones. Cela évite de recueillir des données sur l'emplacement exact des infrastructures des RSV, données jugés sensibles et confidentielles par ceux-ci.



**Figure 2.3** – Exemple de cartographie souple appliquée à une zone d'étude (Robert & Morabito, 2008b).

Les zones d'alimentation correspondent à une zone géographique dans laquelle une perte d'une infrastructure importante, par exemple un poste de distribution d'électricité, entraînera un problème d'alimentation de la ressource dans cette zone (Robert, De Calan & Morabito, 2008). La figure 2.4 montre un exemple théorique de zones d'alimentation pour 3 RSV différents.



**Figure 2.4** – Exemple de zones d'alimentation pour trois RSV (Robert, De Calan & Morabito, 2008).

### 2.3.4 Caractériser les RSV

La caractérisation des RSV permet de connaître chaque réseau et ses constituantes. Cette étape est primordiale pour l'étude des interdépendances fonctionnelles et géographiques. La caractérisation globale d'un RSV permet de connaître le réseau et son fonctionnement. Les informations à obtenir lors de cette étape sont :

- La mission du RSV ;
- Les différentes fonctions du RSV ;
- Les infrastructures nécessaires à la réalisation de la mission du RSV.

Pour faire suite à la caractérisation globale, on procède, pour chaque réseau, à la caractérisation spécifique. Elle permet de connaître les infrastructures d'un réseau présentes sur la zone d'étude. Cela permet également de connaître les conséquences de la défaillance de l'infrastructure sur la mission du RSV.

Chacun peut, s'il le désire, fournir de l'information sur la localisation précise ou sectorielle de l'infrastructure.

### **2.3.5 Interdépendances fonctionnelles**

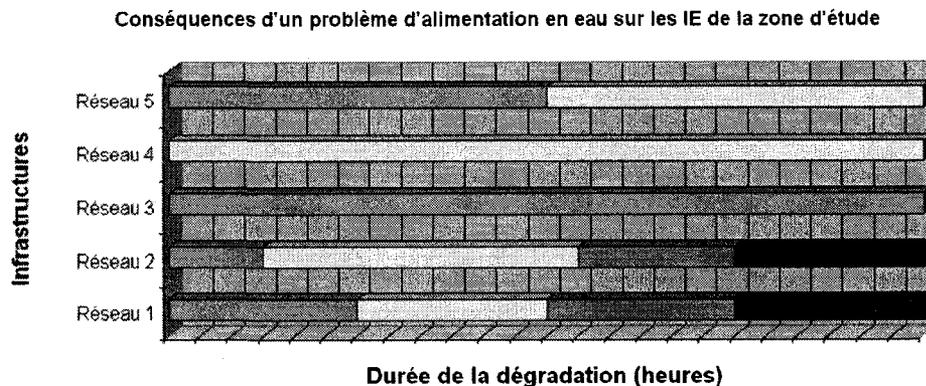
L'identification des interdépendances fonctionnelles est le premier résultat tangible de la méthodologie. Il permet, suite à la collecte de données, de créer différentes courbes (graphiques) afin de mieux cibler les actions et d'identifier les vulnérabilités qui peuvent exister par la dépendance face aux ressources essentielles. Les trois courbes créées sont : les courbes de dépendances, les courbes des besoins en ressources alternatives et les courbes d'effets domino.

Premièrement, pour évaluer la dépendance d'un RSV face à une ressource, le CRP a développé les courbes de conséquences. Ces courbes proviennent d'une matrice contenant les informations suivantes :

- Infrastructures ;
- Ressource utilisée ;
- Période du besoin ;
- Quantités nécessaires ;
- Stockage de la ressource ;
- Autonomie procurée par le stockage ;
- Conséquences de la défaillance de la ressource sur le fonctionnement de l'infrastructure ;

- Seuils de tolérance face à la défaillance de la ressource.

La collecte d'information se base sur l'approche par conséquences expliquée auparavant. L'objectif est de connaître les conséquences de la dégradation d'une ressource, dans un secteur, sur le fonctionnement des autres RSV. Cette matrice permet également de connaître les marges de manœuvre avant la défaillance lorsqu'il y a un problème avec une ressource. Une fois la matrice remplie pour chaque RSV, il est possible, en procédant par ressource, de construire des graphiques comme celui de la figure 2.5.



**Figure 2.5** – Exemple de courbes de conséquences d'un problème d'alimentation en eau sur le fonctionnement des réseaux d'un environnement socio-économique (Robert & Morabito, 2008b).

Ce graphique permet de constater qu'un problème d'alimentation en eau dans la zone d'étude n'aura pas le même effet, pour ce qui est des conséquences et du délai, sur tous les réseaux. Par exemple, les réseaux 1 et 2 passeront par l'ensemble des états avant de devenir défaillant, mais pas avec les mêmes

durées pour chacun des états. Pour le réseau 3, le manque d'eau n'aura aucune conséquence. Pour les réseaux 4 et 5, il y a un changement d'état qui n'entraîne pas la défaillance, mais encore une fois, avec un délai différent.

Le système de couleur, qui représente l'état du RSV, est présenté au tableau 2.1 (Robert & Morabito, 2008a).

**Tableau 2.1** – Indicateur du niveau de fonctionnement des RSV.

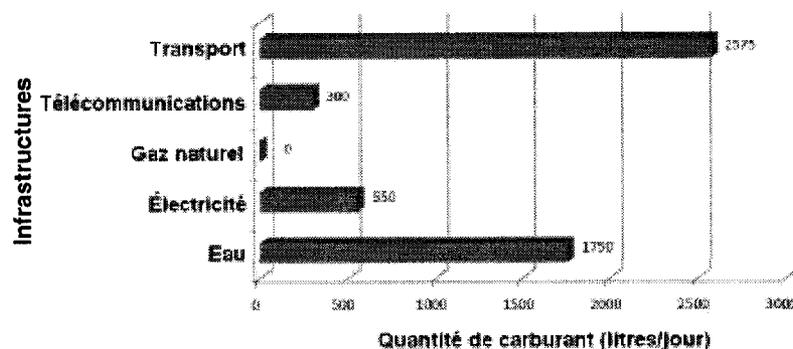
<b>Indicateur</b>	<b>Description</b>
<b>Vert</b>	Le réseau fonctionne normalement avec les ressources qu'il utilise de manière courante ou sans l'apport d'une ou plusieurs ressources courantes.
<b>Jaune</b>	Le réseau utilise une ressource dégradée à l'une ou plusieurs de ses infrastructures et met en place des moyens ou des ressources alternatives pour compenser la dégradation de la ressource sont suffisantes. La mission du réseau est maintenue à long terme.
<b>Orange</b>	Le réseau utilise une ressource dégradée à l'une ou plusieurs de ses infrastructures et les moyens ou ressources alternatives mis en place pour compenser la dégradation de la ressource ne sont pas suffisants. La mission du réseau est compromise à court terme.
<b>Rouge</b>	La mission du réseau est affectée sur un ou plusieurs secteurs dans la zone d'étude. La ressource n'est plus fournie dans ces secteurs.

Deuxièmement, lorsqu'une ressource essentielle n'est plus disponible, certains RSV utilisent des ressources alternatives qui suppléent ce manque (Robert, De Calan & Morabito, 2008). La collecte d'informations sur les ressources alternatives s'effectue en même temps que celle pour les ressources essentielles, mais doit tenir compte des particularités suivantes :

- Déterminer les infrastructures qui utilisent ces ressources ;

- Déterminer les ressources qu'elles remplacent ;
- Déterminer les marges de manœuvre supplémentaires qu'elles fournissent.

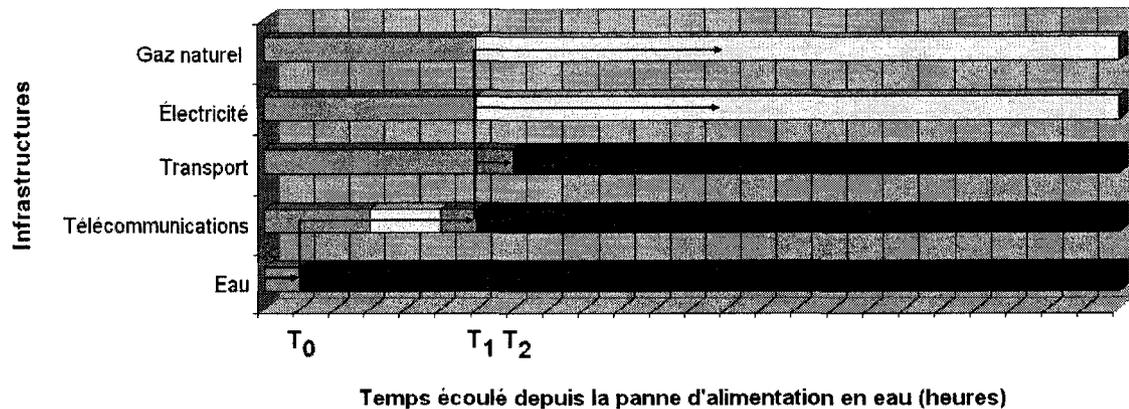
La figure 2.6 montre des courbes d'utilisation de la ressource alternative carburant. Elle permet de constater que la demande en carburant sera élevée pour les génératrices et qu'une pénurie pourrait venir perturber l'approvisionnement.



**Figure 2.6** – Exemple de courbes d'utilisation de la ressource alternative carburant dans le secteur AH-24 (Robert, 2008).

Troisièmement, les courbes d'effets domino sont les représentations des interdépendances entre les RSV. Obtenues par la superposition de plusieurs courbes de dépendances, elles permettent de représenter la propagation d'une défaillance dans un secteur spécifique, suite à un manque d'une ressource. La figure 2.7 illustre un exemple de courbe d'effets domino. Les courbes d'effets domino permettent de déterminer les secteurs critiques et de connaître les

marges de manœuvre disponibles avant qu'une défaillance d'une ressource se propage à tous les RSV.



**Figure 2.7** – Exemple de courbes d'effets domino provenant d'un problème d'alimentation en eau dans le secteur AH-23 (Robert & Morabito, 2008b).

La figure 2.7 présente l'état actuel des travaux du CRP. Cette figure illustre qu'un problème d'alimentation en eau au temps  $T_0$  engendrera, avec un délai, la perte du service de télécommunication sur la zone au temps  $T_1$ . Cette perte engendrera à son tour trois autres défaillances. Pour le réseau de Gaz naturel et d'Électricité, ces défaillances seront moindres que pour le RSV Transport, car pour celui-ci, cela entraînera la fermeture d'un axe routier dans le secteur. Cette figure représente bien la problématique qui sera exposée dans le chapitre 4. Les travaux du CRP ont permis d'identifier qu'une infrastructure routière peut être affectée par un problème avec une ressource utilisée, mais l'identification des conséquences de cette défaillance (indisponibilité) sur les autres RSV n'a pu être évaluée. Il est facile d'imaginer que la défaillance d'une infrastructure routière

peut avoir des impacts, en fonction de certains paramètres, sur le fonctionnement des autres RSV. Les travaux entrepris dans le cadre de ce mémoire visent, en partie, à compléter ces courbes d'effets domino lorsqu'une infrastructure routière devient défaillante.

### **2.3.6 Interdépendances géographiques**

L'identification des interdépendances géographiques exige un travail différent de celui des interdépendances fonctionnelles. C'est la seule étape de la méthodologie qui demande de l'information stratégique et confidentielle. En effet, pour identifier ces interdépendances, on doit connaître l'emplacement de certaines infrastructures.

Pour commencer l'étude des interdépendances géographiques, on doit connaître le comportement des différentes ressources présentes dans le territoire à l'étude.

Les données à recueillir sont :

- Les défaillances des infrastructures ;
- Identification des ressources et infrastructures ayant des potentiels de destruction :
  - Connaissance du comportement de ces ressources ;
  - Le volume stocké.
- Évaluation des zones d'impact.

Par la suite, on identifie les infrastructures qui sont vulnérables à ces comportements. Par exemple, les infrastructures pouvant être vulnérables à un ravinement suite à un bris de conduite d'aqueduc. Cette identification permettra de définir des zones d'études critiques où il y a plusieurs infrastructures pouvant être vulnérables.

Une fois les secteurs critiques identifiés, une réunion d'échange d'informations sera nécessaire. Lors de cette réunion, il y aura un partage d'informations confidentielles temporaires afin de connaître les conséquences que pourraient engendrer le comportement des ressources à l'étude.

Le caractère temporaire de cette mise en commun d'informations est très important puisqu'aucune information ne sera conservée. Les résultats issus de cette réunion serviront à établir des mesures conjointes d'atténuation des conséquences et de gestion des alertes et des procédures. Par exemple, suite à l'identification d'un problème potentiel avec le gaz naturel, une décision de se doter de capteurs de gaz pour détecter une fuite dans un bâtiment peut être prise. De même, des mesures de prévention ou d'entretien spécifiques peuvent être mises sur pied pour que l'intervention, lorsqu'elle sera requise, soit efficace. Peu de données sont disponibles car les travaux débutent sur ce sujet.

## **2.4 Élaboration du système expert et du système d'alerte précoce**

Un des objectifs du CRP avec cette méthodologie est de développer deux systèmes, soit un système expert et un système d'alerte précoce (Robert, De Calan et Morabito, 2008). Le système expert sera développé pour modéliser les effets domino automatiquement. Ce type de programme, à partir d'expertises, devra être capable de reproduire le même schème de pensée qu'un expert. Cette modélisation permettra au responsable de la sécurité civile de pouvoir mettre en place des actions afin de prévenir ou d'atténuer les effets domino.

Le système d'alerte précoce qui sera développé dans les années à venir par le CRP (Robert, De Calan & Morabito, 2008), sera complémentaire au système expert. Étant en mesure d'identifier rapidement les effets domino, un mécanisme d'alerte permettra de prévenir l'ensemble des RSV concernés par la défaillance. Les recherches qui ont été faites jusqu'à maintenant couvrent la première des quatre composantes d'un système d'alerte précoce (United Nations/International Strategy for Disaster Reduction, 2006), soit la connaissance du risque. Les trois autres composantes : la surveillance et service d'alerte, la diffusion et communication et la capacité de réponse feront l'objet de futurs travaux pour le CRP (Robert, De Calan & Morabito, 2008).

### **CHAPITRE 3 : REVUE DE LA LITTÉRATURE**

Après avoir exposé le contexte d'étude dans lequel ce mémoire s'inscrit, une revue de la littérature s'impose. Elle permettra de présenter différents travaux traitants de la vulnérabilité du réseau routier. Les écrits recensés s'articulent autour de deux sujets :

1. Des méthodologies d'évaluation de la vulnérabilité d'une partie du réseau routier ou son ensemble
2. L'évaluation des différentes conséquences, surtout économiques, que la défaillance du réseau routier engendre.

Ces deux thèmes ont été retenus, car ils se rapprochaient du sujet de ce mémoire. Aucun écrit traitant de l'évaluation de la dépendance d'un RSV face au réseau routier n'a été trouvé. Le même constat est fait concernant l'étude du réseau routier dans un contexte d'interdépendance entre RSV.

L'objectif de cette revue de la littérature est de démontrer que les travaux actuels permettent de cibler des éléments du réseau routier vulnérables et de mesurer la conséquence sur le flux routier ou en terme économique. Les quelques travaux présentés serviront de base à la présentation de la problématique.

Le premier thème de la revue de la littérature aborde le sujet de l'évaluation de la vulnérabilité du réseau routier. Les différents auteurs présentés dans cette

section abordent l'évaluation de la vulnérabilité du réseau routier en cherchant principalement à déterminer les éléments plus vulnérables à l'intérieur même du réseau.

Berdica (2002) présente la vulnérabilité du réseau routier comme étant un problème dans le réseau qui en réduit l'accessibilité. Cette accessibilité peut être influencée par le nombre de routes existantes et par l'aléa qui le touche. Une route peut être entravée partiellement ou complètement. L'évaluation de la vulnérabilité devra tenir compte de ces concepts. Dans les paragraphes qui suivent, différents travaux sur l'évaluation de la vulnérabilité sont présentés avec les points particuliers que chacun intègre dans sa méthodologie.

Tampère, Stada, Immers, Peetermans & Organe (2007) ont développé une méthodologie pour identifier les tronçons de route vulnérables dans un système de route nationale. Cette méthodologie se base sur différents indicateurs de vulnérabilité, tel que le temps du trajet, la demande en trafic et la capacité de la route. À partir de ceux-ci, il est possible d'effectuer les trois étapes de la méthodologie. Elle se base sur l'établissement d'une longue liste de liens routiers potentiellement vulnérables. Par la suite, à l'aide de différents facteurs (probabilité d'accident, existence de route alternative, etc.) cette liste est réduite à quelques liens routiers. Avec cette liste, différentes simulations d'incidents

sont effectuées pour déterminer les éléments du réseau routier qui sont les plus vulnérables à une défaillance.

Jenelius, Petersen & Mattson (2006) abordent la vulnérabilité du réseau routier avec le même objectif, c.-à-d. déterminer les tronçons de route les plus vulnérables. En mesurant l'importance et l'exposition des tronçons de route, ils parviennent à déterminer différents niveaux de vulnérabilité pour l'ensemble d'un réseau routier. Ces mesures se basent sur la demande entre deux nœuds routiers combinée avec les coûts généraux de déplacement. Ces coûts sont exprimés sous deux formes, soit les coûts lorsque le lien routier entre les deux nœuds est endommagé et les coûts lorsque ce même lien est fermé. Jenelius (2007b) ajoute avec ses travaux des considérations pour l'iniquité des usagers. Chaque conséquence n'aura pas le même effet pour tous les usagers, puisque leurs besoins sont différents. Il intègre cette notion dans la méthodologie qu'il a modifiée dans cet article.

Pour leur part, Chen, Yang, Kongsomsaksakul & Lee (2007), proposent une mesure d'accessibilité du réseau routier basé sur une analyse de la vulnérabilité. Pour y parvenir, ils évaluent le changement que produit une dégradation sur le temps du trajet effectué par un usager en se basant sur un modèle combiné de demandes et d'offres routières. De plus, dans l'évaluation de la demande, le comportement de l'utilisateur en cas de dégradation est intégré pour venir bonifier

la mesure d'accessibilité. Ces travaux permettent de bâtir une matrice présentant l'impact sur l'accessibilité d'une défaillance du réseau routier en fonction des choix disponibles pour l'utilisateur.

Richard, Tremblay & Groleau (2007) proposent, quant à eux, une méthode d'identification des structures les plus vulnérables à un aléa. Cette méthode est basée sur une analyse de risques combinant les probabilités d'occurrences d'un aléa et les conséquences pouvant survenir. Elle permet de cibler les structures routières les plus vulnérables sous la juridiction du MTQ pour mieux orienter les futurs travaux d'entretien et de réparation.

Pour le deuxième thème, soit l'évaluation des conséquences, Jenelius (2007a) et Nicholson (2007) les abordent de la même manière. Elles sont de deux niveaux : économiques et temporels. Une défaillance du réseau routier peut venir perturber les activités économiques d'un secteur en ne permettant pas le transport commercial pendant un laps de temps. La défaillance peut également perturber les usagers non commerciaux en augmentant leur temps de trajets. Cette conséquence forcera l'utilisateur à faire un choix sur son déplacement, ce qui pourra également entraîner des conséquences économiques. L'autre aspect économique qui est traité concerne la réparation de la route suite à une dégradation (Jenelius, 2007c).

En conclusion, les différents écrits en ce sens étudient la vulnérabilité du réseau routier sous un angle intéressant. Cibler des tronçons de route ou des structures pouvant se dégrader permettra d'identifier des éléments critiques du réseau routier. Ces études de vulnérabilité ne sont pas directement utiles pour l'atteinte des objectifs de ce mémoire. En voulant étudier la dépendance des RSV face au réseau routier, nous ne cherchons pas à connaître quelle conséquence le routier peut générer, mais bien comment cette défaillance, dans un contexte d'étude des interdépendances, peut influencer le fonctionnement des autres RSV.

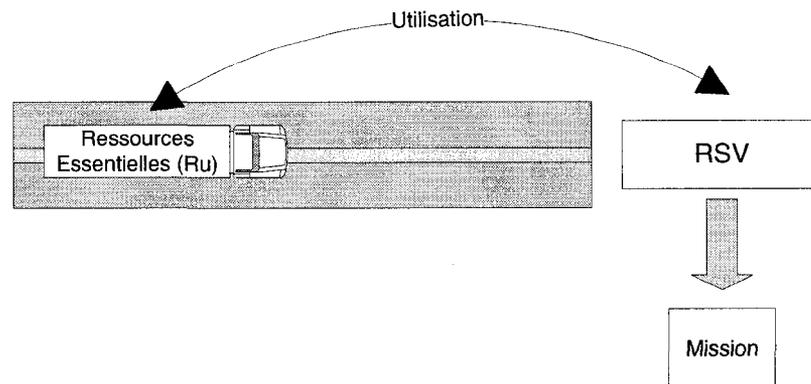
Les recherches dans ces écrits ont permis de constater que la plupart des études portent sur l'évaluation du réseau routier et de sa vulnérabilité par rapport à lui-même. Lorsqu'il est question de conséquences hors de ce réseau, ils sont principalement d'ordres économiques ou temporels pour les usagers.

Par contre, ce qui est présenté par ce mémoire concerne la relation qui existe entre un RSV et le réseau routier et comment celui-ci affecte son fonctionnement. Ce qui est recherché n'est pas de comprendre le fonctionnement du réseau routier, mais bien comment un RSV l'utilise et quelles seront les conséquences sur son fonctionnement lorsqu'il y aura une dégradation du réseau routier. Les écrits recensés pourraient aider les différents responsables du réseau routier à fournir l'expertise nécessaire à ce qui est proposé dans ce mémoire.

## **CHAPITRE 4 : SUJET DE RECHERCHE**

Comme constaté par la revue de la littérature, aucun travail ne permet d'évaluer la dépendance des RSV face au réseau routier. La littérature recensée n'intègre pas de notion d'interdépendances entre RSV, ni de concept de dépendance face à une ressource. Les travaux de recherche qui ont mené à ce mémoire s'inscrivent dans la suite de ce que la revue de la littérature a pu révéler. L'objectif n'est pas de comprendre le comportement du réseau routier, mais bien l'impact de sa défaillance dans une perspective d'évaluation et de gestion des interdépendances. La revue de la littérature permet aux différents responsables du réseau routier de fournir l'expertise requise explicitée dans les chapitres à venir.

La particularité du réseau routier provient de son utilisation. Un RSV utilise la ressource qui lui est acheminée par l'entremise du réseau routier (figure 4.1) ou il l'utilise pour diverses activités pour assurer son fonctionnement. Que ce soit pour l'entretien, la surveillance, la réparation ou accéder à une infrastructure, un RSV fait une utilisation du réseau routier pour s'assurer que son système est fonctionnel et lui permet de remplir sa mission.



**Figure 4.1** – Schéma illustrant le rôle du réseau routier dans l'acheminement des ressources essentielles aux RSV

Les résultats de recherches de ce mémoire doivent permettre de structurer la connaissance qui est nécessaire pour l'intégration du réseau routier dans la méthodologie du CRP et dans le système expert qui sera développé.

#### 4.1 Problématique

À ce stade, la problématique abordée avec ce mémoire s'impose d'elle-même. Dans la continuité des travaux du CRP, il faut identifier l'expertise nécessaire pour évaluer la dépendance des RSV face au réseau routier. La relation du réseau routier avec les autres RSV ne cadrant pas directement dans un des types d'interdépendances définies au chapitre 2. Cette relation peut être autant défini par l'interdépendance fonctionnelle, de par l'échange de ressource que par l'interdépendance géographique, lors de l'utilisation du réseau routier pour accéder une infrastructure. À la limite de l'interdépendance fonctionnelle et géographique, la prise en compte du réseau routier dans la méthodologie du

CRP doit se faire de manière simple. Pour y parvenir, plusieurs défis doivent être relevés.

Le premier défi concerne la caractérisation du réseau routier pour déterminer des zones d'alimentation ou des secteurs. Le réseau routier n'est pas une ressource au même titre que le gaz naturel ou l'électricité. On n'alimente pas un secteur en routes. Les infrastructures routières sont plutôt mises à la disposition des utilisateurs. Le caractère statique de cette ressource oblige à aborder la définition des zones d'alimentation et de secteurs d'une autre manière. Le réseau routier est présent sur presque l'ensemble du territoire et étant fortement maillé, il est rare qu'une seule route relie deux points.

Le deuxième défi est la caractérisation des utilisations du réseau routier. Le réseau routier est utilisé pour un nombre élevé d'activités diverses. En lien avec la problématique, un regroupement logique des utilisations permettant une évaluation et une mesure de la dépendance plus globale devra être élaboré. Ce regroupement permettra d'éviter d'acquérir trop de données en voulant identifier toutes les utilisations possibles du réseau routier.

Pour terminer, il faut caractériser les défaillances du réseau routier et leurs impacts sur le fonctionnement des RSV. Comme il a déjà été mentionné, les défaillances du réseau routier peuvent être multiples de même que les impacts

qu'elles génèrent. Tous les utilisateurs du réseau routier ne subiront pas les mêmes impacts suite à une défaillance. Une manière simple et compréhensible pour tous les RSV de prendre en compte ces impacts devra être trouvée.

## **4.2 Postulats de recherche**

Aux fins de la recherche, deux postulats sont formulés.

*Postulat 1 : Le réseau routier n'est pas un initiateur d'effets domino*

Dans l'approche pour modéliser la dépendance des RSV face au réseau routier, le réseau routier ne peut initier une réaction en chaîne de défaillances à travers les RSV, mais uniquement influencer la propagation des défaillances dans les autres RSV. Par exemple, le RSV qui ne pourra recevoir dans les temps requis de l'essence pour son fonctionnement à cause d'un problème routier sera vulnérable parce qu'il n'a pas d'essence et non parce que le réseau routier est défaillant.

*Postulat 2 : L'approche par conséquences permettra d'intégrer l'état du réseau routier dans la modélisation des interdépendances*

L'approche par conséquences permettra de mieux aborder la problématique du réseau routier dans un contexte d'interdépendances. En effet, le CRP a démontré à travers ses travaux (Robert, 2008), qu'étudier les conséquences plutôt que les causes permettait de parvenir rapidement à des résultats tangibles.

### **4.3 Objectifs de recherche**

L'objectif principal de la recherche est d'évaluer la dépendance des RSV face au réseau routier. Cette évaluation doit se faire de manière simple, avec peu de données, afin de respecter les objectifs du CRP.

Pour soutenir cet objectif, l'évaluation devra se traduire par :

- Une caractérisation des zones d'impacts ;
- Une caractérisation des utilisations du réseau routier ;
- Une caractérisation des défaillances du réseau routier et leurs impacts ;
- L'intégration du paramètre temps en termes de délai ;
- Une structuration des expertises nécessaires à l'intégration de cette problématique dans la méthodologie développée par le CRP.

L'autre objectif de ce mémoire est de fournir des recommandations pour intégrer la dépendance des RSV face au réseau routier dans la modélisation des interdépendances développée par le CRP et dans le futur système d'alerte précoce qui sera développé.

## CHAPITRE 5 : DÉPENDANCE FACE AU RÉSEAU ROUTIER

Pour bien comprendre la dépendance des RSV face au réseau routier, il faut bien le caractériser. L'objectif de cette caractérisation est de ressortir les points importants pour inclure le réseau routier dans la modélisation des interdépendances et dans le système d'alerte précoce qui sera développé.

Avant de commencer la caractérisation, il faut comprendre comment les RSV utilisent le réseau routier. Cela permettra de saisir l'influence qu'il peut avoir sur leur fonctionnement. Un RSV peut utiliser le réseau routier pour différentes activités dans le but d'accomplir sa mission. Le tableau 5.1 présente les utilisations possibles.

**Tableau 5.1 – Liste des utilisations du réseau routier**

<b>Utilisations</b>
Entretenir une infrastructure
Construire une infrastructure
Réparer une infrastructure
Intervenir en situation d'urgence
Recevoir des ressources essentielles
Accéder à une infrastructure
Surveiller une infrastructure

Ces utilisations peuvent être regroupées en deux grandes catégories, l'approvisionnement en ressources et les activités de support.

L'approvisionnement en ressources concerne autant les ressources dites courantes que les ressources alternatives. Ce qui est important d'identifier, c'est l'influence qu'aura le réseau routier sur le transport de la ressource (courante ou alternative) d'un point A au point B. L'influence sera caractérisée par un délai d'approvisionnement.

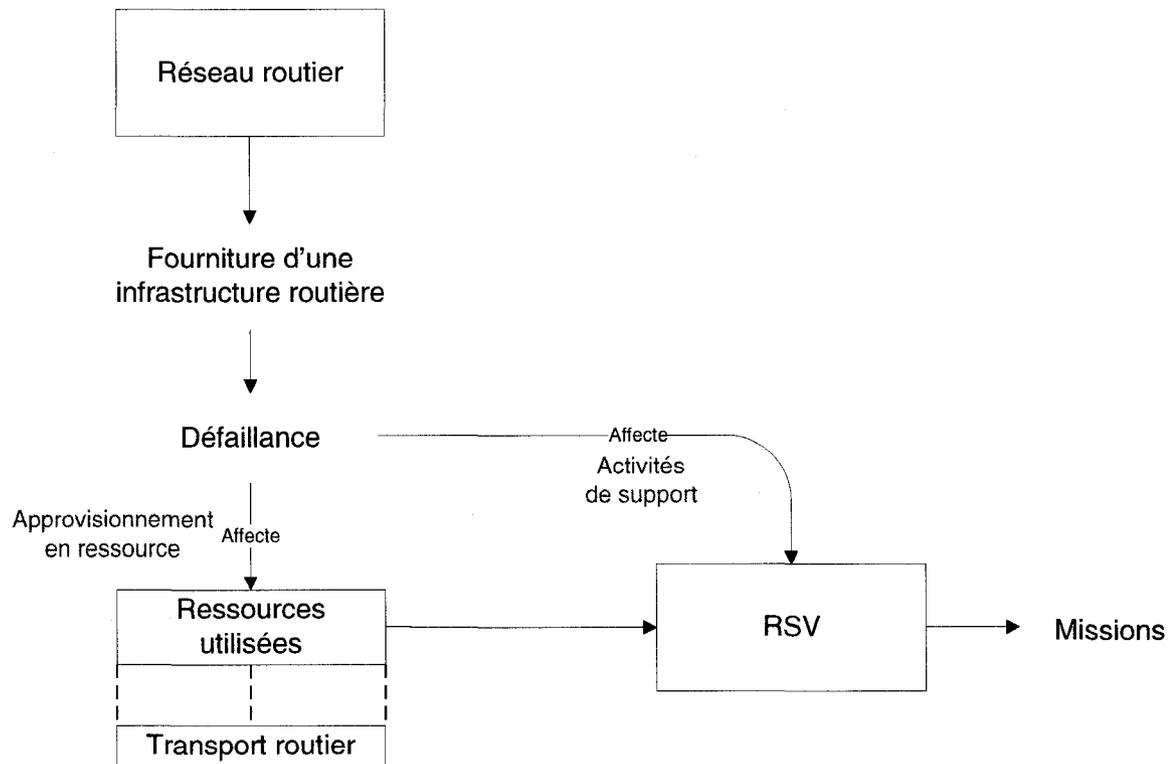
Les activités de support sont définies par les activités venant supporter la mission du réseau. Les activités de support comprennent, entre autres, la maintenance, la réparation et la surveillance des infrastructures constituant un RSV. Dans ce cas, l'influence du réseau routier reste difficile à cerner précisément, mais la défaillance du réseau routier induira un délai d'accessibilité aux infrastructures pour effectuer ces activités.

### **5.1 Caractérisation du réseau routier**

Les deux catégories d'utilisations identifiées permettent de procéder à la caractérisation du réseau routier. La figure 5.1 présente l'influence que peut avoir le réseau routier sur un RSV. Les deux catégories d'utilisations sont représentées par les flèches d'affectations reliant la défaillance de l'infrastructure routière aux éléments du RSV. La figure 5.1 présente également les éléments à définir avant d'étudier la manière d'évaluer la dépendance des RSV face au réseau routier. Ces éléments sont :

- Le réseau routier ;

- La défaillance ;
- Les deux types d'utilisation (approvisionnement en ressource et activités de support).



**Figure 5.1** – Schéma de l'influence du réseau routier sur un RSV.

Enfin, la figure 5.1 permet de constater que c'est l'infrastructure routière mise à la disposition des RSV qui est utilisée et qu'elle peut défaillir, ce qui aura des conséquences sur la fourniture de la mission du RSV.

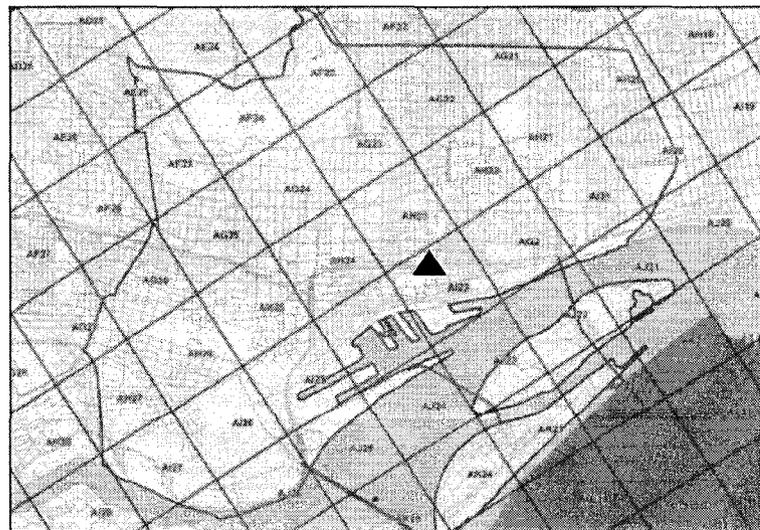
Pour amorcer la caractérisation du réseau routier, il faudra définir l'équivalent des zones d'alimentation. Plutôt que d'avoir une infrastructure qui fournit une ressource essentielle à un espace de coopération, il y aura des éléments critiques du réseau routier pouvant générer des zones d'impact (défaillances). Par la suite, pour aborder la problématique de dépendance des RSV face au réseau routier, les deux catégories d'utilisation du réseau routier identifiées seront explicitées pour déterminer les éléments importants et les recommandations nécessaires à la modélisation des interdépendances et au système d'alerte précoce.

#### **5.1.1 Identification des éléments critiques**

Comme expliqué dans la problématique, le réseau routier ne fournit pas de ressources aux autres RSV. Il met une infrastructure routière à la disposition des autres RSV qu'ils l'utilisent à plusieurs fins. Cette distinction est majeure pour bien comprendre la nécessité d'une nouvelle approche qui prendra en compte le réseau routier dans les travaux du CRP. La problématique ne se situe pas dans la logique client-fournisseur, mais plutôt dans une logique de dépendance.

Pour amorcer la caractérisation, les responsables du réseau routier doivent identifier des éléments critiques qui permettent un trafic élevé sur le réseau routier. Avec ces éléments, il sera possible d'identifier des secteurs qui seront touchés par une défaillance du réseau routier.

Les éléments critiques peuvent être précisés sur une carte découpée selon le principe de la cartographie souple (Robert & Morabito, 2008b). Ils sont des points névralgiques du réseau routier qui permettent un haut débit de voitures et camions (routes ou autoroutes) ou ils représentent des éléments essentiels pour rejoindre deux points sur une carte (ponts, tunnels, échangeurs, etc.). L'identification des éléments critiques doit se faire avec les différents responsables du réseau routier en fonction, entre autres, des débits journaliers moyens annuels (DJMA). La figure 5.2 montre un exemple d'élément critique, le tunnel Ville-Marie, dans le Centre-ville de Montréal. Cet élément a été identifié par le CRP lors de ces travaux comme étant une infrastructure routière importante de la zone d'étude.



▲ Élément critique

**Figure 5.2** – Exemple d'élément critique sur un territoire à l'étude.

### 5.1.2 Caractérisation de la défaillance du réseau routier

La caractérisation de la défaillance du réseau routier n'est pas, à première vue, une tâche simple. Cette caractérisation constitue un des points importants de la recherche. Deux approches ont été analysées, pour n'en retenir qu'une.

La première approche abordée a été d'identifier les défaillances en étudiant les différentes causes. Les causes identifiées sont (Husdal, 2006) :

- Les conditions routières ;
- Les entraves spontanées (bris, accident, malveillance) ;
- Les réparations et les travaux.

Pour chacune de ces causes, les conséquences possibles qu'elles pourraient avoir sur chaque utilisation du réseau routier ont été évaluées. Cette tâche demande, dans un premier temps, de connaître les détails de chaque utilisation, c.-à-d. les trajets empruntés dans le territoire à l'étude. Dans un deuxième temps, de posséder les capacités de modélisation des différents déplacements ainsi que des défaillances du réseau routier, et ses propagations, pour chaque tronçon de route. Il apparaît évident que cette approche n'atteint pas les objectifs de simplicité et de globalité visés. De plus, ce qu'il faut connaître, ce n'est pas comment le trafic réagit à des défaillances, mais bien comment cette

défaillance intervient dans la dépendance des RSV face au réseau routier. Cette approche n'a pas été retenue.

L'autre approche qui a été étudiée est celle donnée par le postulat 2, l'approche par conséquences. Au lieu de concentrer les efforts sur les différentes causes possibles de la défaillance et comment elle influe sur le trafic routier, les efforts ont été concentrés sur les conséquences que cela engendrera sur les RSV. Cela a permis d'identifier un dénominateur commun, soit un délai. Ce délai sera différent en fonction de la défaillance du réseau routier et il sera représenté par la durée.

Pour caractériser ce délai et pour calquer le principe de zone d'alimentation de la méthodologie du CRP, des zones d'impact sont définies.

#### **5.1.2.1 Zones d'impact**

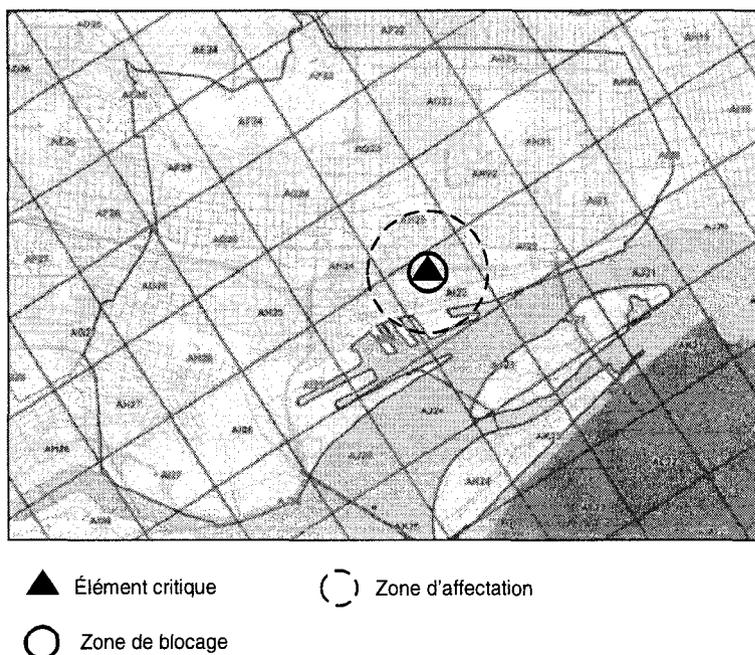
À partir des éléments critiques identifiés, il est possible de définir deux zones d'impact. Elles sont à l'image des zones ERPG pour les industries chimiques développées par le Conseil pour la réduction des accidents industriels majeurs (2007). Elles sont définies en fonction des conséquences possibles sur le flux routier à l'intérieur d'eux-mêmes. Dans l'optique de la cartographie souple, il s'agit de déterminer les secteurs qui seront affectés par la défaillance de chacun

des éléments critiques. Les zones d'impacts possibles sont : la zone de blocage et la zone d'affectation.

La zone de blocage représente le ou les secteurs dans lesquels la circulation routière ne sera pas possible suite à la défaillance de l'élément critique. L'ampleur de la défaillance, la période de l'année, la période de la journée et la température sont quelques facteurs qui pourraient influencer la définition de la zone de blocage. Cette zone devra être définie par les responsables du réseau routier. Une des informations qui doit être transmise est le ou les secteurs touchés par cette zone. Dans le cas de la figure 5.3, le secteur pour la zone de blocage serait AI23.

Au-delà de la zone de blocage, il est possible de définir une zone d'affectation. Cette zone subit les impacts de la défaillance, mais la circulation routière est possible. Le délai, tout comme la zone de blocage, est caractérisé par un certain nombre de facteurs, mais il revient aux différents responsables du transport de définir l'étendue de la zone et de transmettre les secteurs touchés. Dans le cas de la figure 5.3, les secteurs pour la zone d'affectation seraient AH24, AH23, AH22, AI24, AI22

La figure 5.3 montre un exemple de zones d'impacts qui pourrait exister suite à une fermeture partielle ou complète du tunnel Ville-Marie dans le Centre-ville de Montréal.



**Figure 5.3** – Exemple de zones d'impact sur un territoire à l'étude.

Dans les deux sections qui suivent, les deux types d'utilisation avec leur caractérisation seront présentés pour parvenir à recommander des paramètres pour la modélisation et le système d'alerte précoce.

## 5.2 L'approvisionnement en ressource

La ressource qui chemine par le réseau routier peut être représentée par le couple ressource transport sur la figure 5.1. Cette représentation permet

d'illustrer la relation qui existe entre une ressource et son mode de transport. Dans le cadre de ce mémoire, le mode de transport étudié est le réseau routier. Cette relation sous-entend que le réseau routier aura une influence sur la disponibilité de la ressource. Elle se traduira par un délai dans l'approvisionnement de la ressource. C'est l'effet de ce délai sur la disponibilité de la ressource pour le RSV qui sera évalué. Pour y parvenir, il faudra connaître chaque ressource acheminée à une infrastructure d'un RSV qui emprunte le réseau routier.

Pour la ressource alternative, utilisée lorsque la ressource courante n'est pas disponible, il faut savoir si elle est acheminée par le réseau routier et si oui, la fréquence, en heure, de réapprovisionnement. Par exemple, l'essence nécessaire aux génératrices lorsqu'il n'y a pas d'électricité. La modélisation sera différente puisque pour la ressource alternative, il est possible de situer le début de l'approvisionnement, contrairement aux ressources courantes qui sont approvisionnées en continu.

Présentement, aucune de ces informations n'est récoltée. Il est recommandé de modifier la section caractérisation spécifique de la méthodologie du CRP pour les recueillir. Tout dépendamment où se situe l'infrastructure, dans la zone d'impact ou hors de cette zone, les recommandations ne seront pas les mêmes pour la

modélisation et le système d'alerte précoce. Les deux sous-sections qui suivent présentent les recommandations en fonction de ce découpage.

### **5.2.1 À l'intérieur de la zone d'impact**

#### *Modélisation*

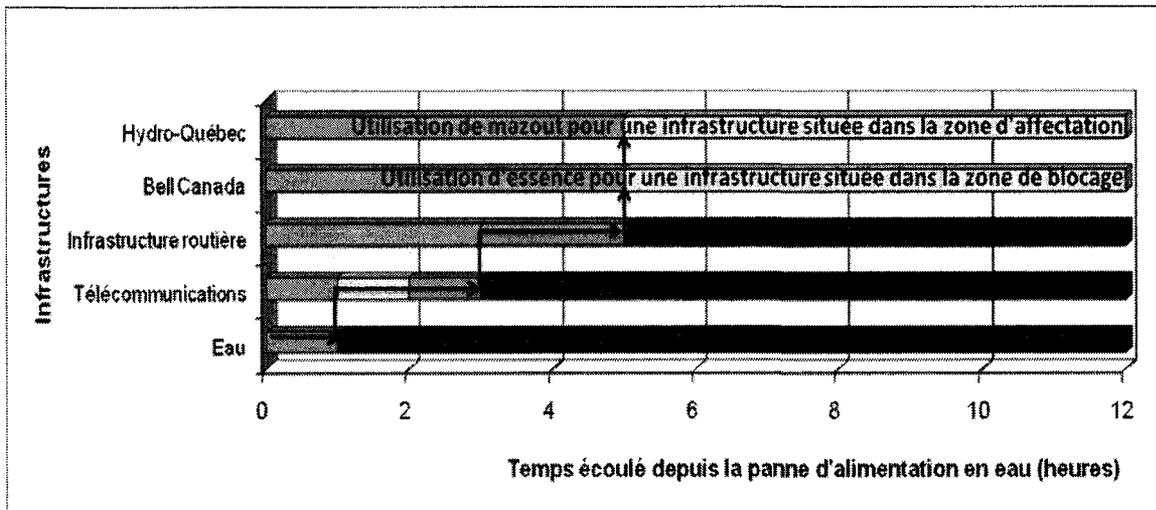
Pour les RSV possédant des infrastructures à l'intérieur de la zone d'impact approvisionnées en ressources par le réseau routier, la modélisation sera modifiée en fonction des nouvelles données récoltées. Les paramètres pour définir l'état du RSV devront tenir compte du réseau routier.

Les informations transmises par les responsables du réseau routier sont :

- L'élément critique défaillant ;
- La zone de blocage ;
- La zone d'affectation ;

La modélisation devra illustrer le mode de transport, le réseau routier, associé à chaque ressource. Étant donné qu'il ne peut y avoir de changement d'état d'un RSV suite à une défaillance du réseau routier, un mécanisme de veille devra être intégré dans l'évaluation de l'état potentiel d'un RSV. Cette veille permettra d'identifier toutes les ressources, courantes et alternatives, touchées par la défaillance du réseau routier se trouvant à l'intérieur de la zone d'impact.

La figure 5.4 présente un exemple de courbe d'effets domino. Elle est la suite de la figure 2.7. Il est possible d'identifier les conséquences de la fermeture d'une infrastructure routière sur deux RSV. Le premier est Bell Canada qui utilise de l'essence pour une infrastructure située dans la zone de blocage générée par la défaillance de l'infrastructure routière et le second est Hydro-Québec qui utilise du mazout pour une infrastructure située dans la zone d'affectation. Cette figure met en évidence un problème avec la codification par couleur. Dans ce cas-ci, il n'est pas possible de faire la distinction entre une infrastructure située dans la zone de blocage et une dans la zone d'affectation. De futurs travaux sur la codification de couleur et l'état des RSV devraient tenir compte de ces nouveaux paramètres.



**Figure 5.4** – Exemple de courbe d'effets domino avec les utilisations du réseau routier.

Il n'est pas nécessaire de connaître la durée de la défaillance. Le simple fait de savoir qu'un élément critique du réseau est défaillant pourra être suffisant pour que les RSV anticipent, avec les courbes de conséquences issues de la modélisation, des défaillances possibles de leur infrastructure se trouvant dans la zone d'impact. Il ne faut pas oublier que l'objectif de la modélisation est l'anticipation d'effets domino et non la protection directe d'une infrastructure.

### *Alerte*

En ce qui concerne le système d'alerte précoce, l'information qui sera transmise devra cibler les RSV possédant des infrastructures à l'intérieur de la zone d'impact qui reçoivent des ressources, courantes et alternatives, par l'entremise du réseau routier. Chaque RSV pourra recevoir une alerte personnalisée indiquant :

- L'élément critique du réseau routier qui est défaillant ;
- L'étendue de la zone d'impact, blocage et affectation, en identifiant les secteurs touchés.
- Les infrastructures du RSV se trouvant dans ces zones ;
- Les ressources courantes et alternatives acheminées par le réseau routier à ces infrastructures ;
- La durée prévue du blocage (si possible).

### **5.2.2 Hors de la zone d'impact**

#### *Modélisation*

Pour les éléments à l'extérieur de la zone d'impact, aucun paramètre concernant le réseau routier n'est à définir pour la modélisation. Tenir compte de cela dans la modélisation serait lourd et peu utile puisque chaque transporteur peut à tout moment réagir à la défaillance du réseau routier et changer son trajet.

#### *Alerte*

Les RSV dont les infrastructures sont situées à l'extérieur de la zone d'impact peuvent recevoir des ressources transitant par la zone d'impact. Cela occasionnera peut-être un retard dans la réception de la ressource. Si l'alerte concerne le RSV, il prendra les mesures nécessaires pour prévenir toute défaillance.

Pour les RSV ayant des infrastructures dont les ressources courantes et alternatives sont acheminées par le réseau routier et qui se situent à l'extérieur de la zone d'impact, l'alerte sera plus générale. Les informations concernant la défaillance qui devront être transmises aux fins de l'alerte sont :

- L'élément critique défaillant ;
- Les différentes zones d'impact (blocage et affectation) ;
- Les secteurs touchés.

### 5.3 Activités de support

Les activités de support concernent le fonctionnement interne d'un RSV. Ces activités ne font pas partie du concept « client-fournisseur » que le CRP étudie normalement. Par contre, certaines de ces activités peuvent être nécessaires pour remplir la mission du RSV et le réseau routier peut avoir une influence sur leurs déroulements. Par exemple, une maintenance qui ne serait pas faite pourrait entraîner le non-fonctionnement d'une infrastructure importante du RSV. L'objectif de ce mémoire n'étant pas de caractériser les activités de support en regard du bon fonctionnement d'un RSV, la suite concernera uniquement l'influence du réseau routier sur ces activités.

Dans le cas des activités de support, le délai qui sera étudié sera le délai d'accessibilité. Chacune des activités de support identifiées supposent que l'infrastructure soit accessible pour les effectuer. Une défaillance du réseau routier aura un impact sur cette accessibilité et c'est cela qui sera étudié.

La méthodologie du CRP devra être modifiée pour recueillir des informations sur les activités de support. Les informations nécessaires pour la modélisation et le système d'alerte précoce pour chaque RSV sont :

- Pour chaque infrastructure identifiée lors de la caractérisation globale, les activités de support exécutées qui sont nécessaires pour le bon fonctionnement du RSV ;

- Pour chacune de ces activités, celles dont le réseau routier est requis pour l'exécution ;
- La fréquence d'exécution de ces activités ;
- Le seuil pouvant être toléré s'il n'y pas l'exécution de ces activités.

Que l'infrastructure soit située dans la zone d'impact ou hors de la zone d'impact, le traitement et l'utilisation des données ne seront pas les mêmes. Des précisions seront apportées dans les deux sous-sections qui suivent.

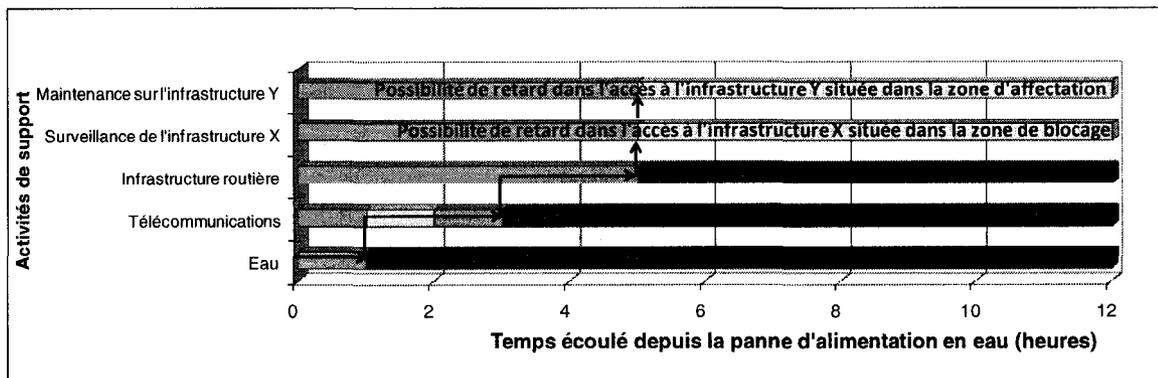
### **5.3.1 Dans la zone d'impact**

#### *Modélisation*

Dans la zone d'impact, les activités de support pourront venir modifier la modélisation des RSV. La modélisation actuelle du CRP se concentre sur les ressources utilisées. Les nouvelles informations viendront s'ajouter à ceux existantes, ce qui permettra de mieux comprendre comment le réseau routier peut influencer le bon fonctionnement des RSV. Les informations qui seront disponibles pour la défaillance du réseau routier seront les mêmes que celles mentionnées dans la même sous-section de l'approvisionnement en ressource, soit :

- L'élément critique défaillant ;
- La zone de blocage ;
- La zone d'affectation ;

La mise en commun de toutes les informations permettra de faire de nouvelles courbes d'effets domino. Elles représenteront les activités de support. Toujours en accord avec le postulat que le réseau routier n'engendre pas d'effets domino, ces courbes serviront à connaître les activités de support pouvant potentiellement ne pas être exécutées dans les temps prescrits, suite à une défaillance du réseau routier. La figure 5.5 présente un exemple de courbe démontrant que deux activités de support, effectuées dans les deux zones d'impact, seront perturbées suite à la fermeture d'une infrastructure routière. Comme ce fut le cas pour la figure 5.4, la codification de couleur ne permet pas de faire la distinction entre une activité effectuée sur une infrastructure dans la zone de blocage et une dans la zone d'affectation.



**Figure 5.5** – Exemple de courbe d'effets domino avec des activités de support.

### *Alerte*

En fonction des informations récoltées lors de la caractérisation spécifique, l'alerte sera diffusée aux RSV possédant des infrastructures dans la zone d'impact dont les activités de support pourraient être affectées par la défaillance de l'infrastructure routière. L'alerte contiendra les informations suivantes :

- L'élément critique du réseau routier qui est défaillant ;
- L'étendue de la zone d'impact, blocage et affectation, en identifiant les secteurs touchés.
- Les activités de support exécutées sur des infrastructures du RSV se trouvant dans ces secteurs ;
- La durée prévue du blocage (si possible).

### **5.3.2 Hors de la zone d'impact**

#### *Modélisation*

Étant intéressé que par les activités de support sur des infrastructures d'un RSV se trouvant dans la zone d'impact, aucun paramètre concernant le réseau routier n'est à définir pour la modélisation.

### *Alerte*

Au même titre que pour l'approvisionnement en ressource hors de la zone d'impact, les déplacements requis pour les activités de support sur les infrastructures situées à l'extérieur de la zone d'impact peuvent transiter par la

zone d'impact. Pour cette raison, l'alerte sera plus générale. Les informations concernant la défaillance qui devront être transmises aux fins de l'alerte sont :

- L'élément critique défaillant ;
- Les différentes zones d'impact (blocage et affectation) ;
- Les secteurs touchés.

#### **5.4 Recommandations**

Les travaux liés à ce mémoire permettent de dégager des recommandations pour l'évaluation de la dépendance des RSV face au réseau routier. Regroupées en deux catégories, modélisation et système d'alerte précoce, ces recommandations sont résumées au tableau 5.2 et 5.3.

Tableau 5.2 – Résumé des recommandations concernant la modélisation.

Caractérisation du réseau routier		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifier les éléments critiques du réseau routier ;</li> <li>• Définir des zones d'impact (blocage et affectation) pour chacun des éléments critiques.</li> </ul>
<b>Modélisation</b>		
Approvisionnement en ressource	Dans la zone d'impact	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modifier la caractérisation spécifique pour recueillir le mode de transport (réseau routier) de la ressource utilisée ;</li> <li>• Identifier le couple ressource-transport dans la modélisation.</li> </ul> <p>Pour les ressources alternatives, ajoutées :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modifier la caractérisation spécifique pour recueillir : <ul style="list-style-type: none"> <li>• le mode de transport (réseau routier) de la ressource alternative ;</li> <li>• le délai d'approvisionnement.</li> </ul> </li> </ul>
	Hors de la zone d'impact	Aucune modélisation nécessaire
Activités de support	Dans la zone d'impact	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modifier la caractérisation spécifique pour inclure l'identification des activités de support utilisant le réseau routier et ce, pour chaque infrastructure ;</li> <li>• La fréquence d'exécution de ces activités ;</li> <li>• Le seuil pouvant être toléré s'il n'y a pas l'exécution de ces activités ;</li> <li>• Créer des courbes, à l'image des courbes de dépendances, pour les activités de support.</li> </ul>
	Hors de la zone d'impact	Aucune modélisation nécessaire

Tableau 5.3 – Résumé des recommandations concernant l'alerte.

<b>Alerte</b>		
Approvisionnement en ressource	Dans la zone d'impact	<p>L'alerte, personnalisée à chaque RSV, devra tenir compte des éléments suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'élément critique du réseau routier défaillant ;</li> <li>• Les secteurs touchés par la zone d'impact (blocage et affectation) ;</li> <li>• Les infrastructures du RSV se trouvant dans les secteurs touchés ;</li> <li>• Les ressources, courantes et alternatives, concernées par cette défaillance ;</li> <li>• La durée de la défaillance (si possible).</li> </ul>
	Hors de la zone d'impact	<p>L'alerte, envoyée à tous, devra tenir compte des éléments suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'élément critique défaillant ;</li> <li>• Les secteurs touchés par la zone d'impact (blocage et affectation).</li> </ul>
Activités de support	Dans la zone d'impact	<p>L'alerte, personnalisée à chaque RSV, devra tenir compte des éléments suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'élément critique du réseau routier défaillant ;</li> <li>• Les secteurs touchés par la zone d'impact (blocage et affectation) ;</li> <li>• Les infrastructures du RSV se trouvant dans les secteurs touchés ;</li> <li>• Les activités de support concernées par cette défaillance ;</li> <li>• La durée de la défaillance (si possible).</li> </ul>
	Hors de la zone d'impact	<p>L'alerte, envoyée à tous, devra tenir compte des éléments suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'élément critique défaillant ;</li> <li>• Les secteurs touchés par la zone d'impact (blocage et affectation).</li> </ul>

## CHAPITRE 6 : DISCUSSION

Les concepts présentés dans le précédent chapitre permettent de poser les bases théoriques pour considérer le réseau routier dans les travaux de modélisation des interdépendances que le CRP a entrepris. Il n'a pas été facile de caractériser le réseau routier sans prendre en compte un délai précis lorsqu'il y a une défaillance. En effet, il est difficile d'estimer le délai que peut générer une défaillance du réseau routier, parce que les paramètres à prendre en compte sont nombreux (période de l'année, période de la semaine, période de la journée, le débit routier, le type de route, etc.). Avec autant de paramètres, il devient rapidement difficile d'avoir un délai précis.

Une modélisation complexe du réseau routier n'aura pas été nécessaire pour traiter la problématique. Les modélisations qui sont proposées, par exemple sur les déplacements en fonction des enquêtes origines destinations, sont nécessaires dans certains cas, mais dans l'étude des interdépendances, cela alourdirait le processus, plutôt que de permettre de le traiter de manière globale et simple. Ces modélisations ont leurs utilités, mais pas pour résoudre cette problématique.

En ayant choisi d'aborder la problématique avec l'approche par conséquences, il a été possible de se concentrer sur la caractérisation du réseau routier afin de pouvoir intégrer cette ressource dans les recherches du CRP. La caractérisation

en zones a comme avantage de fournir une première approche pour évaluer la dépendance. Le maillage élevé du réseau routier rend toute modélisation entre deux points très complexe. Ce qu'il faut connaître, c'est quel peut être l'impact d'une défaillance de certains points critiques du réseau routier sur le fonctionnement des RSV. La définition des zones de blocage et d'affectation n'est pas simple. Il se peut que pour certains éléments critiques, il soit impossible d'en définir. Par contre, l'expérience des différents gestionnaires des mesures d'urgence des RSV pourra facilement surmonter ce problème.

La généralisation des utilisations en deux grandes catégories a permis de simplifier les travaux. Avec deux catégories d'utilisation, cela permet de traiter le problème plus globalement. Chacune des utilisations identifiées dans le tableau 5.1 ne permet pas d'avoir cette approche globale. Comme il a déjà mentionné, la nature du réseau routier augmente la complexité du problème si l'approche n'est pas globale. Il faut rappeler que l'objectif principal de ce mémoire est d'avoir une manière simple d'aborder le problème. Il faudra également porter la même attention à cet objectif lorsque ces concepts seront mis en pratique, afin de ne pas complexifier la problématique.

Les points importants relevés pour la modélisation des interdépendances et le système d'alerte précoce devront passer le test de la mise en pratique. Pour la modélisation, cela pourra se faire graduellement avec l'avancement des travaux.

Pour le système d'alerte précoce, ce qui a été relevé pourra venir alimenter les futurs travaux de recherche.

Plus globalement, il sera intéressant de constater les effets non attendus par l'application de ces concepts. En effet, il sera intéressant d'observer la réaction des différents responsables des RSV. Les méthodes de gestion concernant l'approvisionnement pourraient être modifiées par l'identification des éléments critiques du réseau routier. Un RSV ayant une infrastructure importante pour sa mission près d'un élément critique pourrait modifier la gestion de son approvisionnement, que ce soit par le stockage, la fréquence d'approvisionnement ou la manière dont il se fait. Il pourrait également modifier les règles de gestion concernant ces activités de support.

L'objectif de ce mémoire n'est pas de régler l'ensemble des problèmes liés au réseau routier. L'usage de ces concepts dans la pratique permettra de venir enrichir ces travaux.

## CHAPITRE 7 : CONCLUSION

La méthodologie développée par le CRP (Robert, 2008), reste à ce jour une manière simple et globale d'aborder un problème complexe. Pour parvenir à évaluer les interdépendances entre RSV, le CRP a pu bénéficier d'un grand nombre de partenaires qui ont permis de valider rapidement les résultats de recherches. L'introduction d'une nouvelle variable, le réseau routier, viendra enrichir ces travaux.

Les postulats de recherche ont permis de trouver une manière simple et englobante d'évaluer la dépendance des RSV face au réseau routier. L'approche par conséquences s'est avéré être une approche différentes d'aborder la problématique par rapport aux travaux existants à ce jour. Elle a également permis de se concentrer sur l'influence du réseau routier plutôt que sur les possibles défaillances pouvant survenir. Avoir émit comme postulat que le réseau routier n'initie pas d'effets domino a permis de résoudre la problématique. Toutefois, ce postulat paraît trop limitatif, car si le réseau routier ne semble pas être le déclencheur initial de l'effet domino, il en amplifie certainement la propagation des défaillances.

Ce qui est proposé dans ce mémoire constitue une avenue intéressante pour prendre en compte un RSV très complexe. La revue de la littérature a permis de constater que l'étude du réseau routier dans un contexte d'évaluation

d'interdépendances n'a pas été abordée. Ces travaux permettront de débiter en ce sens. En orientant les réflexions sur les interdépendances et leur évaluation, la prise en compte du réseau routier tel que proposée s'est imposée d'elle-même. En caractérisant le réseau routier et les types d'utilisation, les travaux ont pu être orientés sur des éléments globaux.

La détermination des éléments critiques avec leur zone d'impact permet d'inclure la défaillance d'un de ces éléments dans une étude d'interdépendance. L'utilisation de ces concepts dans les futurs travaux du CRP permettra de les enrichir. Il sera intéressant également de voir si les bases théoriques qui sous-tendent ces concepts peuvent s'appliquer à tout type de RSV dont dépendent les autres RSV.

Il est certain que de futurs travaux sur la définition des zones d'impacts pourront raffiner ce qui est présenté dans ce mémoire. Le rôle du CRP sera de maintenir une veille scientifique sur le sujet, étant donné que ce type de travaux doit être exécuté par des spécialistes en transport.

D'autres travaux sur les ressources du même type que le réseau routier pourraient être entrepris pour identifier des similitudes. Ces travaux permettraient peut-être de constater que d'autres ressources mettent à la disposition des RSV une infrastructure dont ceux-ci dépendent pour leurs bons

fonctionnements. Les concepts qui en ressortiraient pourraient par la suite être inclus dans la méthodologie et ainsi la bonifier.

La prise en compte du réseau routier permet également d'enrichir les travaux en continuité opérationnelle du CRP. Le réseau routier joue un rôle important en termes de continuité des opérations et en rétablissement suite à une défaillance. La disponibilité du réseau routier est primordiale, comme il a été expliqué lors de la présentation de Peerenboom et Fisher (2007). Il sera intéressant d'observer le rôle du réseau routier et comment sa disponibilité améliorera ou détériorera la rapidité du rétablissement.

## RÉFÉRENCES

Berdica, K. (2002). An introduction to road vulnerability: what has been done, is done and should be done [Version électronique]. *Transport Policy*, 9(2), 117-127.

Conseil pour la réduction des accidents industriels majeurs (CRAIM). (2007). *Guide de gestion des risques d'accidents industriels majeurs à l'intention des municipalités et de l'industrie* (éd. 2007). Montréal, Québec : Conseil pour la réduction des accidents industriels majeurs.

Chen, A., Chao, Y., Kongsomsaksakul, S., & Lee, M. (2007). Network-based accessibility measures for vulnerability analysis of degradable transportation networks [Version électronique]. *Networks and Spatial Economics*. 7(3), 241-256.

Husdal, J. (2006). Transport network vulnerability – wich metrics should we use. *NECTAR Cluster 1 Seminar*. Norway: Molde University College. Consulté le 12 avril 2008, tiré de <http://husdal.typepad.com/blog/docs/transportnetworkvulnerability.pdf>

International Strategy for Disaster Reduction (ISDR). (2006). Développement de système d'alerte précoce : une liste de contrôle. *Troisième conférence internationale sur les systèmes d'alerte précoce*. Allemagne : Organisation des Nations Unies. Consulté le 20 mars 2008, tiré de <http://www.unisdr.org/ppew/info-resources/ewc3/checklist/French.pdf>

Jenelius, E. (2007b). Considering the user inequity of road network vulnerability. Soumis. <http://www.infra.kth.se/~jenelius/#publications>

Jenelius, E. (2007a). Incorporating Dynamics and Information in a Consequence Model for Road Network Vulnerability Analysis. *The Third International Symposium on Transportation Network Reliability (INSTR)*. Netherlands. Consulté le 10 avril 2008, tire de <http://www.infra.kth.se/~jenelius/#publications>

Jenelius, E. (2007c). *Approaches to road network vulnerability analysis (Résumé)*. (Ph.D., Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden). Consulté le 15 mars 2008, tire de <http://www.infra.kth.se/~jenelius/#publications>

Jenelius, E., Petersen, T. & Mattsson, L.G. (2006). Importance and exposure in road network vulnerability analysis [Version électronique]. *Transportation Research part A : Policy and Practice*, 40(7), 537-560.

Nicholson, A.J. (2007). Road network unreliability : impact assesment and mitigation. *Int. J. Critical Infrastructures*, 3(3-4), 346-374.

Organisation des Nations Unies (ONU). (1992). Déclaration de RIO sur le développement et l'environnement. *La Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement*. Rio de Janeiro, Brésil : Organisation des Nations Unies. Consulté le 5 mai 2008, tiré de <http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=78&ArticleID=1163&l=fr>

Peerenboom, J., & Fisher, R. (2007). Interdependencies – Understanding the linkages. *Atelier sur les travaux du Argonne National Laboratory*. Ottawa, Ontario : Collège Canadien de Gestion des urgences.

Peerenboom, J., Fischer, R., Rinaldi, S., & Kelly, T. (2002). Studying the chain reaction. *Electric Perspectives*, 27(1), 22-31. Consulté le 7 avril 2008, tiré de [http://www.eei.org/magazine/editorial\\_content/nonav\\_stories/2002-01-01-chain.htm](http://www.eei.org/magazine/editorial_content/nonav_stories/2002-01-01-chain.htm)

Richard, G. Tremblay, L. & Groleau A. (2007). Identification des structures critiques et vulnérables : une méthode efficace pour gérer les risques. *Bulletin Innovation Transport*. 1(31), 33-47. Consulté le 26 avril 2008, tire de [http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/Librairie/Publications/fr/ministere/recherche/innovation/innovation31\\_oct2007.pdf](http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/Librairie/Publications/fr/ministere/recherche/innovation/innovation31_oct2007.pdf)

Robert, B. (2008). Études des interdépendances entre les infrastructures essentielles (IE). *Symposium du programme conjoint de recherche sur les interdépendances des infrastructures*. Ottawa : Sécurité publique Canada.

Robert, B., De Calan, R., & Morabito L. (2008). Modeling interdependencies among critical infrastructures. *International Journal of Critical Infrastructures*.  
Accepté pour publication.

Robert, B., & Morabito, L. (2008b). Operational tools for managing physical interdependencies among Critical Infrastructures. *International Journal of Critical Infrastructures*. Accepté pour publication.

Robert, B., & Morabito, L. (2008a). *Évaluation des interdépendances entre les Réseaux de support à la vie - Guide méthodologique*. Montréal : Centre risque & performance. Rapport interne.

Robert, B., Morabito, L., & Quenneville, O. (2007). « The preventive approach to risks related to interdependent infrastructures ». *International Journal of Emergency Management*. 4(2), 166 –182.

Sécurité Publique Canada (SPC). (2008a). *À propos des infrastructures essentielles*. Sécurité Publique Canada. Consulté le 27 mars 2008, tiré de <http://sp-ps.gc.ca/prg/em/nciap/about-fra.aspx>

Sécurité Publique Canada (SPC). (2008b). *Protection des infrastructures essentielles*. Sécurité Publique Canada. Consulté le 8 avril 2008, tiré de <http://sp-ps.gc.ca/prg/em/cip-fra.aspx>

Tampère, C., Stada, J., Immers, B., Peetermans, E., & Organe, K. (2007). Methodology for identifying vulnerable sections in a national road network [Version électronique]. *Transport research record: Journal of the Transportation research board*. 2012(2007), 1-10.